

파이프 적층용접부 잔류응력의 거동

The Behavior of Residual Stress Generated by Multi-Pass Welding in Steel Pipe

장 경 호*, 양 성 철**, 박 정 응***, 신영의****

* 중앙대학교 건설환경공학과

** 중앙대학교 대학원 토목공학과

*** 삼성중공업 조선플랜트 연구소

**** 중앙대학교 기계공학부

1. 서론

강관은 높은 압력이나 고온을 견디며 물질을 이송하는 통로가 되거나 하중을 지지하는 역할을 수행한다. 이와 같은 강관부재는 관경이나 두께에 비해 상대적으로 길이가 긴 구조물이므로 접합은 필요불가결한 사항이다. 또한 강관 부재로 제작되는 압력용기, 해양구조물, 배관구조물, 도시 상하수도 등 대부분 용접제작되고 있는 실정이며 용접시에는 반드시 잔류응력 및 변형이 발생하게 된다. 그리고 원통관의 원주용접시 발생하는 잔류응력의 크기, 분포, 방향등은 구조물에 악영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한, 강관 시설의 파괴·파손은 접합부에서 많이 발생된다고 보고되고 있으며, 강관 접합부의 역학적 특성을 파악하는 것은 대단히 중요하다.

본 연구에서는 다층 용접된 강관의 잔류응력을 해석을 통하여 추정하였으며, 용접잔류응력의 크기 및 분포의 특성을 파악하였다.

2. 해석조건

2.1 해석모델과 용접조건

본 연구에 사용된 모델재료는 토목 구조용 강으로 많이 사용하고 있는 SWS490 강을 사용하였으며, 400mm(길이)×219.1mm(외경)×12.7mm(두께)의 강관을 반모델로 하여 해석하였다. SWS490의 항복응력은 320MPa, 인장강도는 490MPa이며, 해석모델은 Fig.1과 같다. 용접조건은 전압 30V, 전류 240A, 속도 6mm/sec, 열효율은 0.85이며 4Pass의 적층용접을 하는 것으로 하였다. 그리고, 4Pass 용접시 각 Pass 별 과도응력 및 잔류응력의 과정을 추적함으로써 잔류응력의 거동을 파악하였다.

2.2 온도분포

3차원 비정상 열전도 해석을 수행하여 온도이력을 구하였으며, 그 결과의 한 예를 Fig.2에 나타내었다.

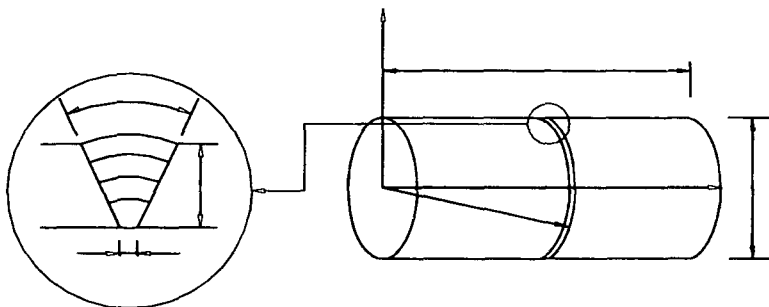


Fig.1 해석모델

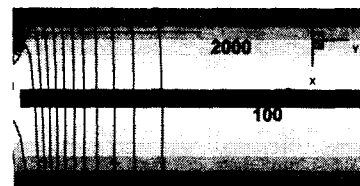
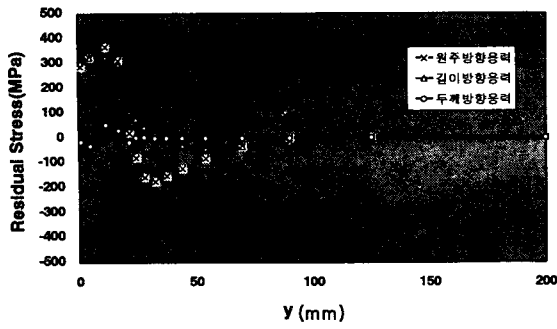
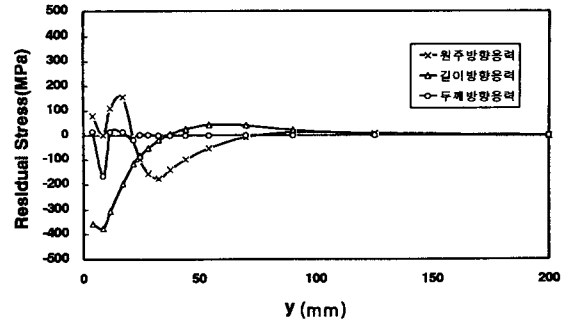


Fig.2 용접완료시 온도분포(4Pass)



(e) 강관 하부 내측의 잔류응력 (4Pass)



(f) 강관 하부 외측의 잔류응력 (4Pass)

Fig.3 잔류응력

3. 적층용접부 잔류응력의 거동

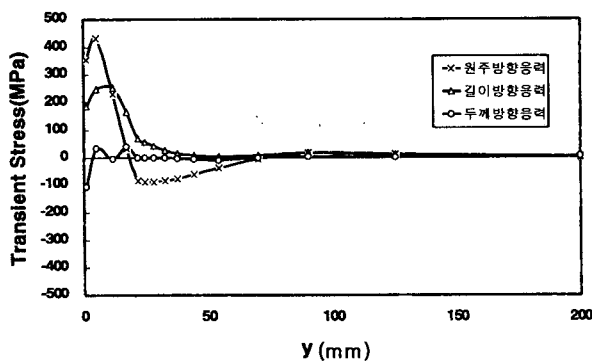
3.1 잔류응력

온도이력을 바탕으로 3차원 열탄소성 해석을 수행하여 잔류응력을 얻었다. Fig.3의 결과는 4Pass 적층용접을 했을 때 하부 내·외측의 잔류응력이다. 결과에서 원주방향잔류응력은 접합부에서 내측과 외측이 모두 인장잔류응력이 발생함을 알았다. 반면 길이방향잔류응력은 내측에서는 인장잔류응력이 발생되었고, 외측에서는 압축 잔류응력이 발생되었다.

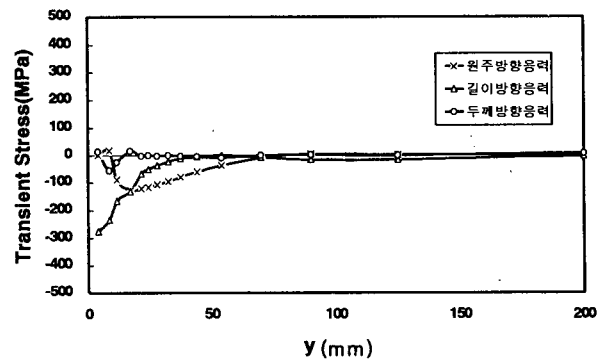
3.2 과도응력

총 4Pass 용접시 각 Pass 용접이 끝날때마다 어떠한 과도 응력을 보이는지 살펴보았다. Fig.4의 결과는 총 4Pass의 용접을 할 때 각 Pass가 끝났때마다의 과도 응력을 나타낸 것이다. Pass가 늘어날수록 과도응력의 절대치는 작아지는 것을 알 수 있다.

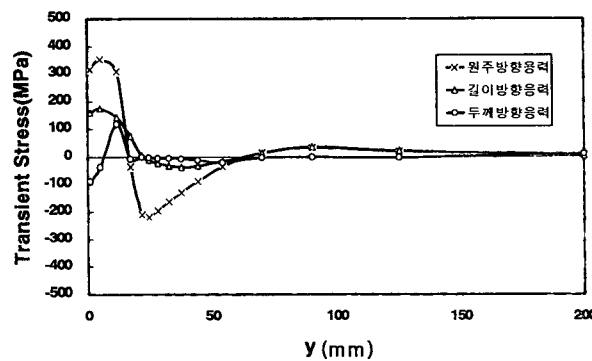
이와같은 이유는 강관의 용접은 단순히 열응력에 의한 잔류응력의 생성이 이루어지는 것이 아니라, 기하학적 형상의 변화도 응력의 분배에 영향을 주기 때문이라 사료된다.



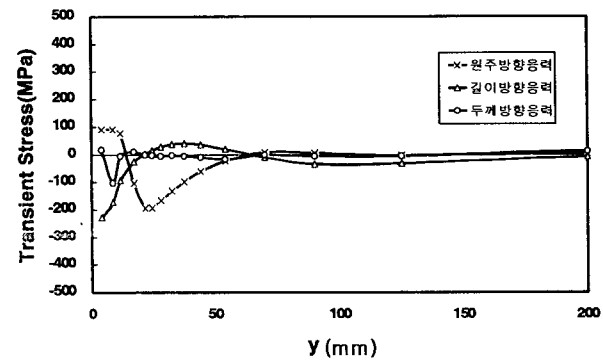
(a) 강관 하부 내측의 과도응력(1Pass)



(b) 강관 하부 외측의 과도응력(1Pass)



(c) 강관 하부 내측의 과도응력(2Pass)



(d) 강관 하부 외측의 과도응력(2Pass)

Fig.4 과도응력(4Pass)

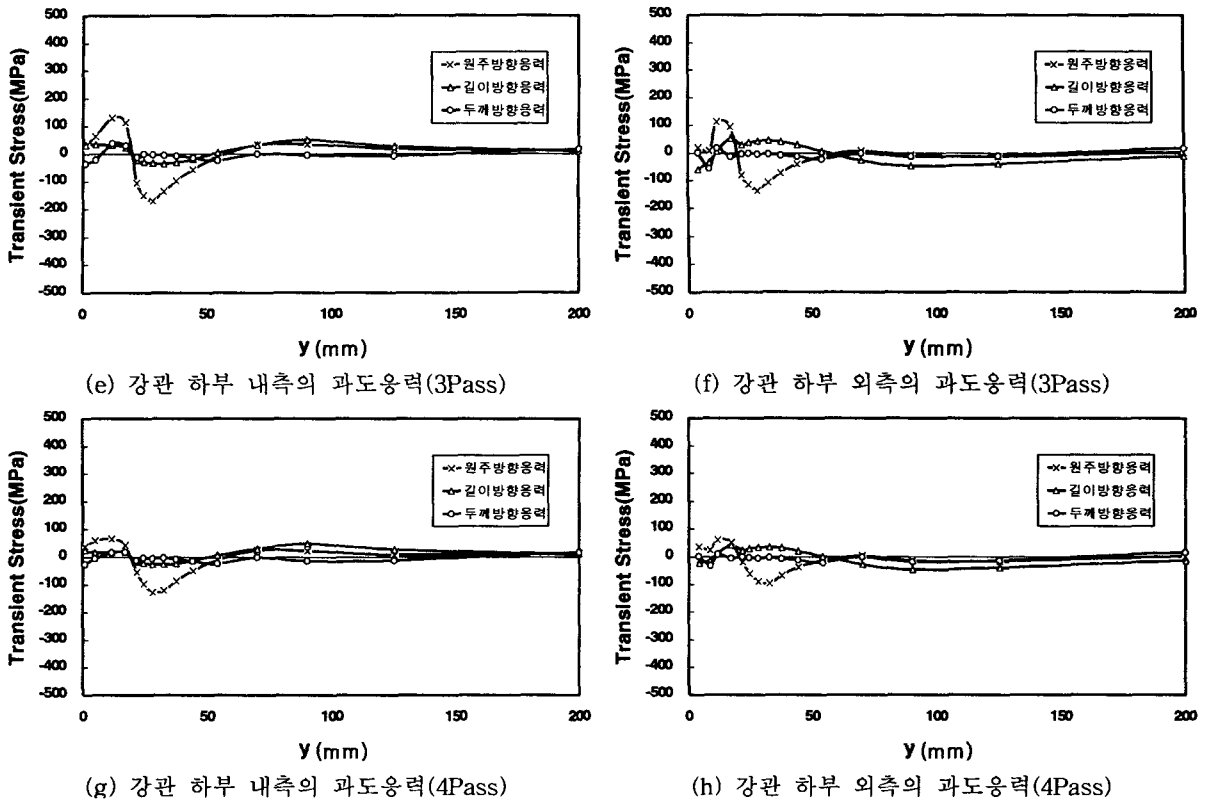


Fig.4 과도응력(4Pass)

특히 원주방향응력은 입열이 진행될 경우 인장이 나타나며, 강관의 특성상 수축이 될 경우 강관 단면의 중립축을 중심으로 원주방향 길이는 내부에서는 늘어나게 되고, 외부에서는 줄어들게 된다. 따라서 기하학적 형상에 의해 원주방향응력은 내부에서는 인장응력이 추가로 발생하게 되며, 외부에서는 압축응력이 추가로 발생하게 된다. 또한 1Pass가 용접된후 나머지 2, 3, 4Pass가 용접될 때에는 1Pass에서는 외부의 인장으로 인한 압축응력이 발생하게 된다. 결국, 원주방향의 인장응력은 Pass가 증가할수록 감소하게 된다. 이것은 외부의 원주방향응력이 내부의 원주방향응력보다 작은 값을 보이는 것에서도 알 수 있다.

또, 길이방향응력은 용접열이 투입될 경우에는 외부로 볼록한 형상을 하게 되고, 상온으로 내려갔을 경우에는 내부로 오목한 형상을 하게 된다. 따라서 내부 응력변화를 살펴보면, 처음에는 인장이 발생하였다가, 2Pass가 용접되었을 경우에는 내부 주목점에서는 수축함으로써 원래의 인장응력이 감소하게 되고, 3, 4Pass에서도 마찬가지로 상황이 된다. 그리고, 외부 주목점에서 발생되었던 압축응력은 2, 3, 4Pass 용접이 진행되면서 인장응력이 발생되어 원래의 압축응력이 작아지는 효과를 보인다.

4. 잔류응력 거동에 대한 고찰의 타당성 검토

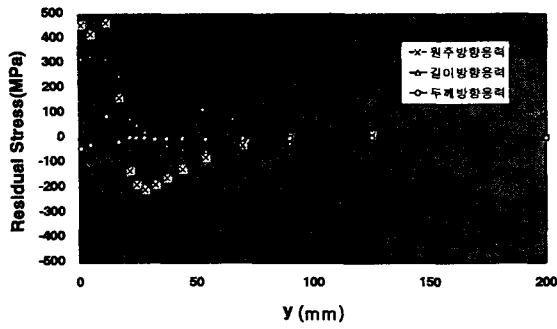
위와같은 잔류응력의 거동에 대한 고찰이 타당한가에 대해 다음과 같이 검토를 실시하였다. 즉, 같



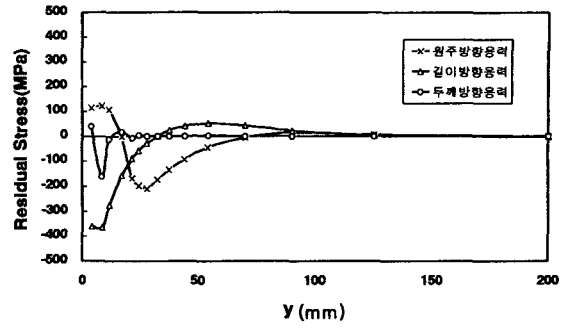
(a) 1Pass 강관 용접시 온도분포

(b) 2Pass 강관 용접시 온도분포

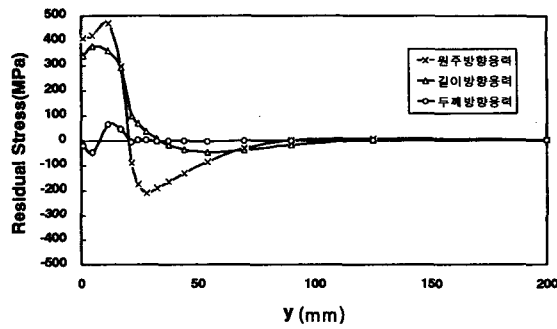
Fig.5 용접을 완료했을 때의 온도분포



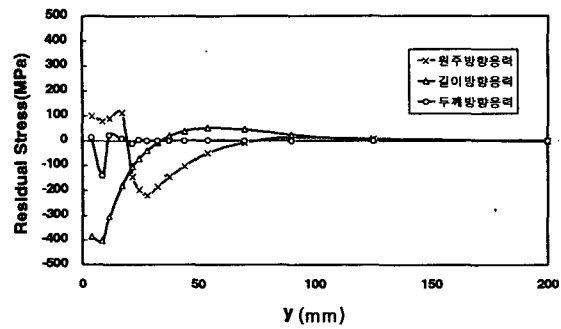
(a) 강관 하부 내측의 잔류응력 (1Pass)



(b) 강관 하부 외측의 잔류응력 (1Pass)



(c) 강관 하부 내측의 잔류응력 (2Pass)



(d) 강관 하부 외측의 잔류응력 (2Pass)

Fig.5 잔류응력 (1Pass, 2Pass인 경우)

은 두께의 강관을 똑같은 용접조건으로 하고, 1Pass 와 2Pass 일 때에 대해 검토하였다. Fig.5 와 Fig.6은 모델과 같은 강관을 1Pass로 용접 하였을때와 2Pass로 용접하였을때의 온도분포와 잔류응력 이다.

그 결과는 마찬가지로 원주방향잔류응력 및 길이방향잔류응력은 적층용접의 거동과 같은 결과를 얻었다.

5. 결론

본 연구에서는 파이프 적층 용접시 발생하는 잔류응력의 특징을 명확히 하였다.

- (1) 원주방향잔류응력은 내측과 외측이 모두 인장잔류응력이 발생한다.
- (2) 길이방향잔류응력은 내측에서는 인장잔류응력이 발생하고, 외측에서 압축잔류응력이 발생한다.
- (3) 강관의 용접에 의한 잔류응력은 열응력에 의해 발생할 뿐만 아니라, 기하학적 형상에 의한 영향도 받는다.

6. 참고문헌

- (1) 장경호, 양성철 : 강관용접부의 잔류응력의 특징, 대한용접학회 학술발표회 논문집, 2000년 4월, pp.239-242
- (2) 장경호 : 적층용접에서 발생하는 변형 및 잔류응력의 특징, 한국강구조학회 학술발표회 논문집, 1999년 6월, pp.194-198