

## 큰 자유도를 가지는 용접공정의 유한요소 해석

Finite element analysis of welding process for large-degree of freedoms

최 강혁\*, 김 완재\*\*, 김 건택\*\*\*, 임 세영\*, 김 충명\*\*\*\*, 이 중봉\*\*\*\*\*

\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 한국전력 전력연구원

\*\*\* 삼성전자 생산기술연구소

\*\*\*\* POSCO Joining Research Group

### 1. 서 론

열전달과 기계적 변형을 동시에 해석할 수 있는 프로그램은 여러가지가 개발되어 사용되고 있지만 현재까지 Leblond[1,2]가 제안한 변태소성방정식을 적용하여 변태소성까지 고려한 용접해석이 가능한 프로그램은 현재까지 SYSWELD가 유일한 것으로 알려져 있다. 그러나 SYSWELD 역시 유한요소 수식화 과정에서 hypoelastoplastic 가정을 사용하였기 때문에 계산의 효율성과 수렴성이 떨어진다는 단점이 있는데 용접해석은 상당한 계산시간을 요구하는 경우가 많으므로 이는 큰 문제점이라 할 수 있다.

이와 같은 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 최근 발표된 변태소성을 고려한 hyperelastoplastic 수식화[3]를 적용하여 실제 현장에서 사용되는 큰 자유도의 용접해석을 수행하고 그 유용성을 확인한다.

### 2. 유한요소 수식화

#### 2.1 용접공정의 유한요소 수식화

Leblond[1,2]이 제안한 변태소성을 고려한 유동규칙들을 거시적인 소성조건으로 다시 표현하면 변태소성에 해당하는 유동규칙이 항복조건이 제외된 고전적 소성의 경우와 같은 형태를 가지게 된다. 곱분해(multiplicative decomposition)와 초탄성 수식화에 근거한 유한요소 수식화는 변형률의 합분해(additive decomposition)를 기반으로 하는 hypoelasticity의 경우와 비교하여 두가지의 장점을 가지는 것으로 알려져 있다. 저장에

너지 함수와 항복조건이 주어지면 해당하는 유동규칙은 최대소실원리(the principle of maximum dissipation)로부터 유일하게 결정된다. 또한, 재료객관성(material objective)을 만족시키는 과정에서 회전중화(rotation neutralization)가 불필요하다. 다음으로 반경회귀매핑을 이용하여 응력과 변형률을 갱신하고 Simo and Miehe(1992)[4]의 과정에 기초하여 변태소성의 적분과정을 유도하고 정합접선계수를 계산한다.

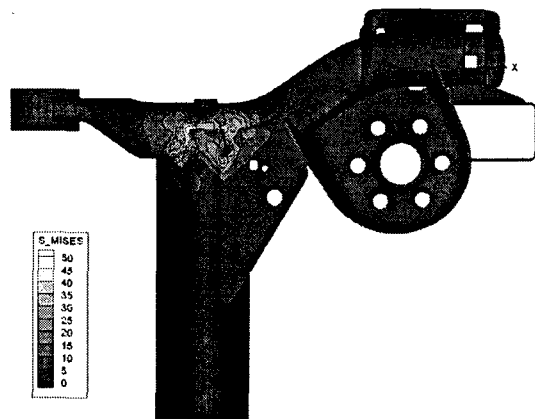
### 3. 수치예제

#### 3.1 CTBA(Coupled Torsion Beam Axle)의 용접해석

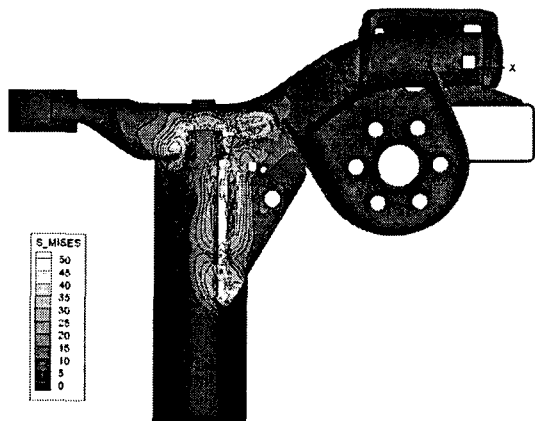
자동차의 현가장치에서 사용되고 있는 CTBA는 주축을 중심으로 여러 부품들이 용접을 통해 접합되어 이루어지며 이 과정에서 발생하는 용접잔류응력 및 변형이 부품의 강도에 영향을 끼치게 된다. 본 예제는 총 141513개의 요소, 327075개의 자유도로 이루어진 CTBA 모델을 구성한 후 순차적으로 이루어지는 8개의 용접과정에 의한 잔류응력을 예측한다.

본 해석은 펜티엄4(CPU clock speed 3.4GHz) 프로세서를 이용해 계산하였으며 총 13일의 해석시간이 소요되었다.

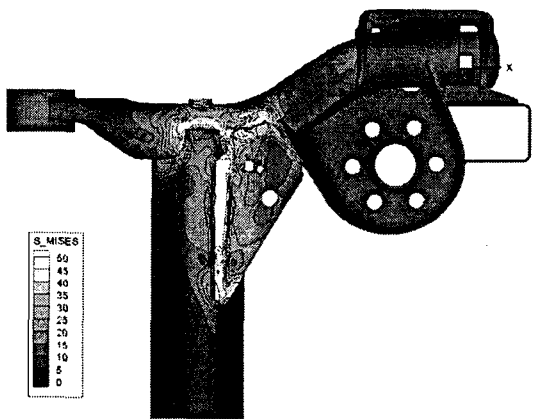
Fig. 1은 시간이 지남에 따라 발생하는 응력분포를 나타낸 것으로 용접부에 응력이 집중되어감을 확인할 수 있다.



(a) 10sec



(b) 40sec



(c) 1000sec

Fig.1 Mises stress contour plots of CTBA model (a)10sec (b) 40sec (c)1000sec

### 3.2 Spirial seam 용접강관의 해석

두번째 예제는 평판을 굽혀 원형으로 만든 다음 접합부를 용접해 파이프로 만드는 spirial seam 용접강관 생산과정을 해석하도록 한다. 이 예제의 경우, 초반 평판을 굽히는 과정에서 상당히 큰 변형률이 발생하며 재료의 대부분이 소성영역에 도달하게 된다. 따라서 용접해석뿐만 아니라 기계적 해석의 정확성과 수렴성 또한 요구되는

문제라 할 수 있다.

본 연구에서는 70800개의 요소로 이루어진 유한요소모형을 사용하였으며 Fig. 2에 잔류응력분포를 나타내었다. 또한 용접해석시 중요하게 평가되는 용접부위에서 용접방향에 수직인 응력과 전단응력을 Fig. 3에 나타내었다. 물리적으로 쉽게 예상할 수 있는 바와 같이 용접부에서 거리가 멀어지면 일정한 응력값으로 수렴하는 경향을 확인할 수 있으며 spiral 이라는 형상의 특성상 전단응력도 무시할 수 없는 값을 보이고 있다.

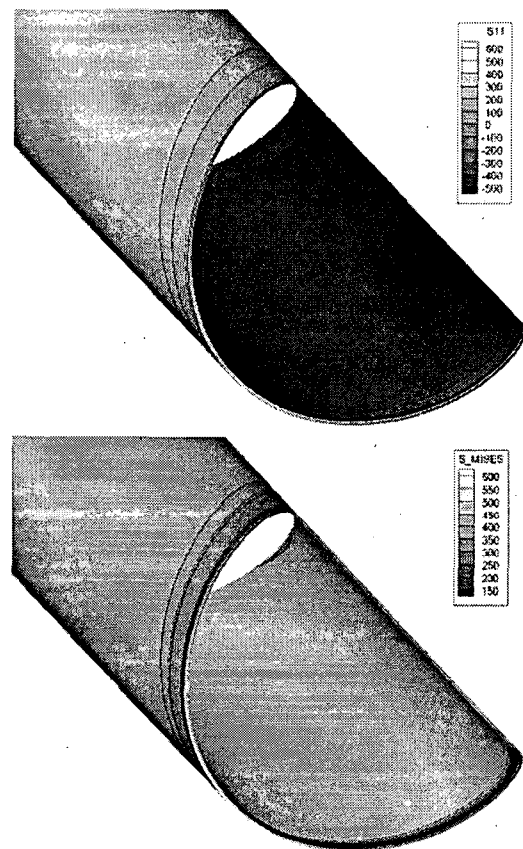
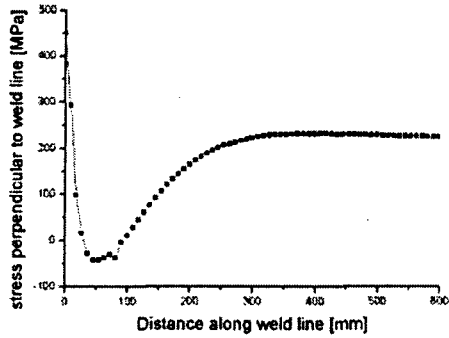
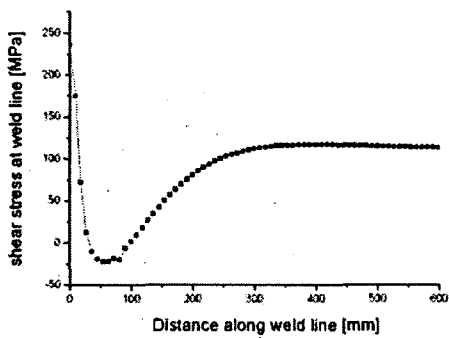


Fig.2 Residual stresses of spirial pipe (a) S11 : circumference direction component (b) Mises stress component

4. J.C. Simo and J.C. Miehe, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 98 (1992), 41-194.



(a)



(b)

Fig.3 Residual stresses along weld line of spiral pipe (a) normal stress component which is perpendicular to weld line (b) shear stress

#### 4. 결 론

본 연구에서는 변태소성을 고려한 용접과정의 유한요소해석[3]을 이용하여 실제 사용되는 큰 자유도의 문제에 대한 해석을 수행하였으며, 수치예제들을 통해 용접잔류응력의 예측의 유용성과 활용도를 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 POSCO 사외위탁연구과제 중 Spiral seam 용접 강관의 잔류응력해석의 일환으로 수행되었음에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. J.B. Leblond, G. Mottet and J.C. Devaux, *J. Mech. Phys. Solids*, 34-4 (1986a), 395-409
2. J.B. Leblond, G. Mottet and J.C. Devaux, *J. Mech. Phys. Solids*, 34-4 (1986b), 411-432
3. J. Kim, S. Im and H.-G. Kim, *Int. Journal of Plasticity*, 21 (2005), 1383-1408