

국부 열처리에 따른 압력 용기 용접부의 변형 거동

(Distortion Behaviour at the weldment
of Pressure Vessel caused by Local Heat Treatment)

신상범*, 윤중근, 홍인표
현대 중공업(주), 산업 기술 연구소

1. 서론

용접 잔류 응력 제거를 위한 열처리는 노(furnace)를 이용한 열처리 및 가열 pad를 이용하여 용접부 및 그 근방의 모재에 대해서만 실시하는 국부적인 열처리로 대별된다. 노에서 수행하는 열처리 공정의 경우 압력 용기의 전 영역을 가열함으로써, 건전한 재료 물성의 확보가 가능할 뿐 아니라, 잔류 응력 또한 상대적으로 매우 낮게 유지할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 노의 크기에 따른 크기 제약 및 용접부의 급격한 강성 저하로 인해 전 변형의 발생을 방지하기 위해 많은 보강재의 설치에 의한 공수 및 공기에 대한 부담을 앓게 된다. 이에 반하여 국부 열처리의 경우 전 열처리 공정과는 달리 크기의 제한이 없을 뿐 아니라, 가열 영역을 제외한 나머지 영역은 상대적으로 매우 낮은 온도 수준에 존재함으로써, 변형 양상이 전 열처리 공정에 비해 작아 부착되는 보강재의 최소화가 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 발생하는 변형 양상이 국부적으로 형성되기 때문에 한 번 발생된 변형에 대한 제어가 불가능하다. 즉, 국부 열처리에 의한 PWHT의 적용을 위해서는 먼저 국부 열처리시 잔류 변형에 대한 예측 및 이를 최소화하는 방안의 선정이 무엇보다도 필요하다.

따라서, 본 고에서는 대형 압력 용기에 국부 열처리에 의한 잔류 변형의 거동을 유한요소해석을 이용하여 평가하고, 이를 근거로 잔류 변형의 최소화 방안을 모색하고자 한다.

2 해석 모델 및 방법

본 고의 해석 모델은 Fig. 1의 (a)와 같이 단관 3개가 조합된 대형 압력 용기이며, 이때, 국부 가열에 의한 PWHT 열처리를 적용하는 경우 발생하는 잔류 변형을 유한요소해석을 이용하여 평가하였다. 해석시 사용된 요소망(mesh design)은 6자유도의 4절점 등매개 shell 요소를 이용하여 Fig. 1의 (b)와 같이 구성하였으며, 해석시 사용된 변위 경계 조건은 Fig. 2와의 (b)와 같다.

해석시 사용된 해석 변수는 국부 열처리시 400°C까지의 cooling rate 및 변형 방지를 위한 brace의 유무 및 형태 그리고, 제작 순서이며, 각 변수에 따라 본 고에서는 Table 1과 같이 이를 각각 A, B, C, D 그리고, E type으로 정의 하였다.

Table 1 Variables used at the FEA

Type	A	B	C	D	E
Cooling rate	(125°C/1hr)	Air			
Bracing	Shape	None	I형	8각형	None
	No. / 단관		3	3	
Sequence	H				W
H : 단관 제작 후 국부열처리의 적용, W : 복관 제작 후 국부 열처리 적용					

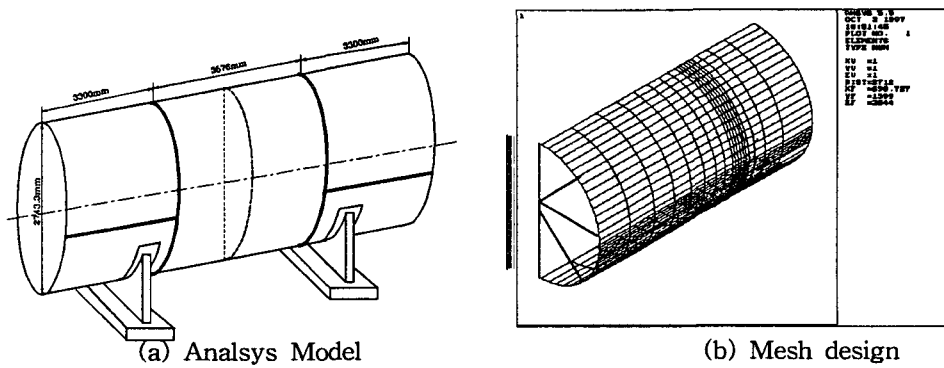


Fig. 1 Schematic Diagram of Analysis Model and Mesh Design

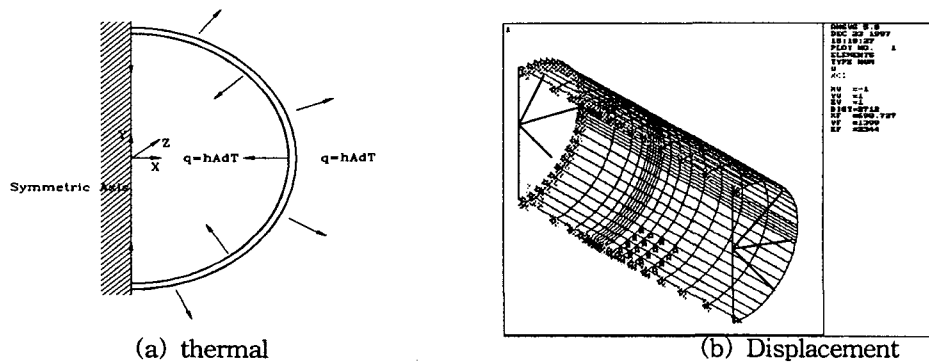


Fig.2 Thermal and displacement boundary conditions

3. 해석 결과

Fig. 3의 (a)와 (b)는 Table 1에 도시한 B type의 girth 용접부의 중앙부 즉, 가열영역의 중앙부 및 압력 용기의 길이 방향의 종단부에서 원주 방향의 각 절점에서 가열 및 냉각의 국부 열처리 cycle이 완료된 후, 반경(R)방향과 접선(T)방향 그리고, 각 방향의 합 변위(RES)의 거동을 도시한 것이다. Fig. 3과 같이 girth 및 logi. 용접 종단부에서 국부 열처리 후 접선 및 반경 방향 그리고, 잔류 합 변형량은 모두 가열 영역을 중심으로 최대치를 보이며, 각도가 증가하거나 감소함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히, longi. 용접 종단부에서의 국부 변형량은 ASME

의 제한 규정을 초과하고 있다. 이는 longi. 용접부의 국부 열처리시 재료의 강성 저하 및 가열 영역의 냉각시 열 변형도에 의한 수축에 기인하기 때문이다.

Fig. 4는 본 고에서 선정한 각 해석 모델에 대해 국부 열처리가 최종적으로 완료된 후 용접부에서 최대 합 변형량의 거동을 도시한 것이다. Fig. 4와 같이 용접부의 최대 합 변형량은 전 용접부에 대한 용접이 완료된 후 이를 국부 열처리를 적용한 E type의 경우 최대 합 변형량이 가장 작게 발생함을 알 수 있다. 그리고, 국부 열처리시 cooling rate를 감소시키거나, bracing을 설치하는 경우 변형량이 감소되며, 특히 8각형 bracing의 적용시 그 효과가 매우 크다.

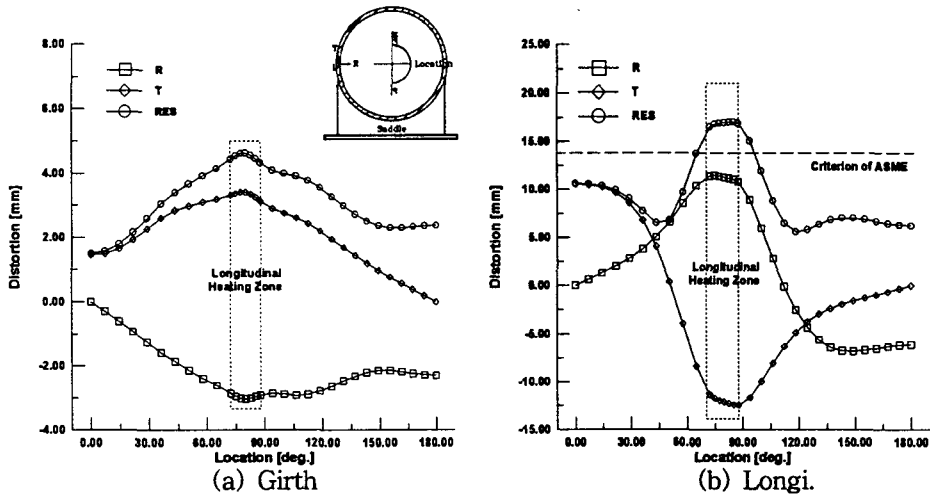


Fig. 30 Distortions at the local heating zone of pressure vessels (B type)

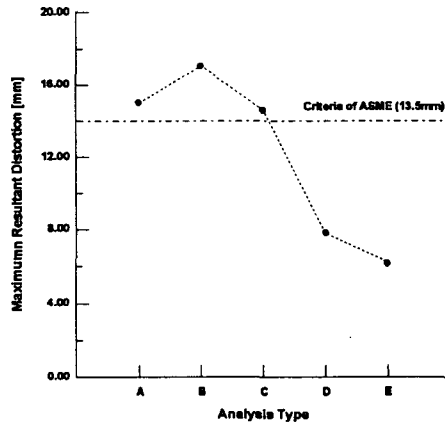


Fig. 4 Maximum resultant distortions at the weldment after cooling

4. 결론

국부 열처리시 발생하는 변형을 ASME에서 요구하는 임계치(공칭 직경의 0.5% 이내) 이하로 제어하기 위해서는 복관 제작후 국부 열처리를 적용하거나, 단관에 대해 이를 적용하는 경우에는 8각형 bracing을 설치한 후 이를 적용해야 한다. 그러나, I 형의 bracing에 의한 변형 제어 효과는 극히 미비하다.