

# 분기 용접용 이음부의 수치해석적 방법에 의한 용접부 평가

## Evaluation of the split tee welded branch by numerical analysis

이주형\*, 류근준\*\*, 박화수\*

\*국민대학교

\*\* 가스안전공사

### 1. 서 론

배관의 용접접합은 아크의 열원에 의해 국부적으로 용점이상의 고온으로 가열함으로써 일체화하는 방법으로 시공 현장에 흔히 사용되며 후에 불균일한 온도분포와 열응력으로 소성변형이 수반된다.

배관의 분기 천공이라 함은 가스가 흐르는 모 배관에 분기 되는 배관을 연결하기 위한 하나의 방법으로 가스가 흐르는 중에서 바로 천공하여 배관을 연결하는 방법으로 현재 많이 쓰이고 있는 분기 배관을 연결하는 방법이다.

본 실험에서는 가스가 흐르는 배관을 분기 천공한 후 용접시 용접부의 온도분포 및 잔류응력을 계산하였고, 그에 따른 배관의 변형을 2차원과 3차원적으로 해석하여 잔류응력을 최소화시켜 변형을 방지하기 위한 최적의 용접 공정에 대한 방법을 모색 하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 지배 방정식

용접 공정을 수치 해석화 하기 위하여 필요한 열방정식을 r-z 2차원 좌표계에서 나타내면 다음과 같다

#### 1) 에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T) + \frac{u}{r} \frac{\partial}{\partial z}(\rho C_p r T) + w \frac{\partial}{\partial z}(C_p T) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(kr \frac{\partial T}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z}(k \frac{\partial T}{\partial z}) - \frac{AH}{C_p} \frac{\partial f_L}{\partial t} \quad (1)$$

또한 응력을 해석하기 위해 재료내부에 응력에 의해 발생한 전변형률(total strain)은 탄성변형률(elastic strain), 소성변형률(plastic strain), 열변형률(thermal strain)등의 합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^e + \epsilon_{ij}^p + \epsilon_{ij}^{th} + (\epsilon_{ij}^{TransPlas}) \quad (2)$$

여기서  $\epsilon_{ij}$ 는 전 변형률,  $\epsilon_{ij}^e$ 는 탄성변형률,  $\epsilon_{ij}^p$ 는 소성변형률,  $\epsilon_{ij}^{th}$ 는 열변형률을 의미한다. 여기서 열변형률은 식(3)과 같이 표시된다.

$$\epsilon_{ij}^{th} = \alpha(T - T_r) \quad (3)$$

식(3)에서  $\alpha$ 는 선형 열팽창 계수,  $T_r$ 은 기준온도(reference temperature)를 의미한다.

#### 2.2 경계 조건

실험에 사용된 모델의 경계조건으로는 Fig. 1과 같이 용접부에는 아크의 열원으로 인하여 heat flux의 입열조건을 적용하였으며, 그 외 모재의 외표면은 대류(convection)전달 현상을 모재의 내부에는 전도를 적용하였다.

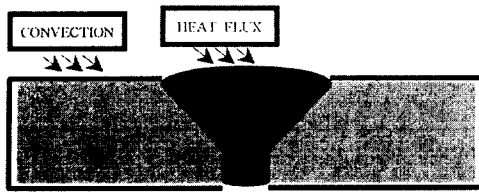


Fig. 1. Heat conditions of weld part

실험에 사용된 용접모델은 실제 가스 배관 분기 용접에 사용되고 있는 방법으로 모배관에 pad를 부착하여 pad 자체를 모배관과 용접하는 방법으로 Fig. 2에서 그 외형과 단면을 나타내었다.

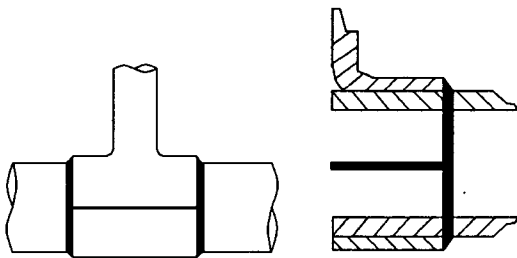
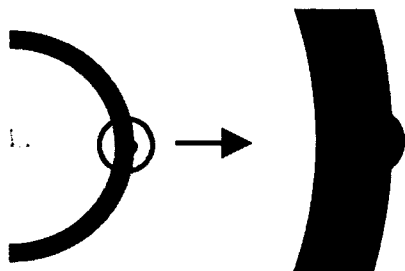


Fig. 2. Branch fitting weld model :  
Full encirclement with reinforcing pad type

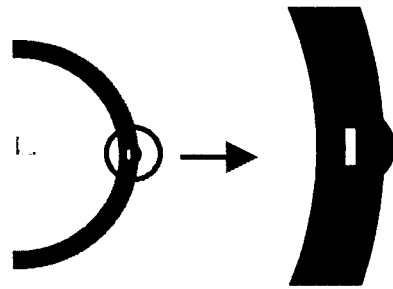
또한 이러한 용접을 할 경우 모 배관에 높은 열분포를 형성하기 때문에 모배관과 pad 사이에 공기층을 삽입한 두가지 모델을 택하여 열 분포 계산후 잔류응력을 계산하였고, 두 모델을 비교 분석 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

수치해석적 결과를 검증하기 위하여 기본적인 맞대기 용접을 수치해석적 결과와 실험에 의한 결과를 분석하여 같은 양상을 확인하였다. 결과에 대한 온도분포 및 잔류응력의 분포, 변형을 쉽게 분석하기 위하여 2차원 모델링을 병행하여 해석하였다. Fig. 3은 두가지 type에 대한 모델링 및 메쉬를 2차원의 단면으로 나타낸 그림이다.



(a) A type



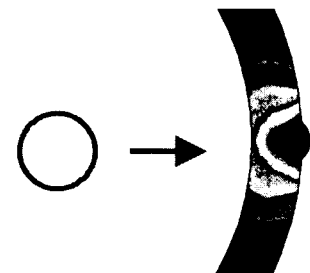
(b) B type

Fig. 3. Initial modeling and mesh

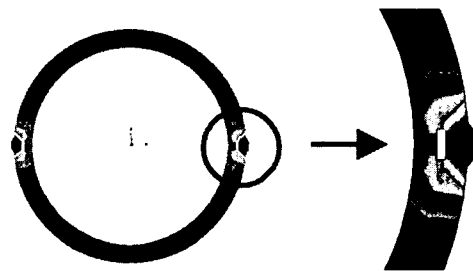
B type의 경우 Fig. 3의 (b)에서 보는 바와 같이 모배관으로 열전달이 되는 것을 최소화 하기 위해 용접 하단부에 공간을 생성하였으며 A type의 온도분포와 함께 결과는 Fig. 4와 같다.

Pad를 그대로 용접을 한 A type의 경우 모배관에 높은 온도의 열분포를 나타내지만 모배관과 pad간의 공간을 생성하여 용접을 한 경우는 모배관에 낮은 온도의 열분포를 나타내고 있다.

용융부가 배관표면까지 닿아 모배관을 용융시켜 완전용입된 상태로 용접에 의한 열이 모배관으로 매우 크게 전



(a) A type



(b) B type

Fig. 4. Temperature contours in A and B type

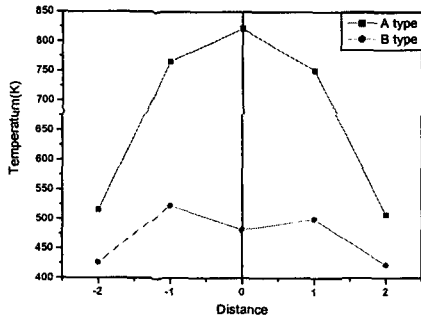
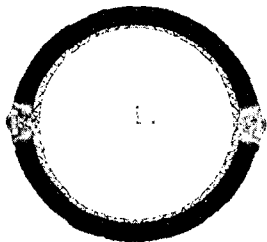


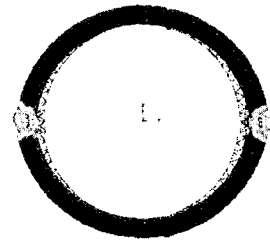
Fig. 5. Temperature plot near weld part

달린 형태를 나타내고 있다. 따라서 용접 입열에 의해서 용락의 위험성이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 배관길이 방향으로 용접되고 있으므로 배관의 용접에 의해 열 팽창 수축으로 외측의 보강패드와 상관없이 내부의 모배관이 수축을 받게 된다. 그러나 B type과 같은 경우는 용접부 직하의 대류에 의한 열전달 외에는 보강판으로만 열전도가 일어난다. Fig. 5의 그래프는 용접부를 중심으로 모배관의 온도분포를 나타낸것이다. 용락의 위험성은 온도가 727도 이상 증가 하였을때 나타나며, A type에서는 모배관의 용접부 중앙에서 727도 이상 온도분포가 나타나고 B type에서는 그 이상의 온도분포는 나타나고 있지 않기 때문에 B type에서는 용락의 위험성이 적다. 위의 온도분포 결과를 바탕으로 열에 의한 잔류응력을 계산하면 Fig. 6와 같다.

식(3)에 의하여 시편의 온도분포가 높을 수록 그부분의 응력 값이 큰 것을 알 수 있다. 또한 잔류응력에 대한 변형이 크게 나타나 있다. 전체적으로 높은 온도분포를 나타낸 A type의 경우 배관의 원 둘레 전체적으로 변형이 일어난 반면 B type의 경우 용접부의 좌우측에서만 집중적으로 변형이 일어났으며 용접부와 거리가 떨어진 상부와 하부에는 응력에 의한 변형이 크게 일어나지 않았다.



(a) A type



(b) B type

Fig. 6. Residual stress distribution of A and B type

또한 용접부 중심을 기준으로 모배관의 응력을 그래프로 도식해보면 Fig 7과 같이 A type에서는 모배관 안쪽에서 큰 응력이 걸리는 반면 B type에서는 모배관 안쪽은 바깥쪽에 비해 응력이 작으며, 전체적으로 낮은 응력분포를 보인다.

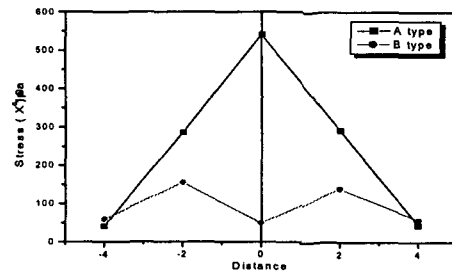
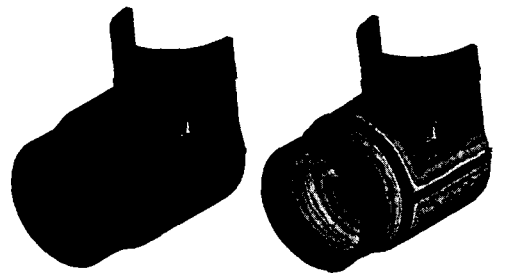


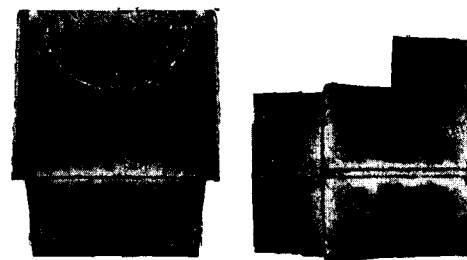
Fig. 7. Residual stress near weld part

2차원 해석 결과를 종합하여 3차원 모델링을 하여 해석한 결과는 다음과 같다. 해석은 배관 자체가 좌우 대칭이기 때문에 1/2 배관을 해석 모델링으로 사용하였으며 3차원에서 A type에서의 변형이 B type보다 큰 것을 잘 보여 준다.



(a) Modeling

(b) Temperature contours



(c) Residual stress distribution and strain

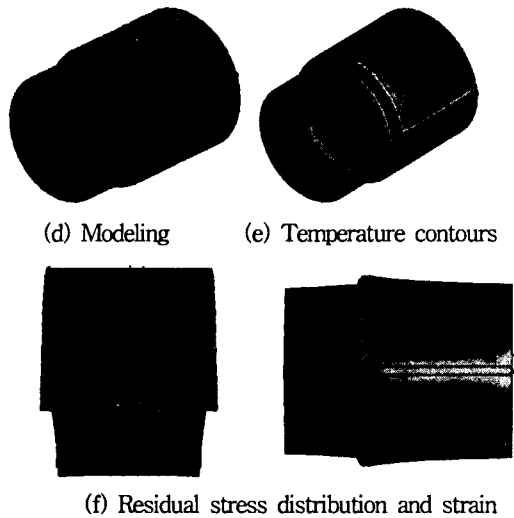


Fig. 8. 3-dimension analysis :

A type(a,b and c) and B type(d,e and f)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 용접공정시 열전달 및 열응력, 변형을 해석하였다. 그중 한 예제로 분기 배관 용접시 모배관에 pad를 사용하여 용접하는 경우를 해석하였으며 용접부의 열영향으로 인하여 모배관에 높은 열분포와 잔류응력이 존재하며 그영향으로 인하여 모배관에 많은 변형이 일어난다.

이러한 결과를 방지하기 위해 pad 용접부 하단에 공기층의 빈공간을 만들어 잔류응력과 변형을 감소 시켰다.

#### 참고문헌

1. ASME B 31.8 : Piping code in Natural Gas piping. (1986)
2. W.H. Kim, S.J. NA, J. KWS, Vol. 15, No.2, 2 (1997)
3. S.J. Na, J.KWS, Vol.14, No. 6, 12 (1996)
4. 대한용접학회, 용접·접합 편람(2002)
5. ANSYS Rev.7.1 Manuals, 19