

이종강재 접합부에서의 파괴인성에 관한 연구

A Study on Fracture Toughness in the Welding Joint Composed of Dissimilar Steels

장 경 호*, 박 도 현**, 박 정 응***, 신 영 의****

* 중앙대학교 건설환경공학과

** 중앙대학교 토목공학과 대학원

*** 조선대학교 토목공학과

**** 중앙대학교 기계공학과

1. 서론

최근, 토목구조물의 경량화를 목적으로 고강도 강재의 개발이 추진되고 있다. 또한 경제성을 목적으로 고강도 강재와 일반 구조용 강재를 접합해서 사용할 필요가 있다. 그리고 이와 같은 이종강재 접합은 증가하고 있는 추세에 있다. 따라서 고강도 강재를 적용하기 위해서는 이종강재 접합부에서의 역학적 특성 및 파괴인성 특성을 명확히 해야 한다.

본 연구에서는 3차원 열탄소성 해석을 통해 이종강재 용접접합부의 잔류응력 및 파괴인성 해석을 수행하였다. 또한 3차원 3점 휨해석의 결과를 기본으로 하여 파괴인성의 특성을 명확히 하였다.

2. 실험 및 수치해석

2.1 실험모델과 용접조건

실험에 사용한 강재는 SS400강재와 SM570강재이며 좌/우측면의 구분은 용접방향을 기준으로 볼 때의 방향이다. 이종강재 실험판의 전체 폭은 400mm이고 길이는 900mm, 두께는 25mm의 크기로서 Fig 1과 같은 형태로 제작하였다. 용접은 FCAW용접에 의한 경우 총 7PASS용접을 실시하였으며 전면 3PASS의 용접후에 뒷면 용접시 가우징을 먼저 실시하여 뒷면의 불연속면 및 결합과 공극이 있는 부분을 제거한 후에 후면을 용접하는 것으로 하였다. 또한 FCAW+SAW용접은 처음 1PASS는 FCAW 용접을 실시하였고, 2PASS는 SAW를 실시하여 전면을 용접하였으며, 뒷면 용접시 가우징을 실시하고 다시 SAW로 3, 4, 5PASS 용접을 실시하여 시험편을 제작하였다. 시험편 용접부의 단면도 및 평면도는 Fig 1과 같다.

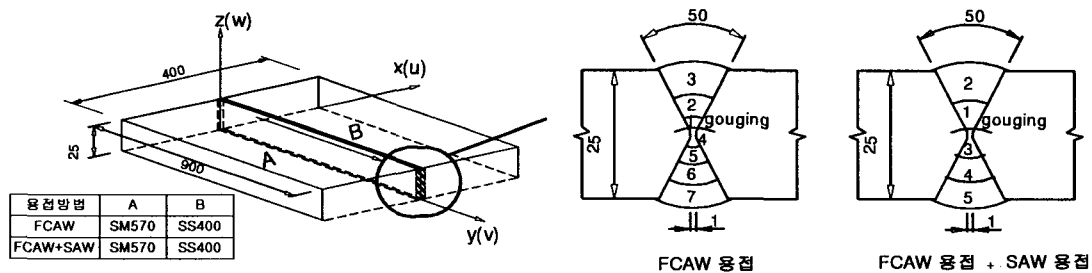


Fig 1. 용접모델

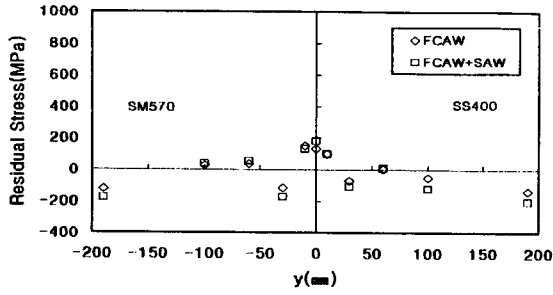


Fig 2. 용접선 직각방향 잔류응력

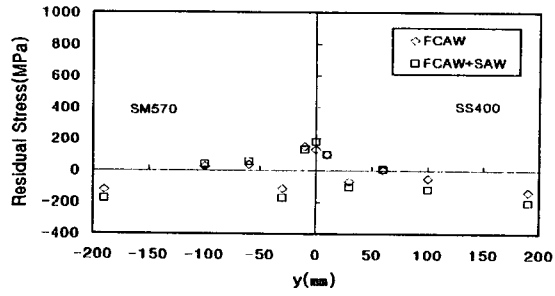
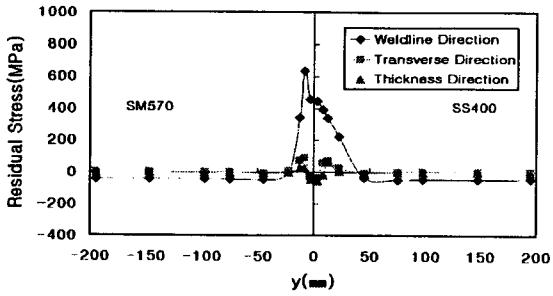
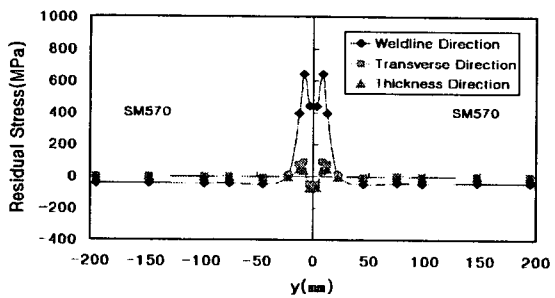


Fig 3. 용접선 방향 잔류응력

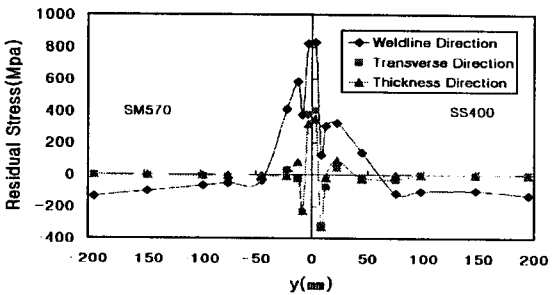


(a) SM570 + SS400 용접시의 잔류응력

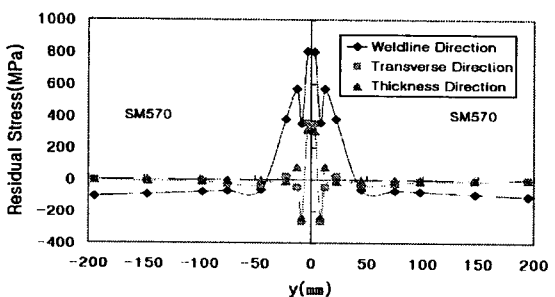


(b) SM570 + SM570 용접시의 잔류응력

Fig 4. FCAW 용접시의 잔류응력



(a) SM570 + SS400 용접시의 잔류응력



(b) SM570 + SM570 용접시의 잔류응력

Fig 5. FCAW+SAW 용접시의 잔류응력

실험판에 게이지를 부착하고 초기의 변형률을 측정 한 후, 실험판을 각 게이지 부분별로 얇은 셀 형태로 절단하여 응력을 해방시킨 후에 x축(용접선 방향)과 y축(용접선 직각방향)의 변형률을 측정하여 잔류응력을 측정하였다. 이중강재의 용접선 직각방향으로의 잔류응력은 Fig 2와 같다. 이중강재의 용접선 방향으로의 잔류응력도 용접선 직각방향과 동일한 방법으로 잔류응력을 측정하였다. 용접선 방향으로의 잔류응력은 Fig 3과 같다.

2.2 수치해석 및 실험결과

해석모델의 제원은 실험체과 같이 상정하였다. Fig 4는 FCAW의 용접방법으로 용접하였을때의 동종 강재 및 이중강재의 잔류응력을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이중강재 용접시에 SM570은 용접부 근처에서 용접선 방향으로 약 600MPa 정도의 잔류응력을 나타내었으며 SS400측에서는 약 380MPa정도의 잔류응력 값을 보이고 있다. 이것은 SM570의 항복강도가 SS400보다 크기 때문이며, SM570에서 더 큰 인장력이 발생했기 때문에 SS400에서 인장을 구속시키는 압축력이 발생했기 때문이라고 사료된다. 또한, Fig 5는 FCAW+SAW용접시의 동종강재 및 이중강재의 잔류응력을 나타낸 것이다. FCAW의 용접에서와 마찬가지로 이중강재의 접합에서의 SM570강재의 잔류응력이 SS400강재에 비해 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 FCAW용접과 비교하면 용접금속의 잔류응력이 모재의 잔류응력보다 크게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 FCAW+SAW의 용접의 입열량이 FCAW의 입열량보다 약 2배 정도 크기 때문이라 사료된다.

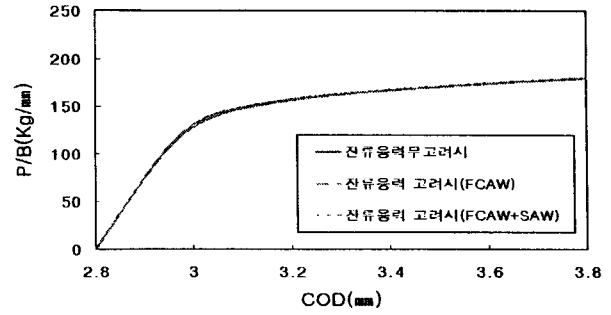
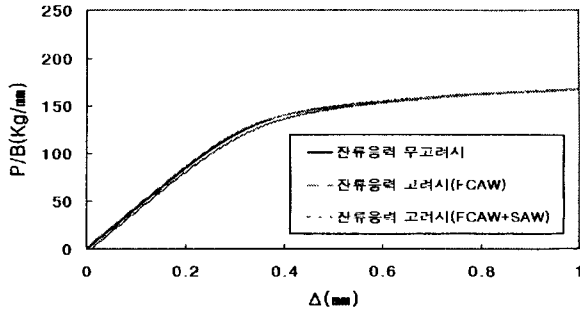


Fig 6. 잔류응력 고려시 용접접합부의 파괴인성

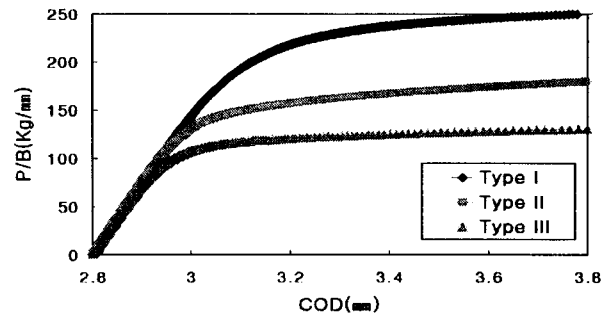
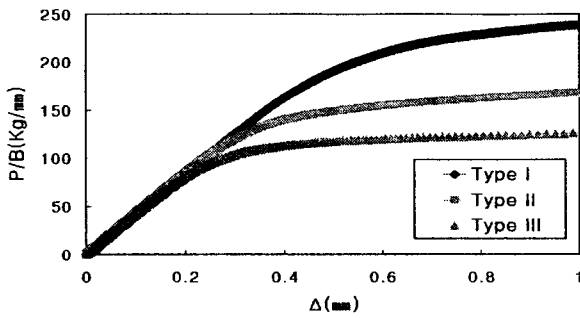


Fig 7. 강종에 따른 파괴인성

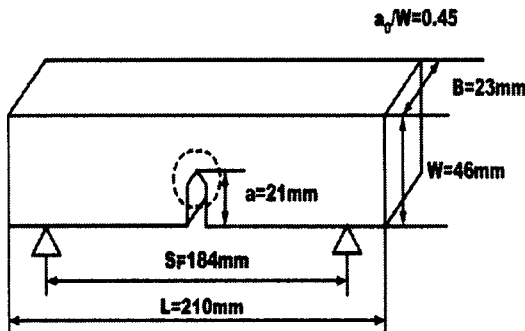


Fig 8. 3점휨 시험편의 형상 및 치수

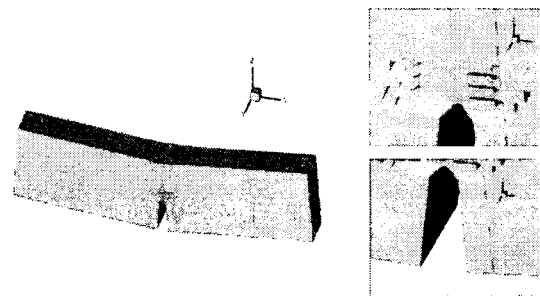


Fig 9. 해석모델의 변형형상

3. 이중강재 용접접합부의 파괴인성

이중강재 용접접합부의 실험에서 이미 구해진 용접잔류응력이 파괴인성에 미치는 영향에 대해 파악하였다. 또한 용접잔류응력을 고려한 3차원의 균열모형을 개발하였다. 이중강재 및 동종강재의 해석을 통해 이중강재 사용시의 파괴인성 특징을 명확히 하였다.

3.1 잔류응력에 따른 이중강재의 파괴인성

이중강재의 접합부의 파괴특성을 파악하기 위하여 2.1절에서 사용한 용접시험편으로부터 3점휨 시험편을 제작하는 것으로 상정하였으며 그 형상 및 치수는 Fig 8에 나타내었다. 용접접합부에서의 파괴인성 특징을 파악하기 위하여 Fig 9과 같은 3점휨 시험편을 이용하여 수치해석을 수행하였다.

해석은 FCAW 및 FCAW+SAW의 용접방법을 사용하였을 경우에 잔류응력을 고려하여 용접접합부에 대한 해석을 수행하였다. Fig 6은 FCAW 및 FCAW+SAW로 이중강재를 용접후에 발생한 잔류응력을 고려하여 해석을 수행한 결과이다. 용접부에서 용접잔류응력을 고려한 경우와 잔류응력을 고려하지 않은 경우의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

3.2 강종에 따른 파괴인성

Table 1의 TYPE I, II, III의 조건에 따라 강재를 각각 접합하는 것으로 상정하였으며 3.1절의 결과에서 잔류응력의 영향이 거의 존재하지 않는 것으로 나타났기 때문에 본 절에서는 잔류응력을 고려하지 않은 상태에서 각 강재의 파괴인성을 파악하였다. Fig 7의 (a)에서 P/B 비는 변위량(Δ)과 균열개구변위(COD)에 대해서 Type I > Type II > Type III의 순으로 크게 나타났다. Type I 과 Type II의 P/B를 비교했을 경우, Type I의 P/B 값이 약 38% 크고, Type II와 Type III를 비교했을 경우, Type II의 P/B 값이 약 37% 크게 나타났다. 즉, 균열개구변위(COD)는 강재의 인장강도가 클수록 작게 나타났다. 이 결과에서 용접접합부에서도 강재의 인장강도가 클수록 균열에 대한 저항이 크다는 것을 알 수 있다.

Table 1. 강재 접합 조건

TYPE	강종	
Type I	SM570	SM570
Type II	SM570	SS400
Type III	SS400	SS400

4. 결론

본 연구에서는 이종강재 접합부 잔류응력의 일반적 특징과 파괴 인성을 파악하기 위해서 3차원 유한요소법에 적용한 해석프로그램을 개발·검증하였다. 또한 해석프로그램을 통하여 용접 구조용 강재 SM570과 일반 구조용강재인 SS400의 이종강재를 접합하는 것으로 상정하여 용접했을 때 각각의 접합부의 잔류응력특징과 파괴인성 특징을 파악하였으며 그 주요 결과는 다음과 같다.

1. 적층용접시의 전, 후면용접의 입열량등의 영향에 의해 FCAW+SAW 용접에 의한 잔류응력이 FCAW 용접에 의한 잔류응력보다 작게 나타났다.
2. 잔류응력의 존재유무에 따른 이종강재의 파괴인성치는 크게 영향을 받지 않았다.
3. 용접접합부에서 균열개구변위는 강재의 인장강도가 클수록 작게 나타났다.

참고문헌

- (1) 장경호, 이진형 : 이종강재 접합부의 응력 거동, 한국 강구조 학회 학술발표대회 논문집, (2000), pp268-272
- (2) 장경호, 이진형 : 이종강재 맞대기 용접에 따른 용접부의 잔류응력 특징, 대한용접학회 학술발표대회개요집, (2000), pp235-238
- (3) 장동일, 김두환, 김성훈 : 용접 강부재의 잔류응력에 의한 파괴인성치 거동에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집, (1990), pp155-163
- (4) Designation: E 1290-99 : Standard Test Method for Crack-Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness Measurement, ASTM
- (5) Juan C. SUAREZ, Hidekazr MURAKAWA, Yukio UEDA : Effect of Welding Residual Stresses on Fracture Toughness Testing, Trans. JWRI, Vol. 26(1997), pp115-122
- (6) Wellman, G.W. and Rolfe, S.T. : Three Dimensional Elastic-Plastic Finite Element Analysis of Three-Point Bend Specimen, Fracture Mechanics, Sixteenth Symposium, ASTM STP 868, ASTM, (1985), pp214-237
- (7) 白鳥正樹, 三好俊郎, 松下久雄 : 數値破壊力學, 実教出版, 1992