

# 실린더 - 노즐 결합부에서의 이론해와 F.E. 해석결과 비교

## The Comparision of F.E. Analysis Results with Analytical Solutions in Cylinder-Nozzle Junction

대우중공업(주) 옥포조선소                      김 광 석\*, 한 명 수, 한 종 만

### 1. 서론

압력용기는 내압하의 opening에서의 응력집중과 구조적 부착물인 supporting lug나 nozzle에 작용하는 외부하중에 의한 국부응력의 효과가 매우 중요한 의미를 가진다.

특히 노즐과 같이 내압과 더불어 piping에 의한 외하중을 추가력으로 받는 부재에서는 항복이 발생할 수 있으며, 외하중의 반복에 의한 피로현상이 발생하기 때문에 외하중을 고려한 응력평가를 행할 필요가 있다.

현장에 사용되는 압력용기의 경우, Nozzle과 Shell이 접합부에서는 그 접합되는 기하학적 위치와 노즐과 연결된 파이프 등에 의해서 여러 가지 형태의 하중이 발생하게 되고 그 하중들이 조합되어 나타난다. WRC107(Welding Research Council 107)방법은 Nozzle-Shell 접합부의 길이방향과 원주방향에서의 stress intensity만을 계산하는 것인데 실 현상에 있어서의 stress intensity는 하중에 의한 stress가 중합되어 어느 위치에서 그 최대값이 나타날지 알 수 없다. 이러한 문제점의 해결을 위해서는 실제 계측을 하거나 유한요소법을 통한 응력평가로 그 위치를 알아내는 방법 등을 생각할 수 있다.

본고에서는 WRC107방법 결과와 FEM해석을 통한 결과의 비교를 하고 그 최대 stress intensity의 위치를 비교함으로써 응력평가를 요구하는 ASME Div.2급 vessel에서의 Design Report에 적용가능성을 알아보고자 한다.

### 2 F.E.M 해석

모델의 기하학적 형상은 일반적인 vessel로 Nozzle과 Shell이 접합된 형태며 다음과 같은 기하학적 특성을 가진다.

nozzle inside radius	nozzle thickness	shell inside radius	shell thickness
2.885826 inch	0.43307 inch	49.2126 inch	1.1811 inch

FEM 모델에 사용된 하중은 실제 사용조건으로 제시된 실린더-노즐부의 국부 하중조건에 준하여 사용으며 그 값은 Table.1과 같다.

Table 1 nozzle부에 작용하는 국부하중

하중의 분류	local load 조건으로 계산된 하중값
Radial Load (P)	923.2 lb
Circumferential Shear Load (V <sub>c</sub> )	1367.82 lb
Longitudinal Shear Load (V <sub>L</sub> )	1367.82 lb
Circumferential Moment (M <sub>c</sub> )	25066.5 in · lb
Longitudinal Moment (M <sub>L</sub> )	33421.97 in · lb
Torsional Moment (M <sub>T</sub> )	41777.5 in · lb
하중의 방향은 WRC107의 계산에 사용된 방향과 같다	

WRC107방법은 shell에 붙은 attachment부분을 rigid로 가정하여 계산하는 방법으로 해석에서 nozzle부를 rigid로 고려하였다. 기하학적 모델은 먼저 shell부의 1/4 model을 하고 nozzle부를 접합시킨후 mirror기능을 사용하여 실제 모델을 형성하였다. 유한요소모델은 노즐부의 엄밀한 해를 얻기 위해서 노즐부를 세밀하게 요소를 생성시키고 그 나머지 부분은 점차적으로 rough하게 요소를 생성하였다. 모델에 사용된 요소는 일반적으로 많이 사용하는 8 node 3D solid element (C3D8)이며 하중조건을 위해 노즐부에 생성시킨 rigid element는 2 node 3D bar (RB3D2)요소이다.

유한요소 해석은 6가지 하중형태 각각에 대해 먼저 수행하여 그 결과를 비교한 후 조합된 하중형태에 대한 해석을 하였다. F.E. 모델링은 pre-post modeller인 PATRAN 5.0을 사용하였고 상용 package인 ABAQUS 5.5로 해석하였다.

### 3. 해석결과

WRC107과 F.E 해석결과는 Table 2에 나타나는 것과 같으며

Table 2 WRC107과 F.E 결과의 비교 (Stress Intensity)

	P	V <sub>c</sub>	V <sub>L</sub>	M <sub>c</sub>	M <sub>L</sub>	M <sub>T</sub>
WRC107	814.63	222.2	222.2	3996.1	4669.8	1022.2
F.E 계산결과	545.2	195.2	204.2	4073	4791	916.7

해석의 결과값은 WRC107의 계산값과 거의 일치하였다. Table 2의 결과에서 일치하지 않는 부분은 WRC107방법이 어떤 정량적인 형태가 아니라 도표를 따라 값을 찾아가는 것이므로 사용자에게 따라 그 값이 달라지는 경우가 생길 수 있기 때문이다. 6가지 하중의 형태에 따른 결과는 WRC107의 방법의 결과와 그 차이가 거의 나타나지 않지만 하중이 조합된 경우의 응력강도(Stress Intensity)는 WRC107방법에서 나타낼 수 있는 값의 위치와는 다르다는 것을 알 수 있다. (Fig.1)

#### 4. 결론 및 고찰

WRC107방법은 실제 현장에서 많이 사용되고 있지만 그 최대 응력강도(stress intensity)의 방향과 크기를 정확하게 찾아내기가 힘든 점이 있다. 이번의 이 F.E. 해석의 결과를 통해 단순한 하중의 경우가 아닌 하중이 조합되는 경우에 있어서는 응력강도의 위치와 크기가 WRC107의 결과와는 다르다는 것을 알 수 있다. 압력용기의 국부하중해석에 있어서 F.E. 해석법은 응력강도 평가시 WRC107방법을 보완해 줄 수 있는 유용한 방법이라고 판단된다.

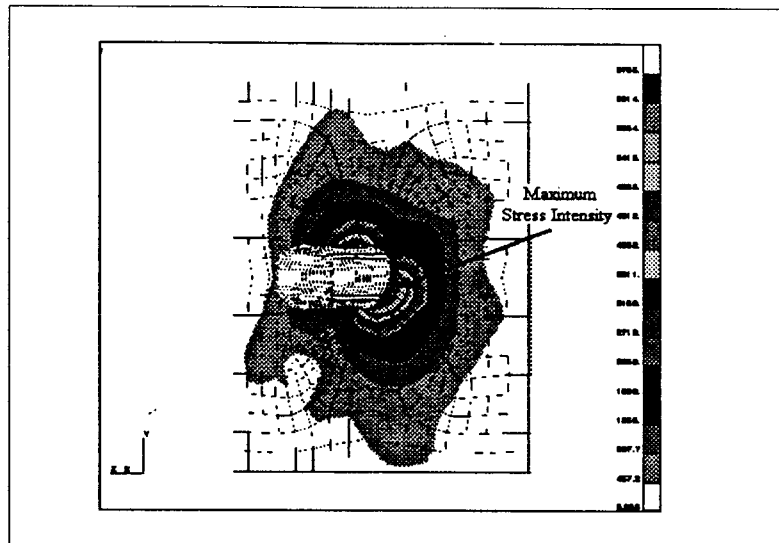


Fig.1 (a) Maximum Stress Intensity Point (측면)

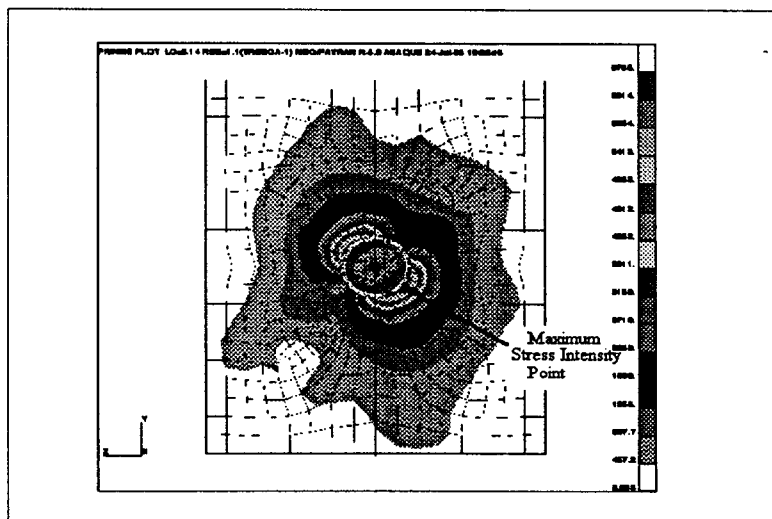


Fig.1 (b) Maximum Stress Intensity Point (정면)