

# 강관 용접부의 잔류응력의 특징

## Characteristics of Residual Stress Generated by Welding in steel pipe

장 경 호, 양 성 철

중앙대학교 공과대학 건설환경공학과, 중앙대학교 대학원 토목공학과

### 1. 서론

플랜트의 배관설비, 도시 상하수도, 기초 말뚝 등 강관부재는 중요한 사회 기반시설중 하나이다. 강관은 고온·고압의 물질의 이송로가 되고, 하중을 지지하며, 두께나 관경에 비해 상대적으로 길이가 긴 구조물이다. 따라서, 강관부재에서 접합은 필수이며, 접합방법 중 가장 많이 쓰이는 방법이 용접이다. 그리고, 용접을 하면 반드시 잔류응력 및 변형이 생긴다.<sup>(1)~(3)</sup> 이렇게 용접시에 생기는 잔류응력과 변형은 용접 구조물에 악영향을 미친다. 또한, 강관 시설의 붕괴·파손 양상을 보면 접합부에서 많이 발생하고 있다. 그러므로, 강관 접합부의 역학적 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 유한요소법을 이용한 3차원 열탄소성 해석을 수행하고, 그 결과를 토대로 강관 부재에 생기는 잔류응력의 특징을 검토하였다.

### 2. 해석조건

#### 2.1 해석모델과 용접조건

본 연구에 사용되어진 해석 모델은 Fig 1.에 나타난 것과 같다. 모델재료는 SS400을 사용하였으며, 400mm(길이)×300mm(외경)×7mm(두께)의 강관을 반모델로 하여 해석하였다. 용접조건은 전압 30V, 전류 200A, 속도 6mm/sec, 열효율은 0.85%이며 1Pass용접을 하는 것으로 하였다.

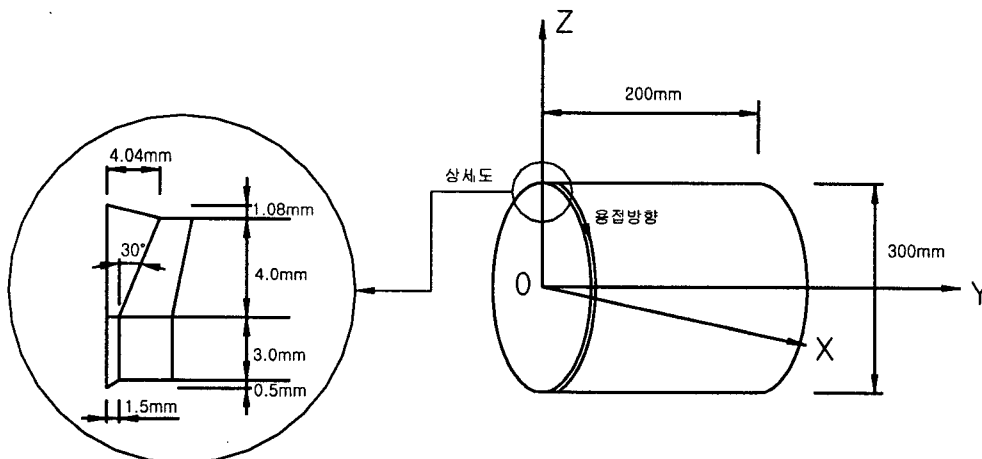


Fig.1 해석 모델

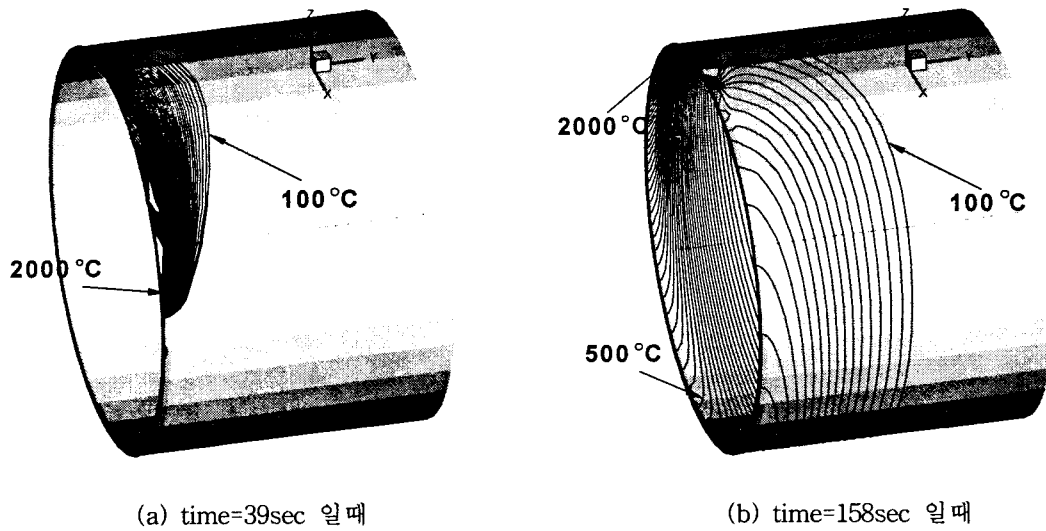


Fig.2 온도분포

## 2.2 온도분포

3차원 비정상 열전도 해석을 수행하여 온도이력을 구하였으며, 그 결과의 한 예를 Fig.2에 나타내었다. 여기서 time은 용접된 시간을 나타낸다.

## 3. 잔류응력

Fig.3 (a) ~ (d)는 모델에서 용접 시작지점으로부터 180° 지점의 내측( $x=0, y=0, z=144.5\text{mm}$ )과 외측( $x=0, y=0, z=148\text{mm}$ ), 270° 지점의 내측( $x=-144.5\text{mm}, y=0, z=0$ )과 외측( $x=-148\text{mm}, y=0, z=0$ )의 잔류응력을 나타내었다.

Fig.3 (a)의 결과는 용접 시작점으로부터 180° 지점 내측의 잔류응력상태를 나타내고 있다. 원주방향 응력과 길이방향응력은 접합부에서 인장응력이 발생되었고, 각각  $y=20\text{mm}$ 부근과  $y=30\text{mm}$ 부근에서 압축응력이 생겼다. 그리고, 100mm 부근에서 영에 수렴하고 있다. 이에비해 두께방향응력은 접합부에서 인장응력이 발생되나, 그 절대치는 매우 작다.

Fig.3 (b)는 용접 시작점으로부터 180° 지점 외측의 잔류응력상태를 보이고 있다. 원주방향응력과 두께방향응력의 전체적인 형상은 내측면과 비슷한 형상을 보이지만, 응력의 크기는 내측면보다 낮다. 또한, 길이방향응력은 외측면과 반대로 압축응력이 발생하였다.

Fig.3 (c), (d)는 용접 시작점으로부터 270° 지점 내·외측의 잔류응력을 나타내고 있다. 180° 지점과 비슷한 잔류응력 형상과 크기를 보이고 있다.

위 결과에서 알 수 있듯이 원주방향응력과 두께방향응력은 내외측 모두 용접부에서 인장응력이 발생되었고, 용접부에서 멀어지면서 압축응력이 생긴후, 모재부의 끝단으로 갈수록 영으로 수렴하고 있는 것을 알 수 있다. 반면, 길이방향응력은 내측면에서 인장이 발생되었고, 외측에서는 압축이 발생되었다.

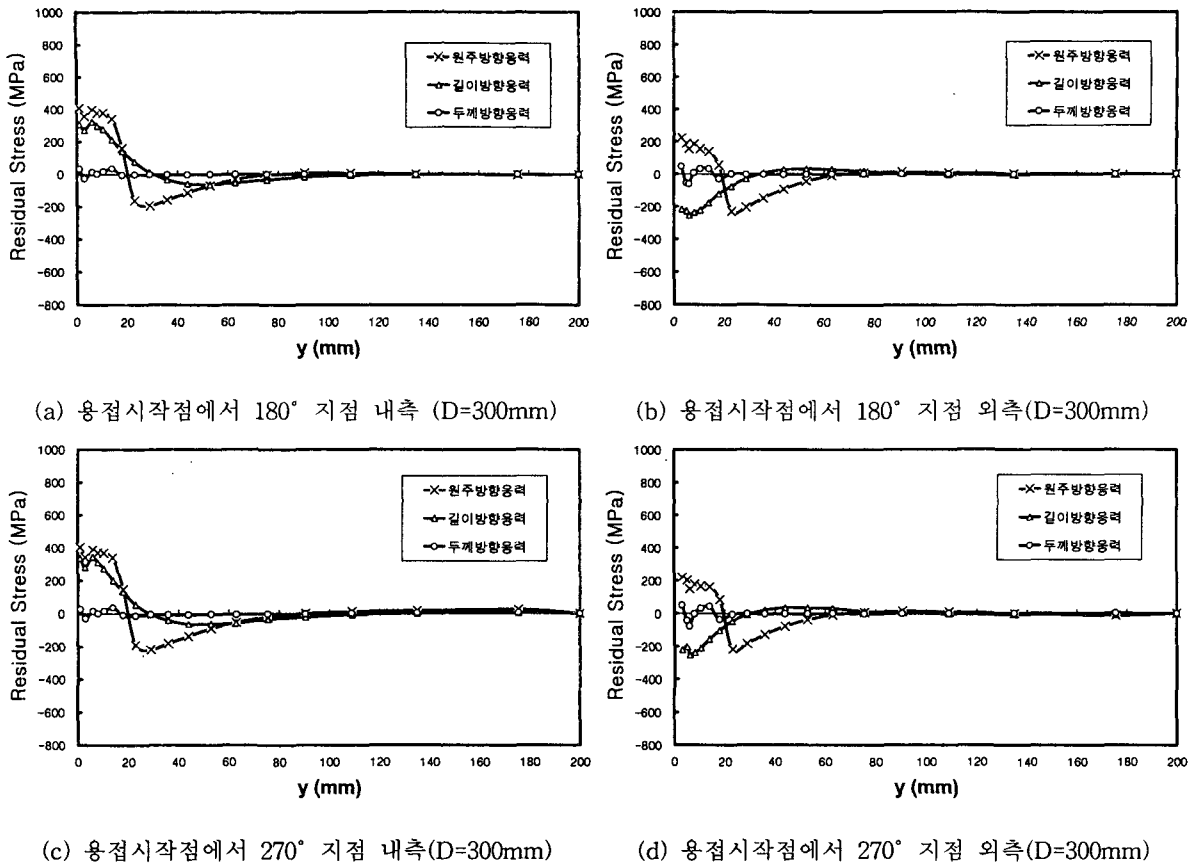


Fig.3 잔류 응력

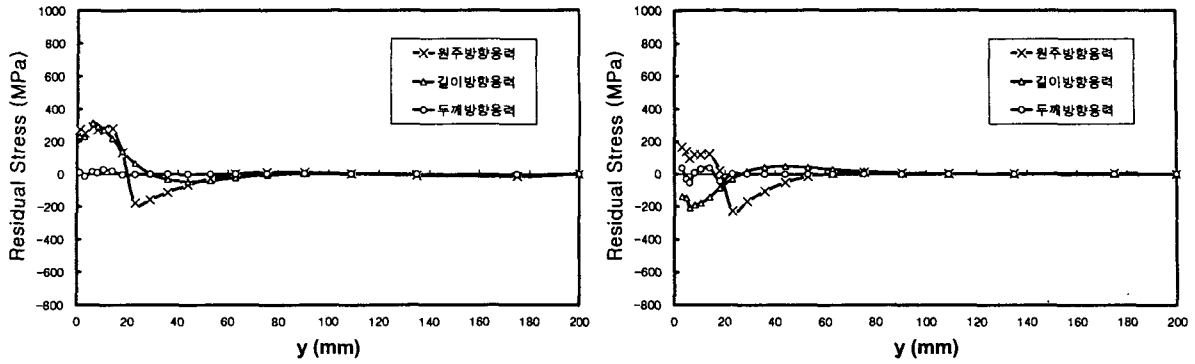
#### 4. t/D의 영향

Fig.4 (a) ~ (d)는 원통관의 t/D가 용접잔류응력 분포에 미치는 영향을 검토한 결과이다. 여기서는 t(두께)를 7mm로 고정하고 D(외경)를 200mm(t/D = 0.0350), 300mm(t/D = 0.0233), 400mm(t/D = 0.0175)로 변화시켜 가면서 해석을 수행하였다. 이때 용접조건 및 강관의 제원은 Table.1에 보인다.

Fig.4 (a) ~ (d)에서와 같이 t/D값이 작아질수록 원주방향잔류응력과 길이방향잔류응력이 커지고 있는 것을 알 수 있다. 반면, 두께방향잔류응력에는 t/D값의 영향이 거의 없다. 이와같이 잔류응력이 발생하는 이유는 D값이 커질수록 관의 둘레의 길이도 커지고, 용접후 수축변형의 크기도 따라서 커지므로 잔류응력의 크기도 크게 발생하는 것으로 사료된다.

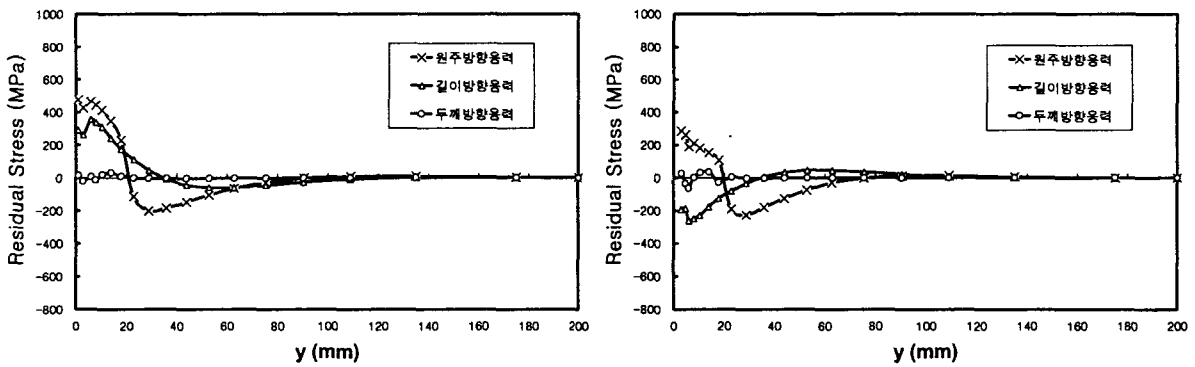
Table.1 t/D 및 용접조건

관경(mm)	강종	두께(mm)	t/D	전압(V)	전류(A)	용접속도 (mm/sec)	Pass	입열량 (J/mm)
200	SS400	7	0.0350	30	240	6	1	1200
300	SS400	7	0.0233	30	240	6	1	1200
400	SS400	7	0.0175	30	240	6	1	1200



(a) 용접시작점에서 180° 지점 내측(D=200mm)

(b) 용접시작점에서 180° 지점 외측(D=200mm)



(c) 용접시작점에서 180° 지점 내측(D=400mm)

(d) 용접시작점에서 180° 지점 외측(D=400mm)

Fig.4 잔류응력 (t/D의 영향)

## 5. 결론

본 연구에서는 강관 용접시 발생하는 잔류응력의 특징을 명확히 하였다. 그 주요 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

- (1) 원주방향잔류응력과 두께방향잔류응력은 내·외부에서 모두 용접부에서 인장응력이 발생하고, 길이방향잔류응력은 내부에서 인장응력, 외부에서 압축응력이 발생된다.
- (2) 원통관의 t/D값이 작아질수록 원주방향잔류응력과 길이방향잔류응력의 크기는 커진다.

## 6. 참고문헌

- (1) 장경호 : 적층용접에서 발생하는 변형 및 잔류응력의 특징, 한국강구조학회 학술발표회 논문집, 1999년 6월, pp.194-198
- (2) Y.C.Kim, K.H. Chang, and K. Horikawa: Production Mechanism of Out-of-Plane Deformation in Fillet Welding, Trans.of JWRI,27-2(1998),pp.107-113
- (3) 엄동석, 유기열 : 원통관의 원주용접시 발생하는 잔류응력에 관한 실험적 연구, 대한용접학회지 제15권 2호, 1997년 4월, pp. 81-88