

가스배관 분기용접용 이음부의 수치해석적 방법에 의한 용접부 평가

류근준, 권정락, 조지환, 박화수*, 이주형*, 이제현*
한국가스안전공사 가스안전시험연구원
국민대학교 신소재 공학부*

Evaluation of welded branch fitting for hot tapping with
numerical analysis method

Geun-Jun Lyu · Jung-Rock Kwon · Ji-Hwan Cho
Hwa-soo Park* · Ju-Hyung-Lee* · Je-Hyun-Lee*

Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation

*School of Advanced Materials Engineering, Kookmin University

1. 서 론

도시가스용 배관의 강관접합부는 사용안전성 및 경제성을 고려하여 대부분의 규격 및 코드에서 용접접합으로 설계 및 시공하는 것을 원칙으로 하고 있다. 그러나 배관의 용접접합은 아크와 같은 용접열원으로 인해 불균일 온도분포와 열응력이 발생하고 용접 후 변형 및 잔류응력이 존재하게 된다. 가스공급을 위한 신규공급이 늘어나면서 배관의 연결설치 및 배관의 분기작업을 수행해야 하게 되므로 더욱 많은 용접부가 존재하게 된다. 특히 가스의 안정 공급을 위해 가스공급을 차단하지 않고 용접용 분기 티를 모배관에 용접·천공을 수행하는 분기천공(hot tapping) 공법이 최근 많이 활성화되었다. 그러나 이음부가 필렛(fillet) 용접으로 비파괴적 검사가 용이하지 않고 용접부의 안전성 평가에 어려운 면이 있다. 따라서 분기용접공정에의 신뢰성 있는 용접공정을 수행하기 위해서는 용접시 발생할 수 있는 열전달에 의한 조직변화, 결함, 열응력에 의한 잔류응력 발생 등과 같은 조건 및 문제점을 이해하는 것이 중요하며, 실제 용접작업을 수행하지 않고 수치해석적 방법에 의해 용접부 거동을 평가하는 것이 경제적인 수도 있다.

본 연구에서는 분기용접부의 열전도에 대한 해석적 방법을 사용하여 활판상태 (in-service) 분기용접부의 2차원 및 3차원 열-응력 연결해석을 통해 가스배관의 용접부를 평가하였다.

2. 수치해석 평가를 위한 분기용접부 평가 모델

2.1 분기천공(hot tapping) 및 용접열전달

분기천공(hot tapping) 기술은 가스가 흐르고 있는 상태에서 배관에 용접용 분기이음 피팅을 용접하는 것과 부착한 분기용접 이음부를 천공장비에 의해 일정부분을 천공하는 것이 핵심기술이다.¹⁾ 분기천공 공사의 경우 천공부위가 제거 되는 만큼, 재료강도가 요구되는 만큼의 충분한 보강을 해야 하며²⁾, 국내에서는 분기배관용 분기 티를 천공부위에 해당하는 보강강도 및 변수를 고려하여 제조자 설계방식에 따라 용접형 분기티를 제조하고 있다.

분기천공 용접공정에서 고려해야할 용접조건 변수는 모배관 및 분기배관의 직경, 두께, 재질과 용접부의 크기, 위치, 용접 입열량(전압, 전류, 용접속도, 용접공정) 등이다. 용접공정에 의한 위해 요인을 제한하거나 최소화하기 위해 분기용접의 관련변수들을 합리적으로 선택해야 하며, 분기용접부의 적절한 모델설정을 통한 용접열분석 과정이 필요하다.

2.2 Hot tapping에 의한 용접결함

분기천공 용접에서 가장 관심을 갖는 결함은 용락(burn-through)이며, 과열된 용접에 의해 용접금속의 과도한 용입을 의미한다. 또한 용접냉각속도와 관련되는 필렛용접 부위에 발생하는 용접결함은 인위적인 냉각속도와 배관내부의 유동에 기인한다³⁾. 과열과 용락현상을 막기위해 입열량과 관련된 용접변수를 결정하기 위해 용접 중 열전달의 평가를 위해 분기용접모델을 설정하여 수행하였다.

2.3 분기용접부 평가모델

본 논문에서는 ASME B 31.8의 코드를 참조하여 국내에서 사용되고 있는 배관 용접부 보강형태에 따라 Table. 1과 같이 4가지의 형태로 구분 정의하였다. 도시가스 배관의 분기티는 가스수요의 증가에 따라 여러형태로 변천되어왔으며, 지관의 증가추세로 모배관에서 수직분기되는 형태의 분기티를 가장 기본형태인 Type A인 set-on 형에서 Type D의 형태인 전둘레 용접형이 있다.

Table. 1 Characteristics of Branch fittings used to gas pipe line.

Types	Characteristics	Model	Weld method	Element(weld part)
A	Set-on	Model 1	- Groove weld - Cover fillet	- Run pipe - Split tee
B	Set-on with reinforcing pad	Model 1 Model 2	-Through groove weld -Through pad weld -Cover fillet - Pad fillet weld	- Run pipe - Split tee - Pad
C	Set-on with reinforcing pad	Model 2	- Pad fillet weld - Cover fillet	- Run pipe - Split tee with Pad
D	Full enciclement with reinforcing pad	Model 2	- Pad fillet weld - Pad butt weld	- Run pipe -Split tee with Pad (h1) - Pad (h2)

2.4 수치해석의 절차

용접 열전달을 위한 계산모델은 아크용접에 의한 열의 발생, 열전달과 복사에 의한 손실 및 경계조건과 초기조건을 포함한 열전도등이 포함되었다. 열의 해석을 위해서 수치적 해석절차에 따라 과도해석(Transient analysis)에 의한 열전달과 열탄소성 해석을 통한 응력 및 변형을 평가하였으며, 유한요소해석(FEM)은 상용코드인 ANSYS 7.01을 이용하였다.

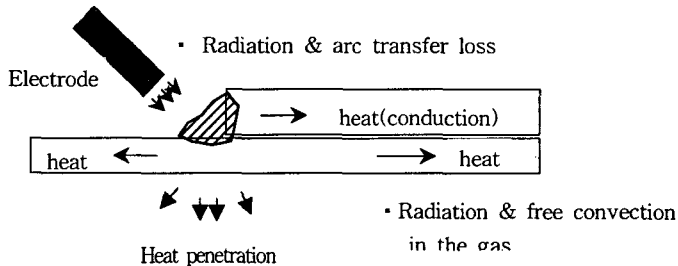


Fig. 1 Fillet weld model configuration of the sleeve-to-pipe fillet weld. (Model 2)

3. 수치해석에 의한 분기용접 현상의 해석

3.1 열전달 모델의 해석

분기천공을 위한 fitting 용접형태 중 가장 기본인 형태가 Type A(set on 형) 분기용접부로 Model 1(branch-to-run pipe groove weld)으로 정의하였다. 분기용접모델을 단순화하기 위해 분기천공부를 중심부를 대칭선으로 반쪽만을 해석 대상으로 하였으며, 열전달의 경계조건은 배관내부로의 전도현상 및 외층은 자연대류 조건을 사용하였다.

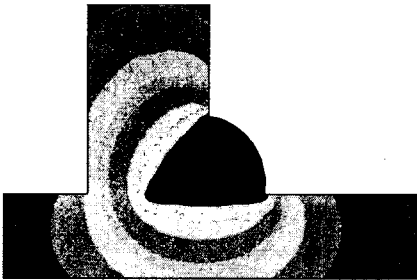


Fig. 2 Heat distribution in Set-on type(Model 1)

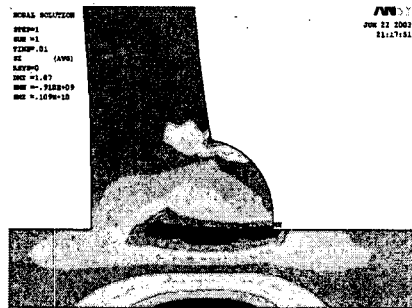


Fig. 3 Residual stress distribution in Set-on type fitting. (axial direction)

3.2 열전달에 의한 온도 및 응력해석 결과

Model 1은 분기배관 외측면에 그루브(groove) 용접되므로, 개섵각도 및 깊이에 따라 용입량이 결정되며, Fig 2에서의 용접열원에 따른 용융부(FZ, 용융점 이상)와 배관의 최고온도가 A_{c1} 점을 넘는 이력을 갖는 영역을 열영향부(HAZ)로 판단할 수 있으며, 온도분포 곡선은 열전달(전도 및 대류)에 따르는 모배관 내측으로의 열 흐름을 나타내고 있다. 이때 용접 아크 주위의 온도는 준정상상태(quasi-steady state)로 볼수 있다. Fig 3은 용접 열에 의한 열전달과 구속조건에 의해 형성된 용접부의 잔류응력 분포이며, 분기용접 된 모배관내부에는 인장잔류응력이 존재하고, 배관표면층에는 압축잔류이 분포하는 것으로 나타났다. .

Fig 4에서는 배관의 두께방향으로의 온도분포를 나타내고 있으며, 저압용 배관의

두께가 5mm로 얇아 배관 깊이에 따른 온도분포를 평가할 수 있다. Fig 5는 열 용량의 크기에 따라 분기티의 용접 후에 나타난 모배관의 외층표면과 내층에서의 잔류응력 성분을 나타내고 있다.

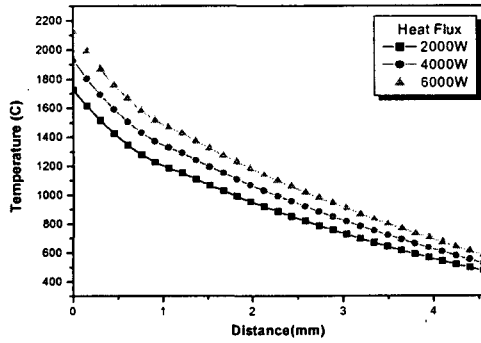


Fig.4 Variation of temperature distribution comply with heat-input in run-pipe.

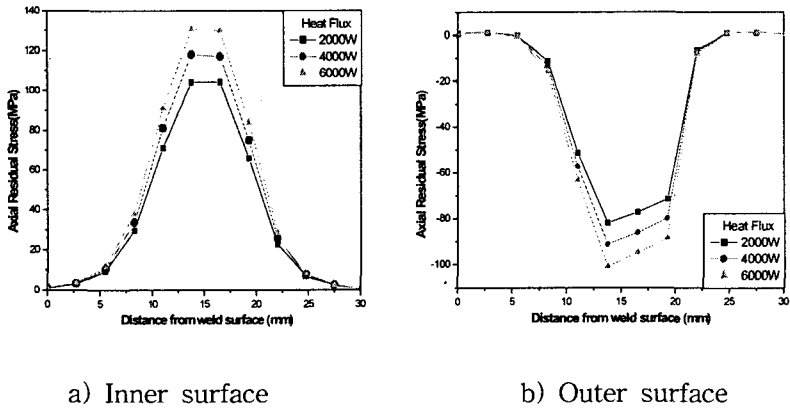


Fig. 5 Transient and residual axial stress distribution for Model 1.

4. 결 론

도시가스용 배관의 분기천공(hot tapping)의 필렛용접부에 대한 계산모델을 설정하고, 수치해석(numerical method)을 이용한 열·탄소성 해석을 통하여 분기용접부의 입열량에 따른 열전달 현상의 해석으로 배관의 결함 생성에 미치는 영향과, 전체적인 용접잔류응력분포를 파악하는데 유용한 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. API RP 2201: Fourth edition(1995)
2. ASME B 31.8 : Piping code in Natural Gas piping. (1986)
3. T.A. Bubenik, R.D. Fischer, Battele hot tapping report. (1991)
4. API RP 1107: 3rd edition (1991)
5. 대한용접학회, 용접·접합 편람(2002)