

2D-3D FEM 해석에 의한 절단응력의 해석 및 정도 Prediction of Cutting Stress by 2D and 3D-FEM Analysis and Its Accuracy

장경호* 이상형** 이진형***
Chang, Kyong-Ho Lee, Sang-Hyong Lee, Chin-Hyung

ABSTRACT

Steel bridges, which have been damaged by load and corrosion, need repair or strengthening. In general, before the repair welding procedure, cutting procedure carry out. Therefore, the investigating of the behavior of stress generated by cutting is so important for safety of structure. Residual stress produced by gas cutting was analyzed using 2D and 3D thermal elasto-plastic FEM. According to the results, the magnitude of temperature was analyzed by 2D-FEM is smaller than that was analyzed using the 3D-FEM program at the start and end edge of flange. And the magnitude and distribution of residual stress of perpendicular to the cutting line was analyzed by the 2D-FEM program was similar to that was analyzed by the 3D-FEM program. Therefore, it is possible to predict of cutting stress by 2D and 3D FEM.

1. 서 론

강구조물의 보수·보강에 있어 용접 및 절단에 의해 발생하는 응력 및 변형의 예측은 구조물의 안전 및 다양한 상황에 대한 시기 적절한 조치를 위해 중요하다 할 수 있다. 이와 같이 강구조물의 보수·보강중 발생하는 응력 및 변형의 예측·제어·방지를 위한 방법으로서 수치해석이 사용될 수 있다. 그리고, 최근 강재의 고강도화, 부재의 경량화 경향 등 다양한 제조진들의 변화가 발생하였다. 따라서, 기존의 강구조물 이외에 이와 같은 새로운 제조진들이 적용된 강구조물의 보수·보강에 있어 응력 및 변형의 적절한 예측이 요구⁽¹⁻³⁾되어지고 있다. 근래 구조물의 해석에 있어서 계산기의 발달로 입체요소를 이용한 3D-FEM 해석이 가능해졌다. 그러나, 아직은 그 크기의 한계 등이 있어 상황에 따라 2차원 및 3차원 해석을 선택적으로 사용하여야

* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 조교수
** 학생회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사수료
*** 중앙대학교 토목공학과 박사과정

한다. 즉, 부재 정도의 해석 또는 두께 방향을 고려한 해석이 필요한 경우에는 3차원 해석을 사용하고, 구조물 전체해석에는 2차원 해석을 사용하는 것이 경제적이다. 따라서, 이러한 구조물의 해석에 있어, 2차원 및 3차원 유한요소 해석을 통해 얻을 수 있는 부재 응력의 해석 정도에 대해 명확히 할 필요가 있다.

본 연구에서는 가스절단에 의해 발생하는 잔류응력을 평판요소를 이용한 2차원 및 입체요소를 이용한 3차원 열탄소성 유한요소해석을 통해 명확히 하였다.

2. 해석조건

2.1 해석모델

해석 모델은 Fig 1. 과 같이 $1000 \times 1000 \times 25 \text{mm}$ 크기의 연강(SS400)판을 사용하였다. 이와 같은 평판에 2mm 크기의 절단폭을 상정하여 1Pass에 절단을 수행하는 것으로 하였다. Fig 1.의 해석 모델상에서 점선은 온도이력 및 잔류응력의 주목점을 나타내고 있다.

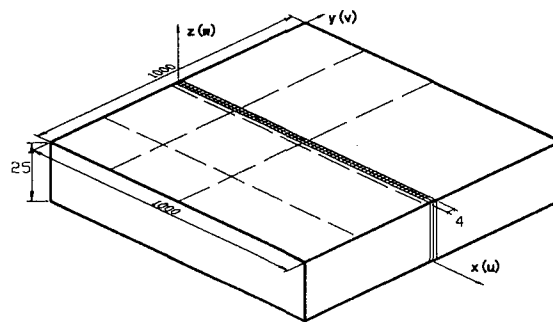


Fig 1. Analysis Model

2.2 용접 및 절단조건

가스절단은 철과 산소의 화학반응열을 이용하는 절단법이다. 다시 말해, 절단을 하려는 평판의 절단 시작부에 미리 예열을 행한 후에 고압의 산소를 불어내면 예열부위가 고압산소의 기류에 의하여 날려지게 되면서 그 자리가 파지게 됨으로써 절단이 이루어지는 것이다. 그래서 이러한 절단 현상을 모델링하기 위해 처음 절단요소에 10초 동안 예열온도를 가한 후 절단이 시작되는 것으로 하였으며 강재의 용융열을 고려하여 강판의 절단부위 온도가 1400°C 이상이 되면 모재가 절단이 되는 것으로 상정하였다.

본 해석에서 절단은 $850 \sim 900^\circ\text{C}$ 정도의 온도로 10초간 단부($x=0, y=0$)를 예열한 후 $v = 300(\text{mm}/\text{min})$ 의 절단속도로 절단하는 것으로 상정하여 해석을 수행하였다. 또한 본 연구에 사

용되어진 2차원 및 3차원 열탄소성 해석에서는 Fig 2.에 나타낸 것과 같은 재료의 물리정수 및 기계적 제성질의 온도의존성⁽⁴⁾을 고려하였다.

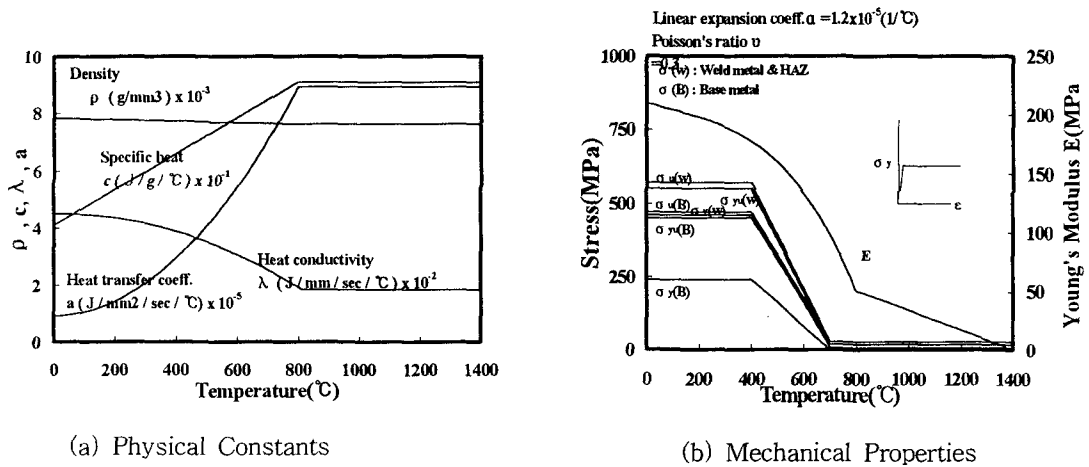


Fig 2. Material Constants

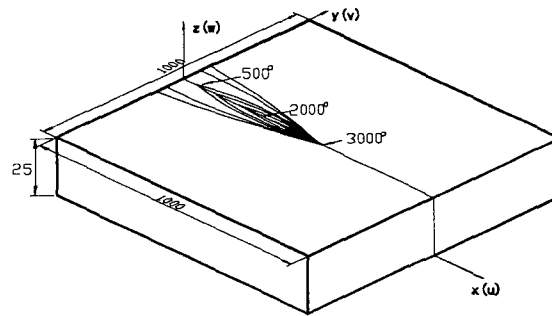


Fig 3. Temperature Contour

2.3 온도분포

절단 구조물의 열탄소성 해석에 있어서 가장 중요한 것은 열이 실제 구조물에서의 하중과 동일한 역할로서 작용하기 때문에 해석에 사용될 온도이력을 구하는 것이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 2차원 및 3차원 비정상 열전도 해석을 수행하여 온도이력을 구하였으며, 그 결과의 한 예를 Fig 3.에 나타내었다.

결과를 보면 열원이 시단부에서 절단선방향(x방향)으로 이동하기 때문에 등온선 형상이 시간이

경과함에 따라 변함을 알 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도분포

2-D 및 3-D절단에 대해서 평판 상단($y=500.5, z=21.9mm$)의 절단선 방향의 온도분포에 주목하여 Fig 4.(a), (b)에 나타내었다. 그림안의 1~20까지의 숫자는 Fig 1.의 절단모델을 절단선 방향으로 균일하게 20개의 매쉬로 분할하여 그 요소의 절점번호를 순서대로 나타낸 것이다. 즉, 1번이 시단부이고 20번이 종단부이다.

2-D 및 3-D 절단을 위한 비정상 열전도 해석결과를 보면, 단부에서 온도 크기의 차이는 약간 보이나, 전체적으로 온도분포의 크기 및 형상이 유사하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

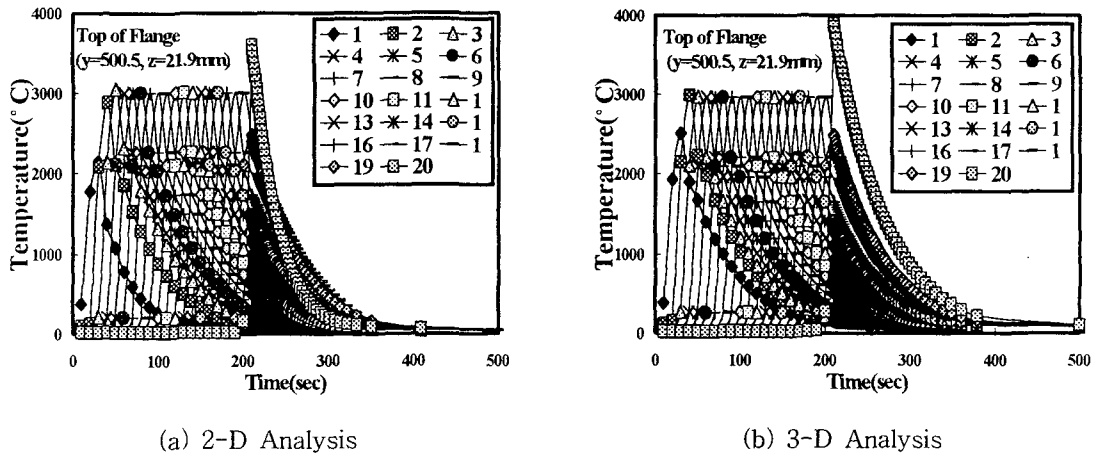


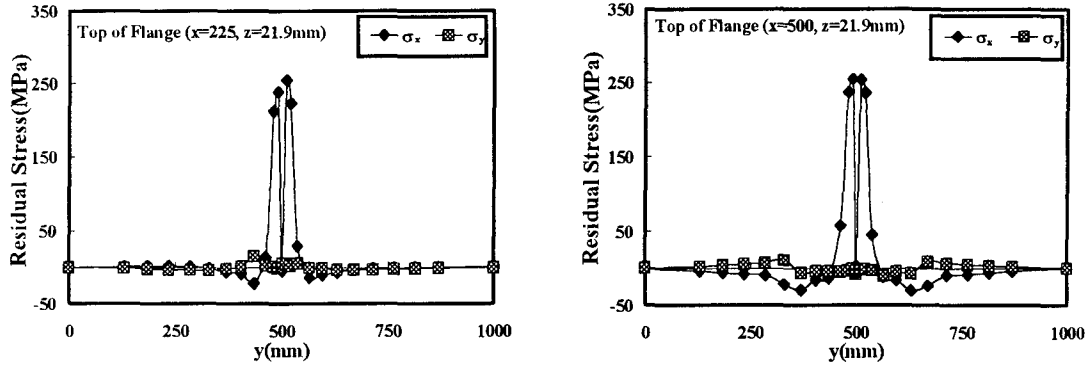
Fig 4. Cutting Temperature

3.2 잔류응력

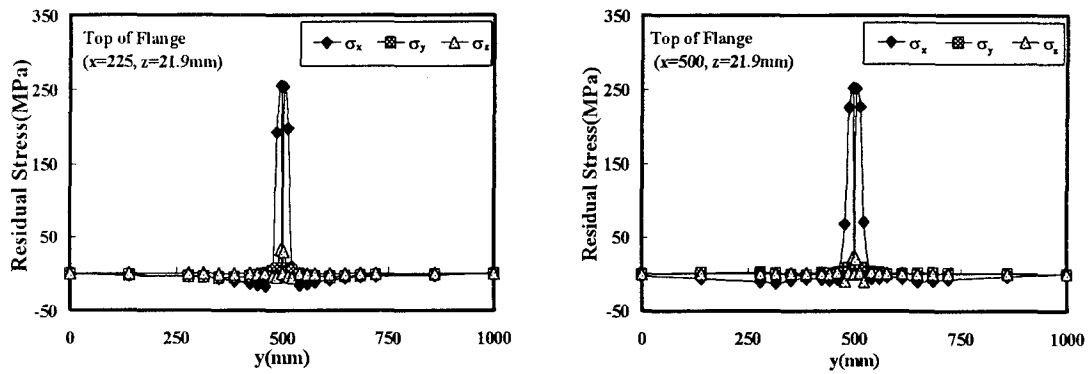
2-D 및 3-D절단에 대해서 평판 상단($x=225, z=21.9mm$ 및 $x=500, z=21.9mm$)의 절단선 직각방향의 잔류응력에 주목하여 그림 5.(a), (b)에 나타내었다.

잔류응력은 절단선 근방($y=490, 510mm$)에서는 입열에 의해 열팽창 했던 부재가 냉각되면서 열 수축함으로 인해 인장응력을 나타내고 있으며 절단면에서는 절단되었으므로 응력의 크기가 "0"을

나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 2-D FEM결과와 3-D FEM결과를 비교해보면, 절단선 직각방향 잔류응력의 분포는 크기와 분포가 비슷하게 나타나고 있는 것을 알 수 있었다.



(a) 2-D Analysis

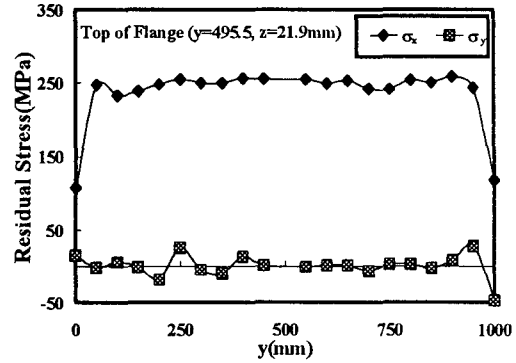
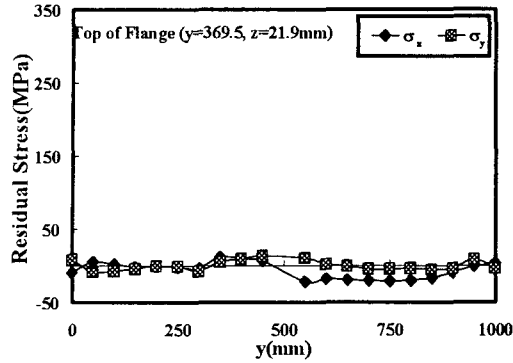


(b) 3-D Analysis

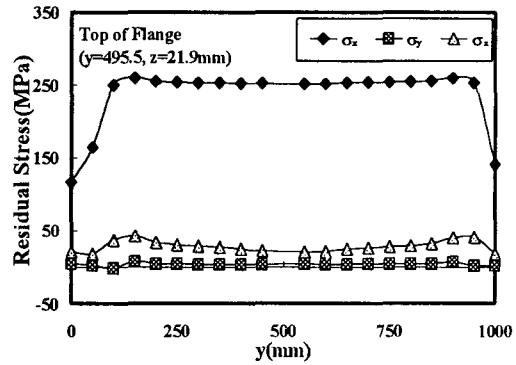
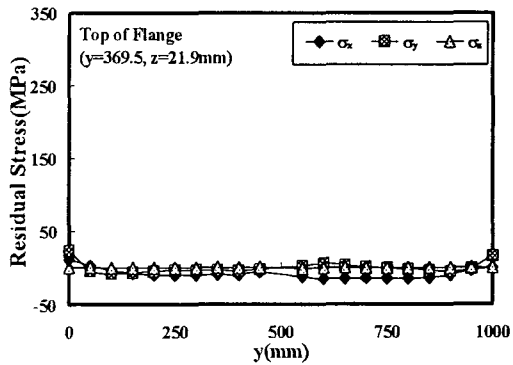
Fig 5. Residual Stress of Perpendicular of Direction of Cutting Line

또한, 2-D 및 3-D절단에 대해서 평판 상단($y=369.5, z=21.9mm$ 및 $x=495.5, z=21.9mm$)의 절단선 방향의 잔류응력에 주목하여 그림 6.(a), (b)에 나타내었다.

잔류응력은 절단선 근방($x=495.5, z=21.9mm$)에서는 절단선 직각방향의 잔류응력과 동일하게 입열에 의해 열팽창 했던 부재가 식으면서 열수축함으로 인해 인장응력을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 절단선 직각방향의 잔류응력 결과와 마찬가지로 절단선 방향의 잔류응력의 분포는 크기와 분포형상이 비슷하게 나타나고 있는 것을 알 수 있었다.



(a) 2-D Analysis



(b) 3-D Analysis

Fig 6. Residual Stress of Direction of Cutting Line

4. 결론

본 연구에서는 평판의 절단에 의한 절단부의 온도 분포 및 잔류응력의 거동을 2-D 및 3-D 해석을 수행하여 명확히 했다. 또한, 2-D FEM과 3D-FEM의 해석결과와 정도를 명확히 했다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 절단시 시작부 및 종료부의 즉, 단부에서의 온도분포는 약간의 차이는 있으나 전체적으로 일정한 온도분포를 나타내었다.
- 2) 절단시 발생한 절단 직각방향 및 절단방향의 잔류응력 크기 및 분포는 2-D 및 3-D 해석 결과 모두 유사한 결과를 나타내었다.

참고 문헌

1. You Chul KIM, Kyong Ho CHANG, Kohsuke HORIKAWA, "Production Mechanism of Out-of-Plane Deformation in Fillet Welding", TRANSACTION OF JWRI Vol. 27 No. 2, 1998, pp.107-113
2. You Chul KIM, Kyong Ho CHANG, "Prediction of Welding Out-of-plane Deformation by 3D-FEM Analysis and Its Accuracy", The 76th JSME Fall Annual Meeting Vol. I, 1998, pp. 295-296
3. 장경호, 이상형, 전준태, "공용중 보수용접에 의한 용접부의 응력 및 변형의 거동", 한국강구조학회 논문집 제 12권 3호, 2000, pp.269-279
4. 일본강구조협회 기술위원회 안전성 분과회 내화소위원회 고온강도반 : 구조용강재의 고온시 및 가열후의 기계적 성질 목차
5. 장경호, 이상형, 이진형 "3차원 유한요소해석에 의한 용접응력과 변형의 해석 및 정도", 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집 제 13권 제 2집, 2000, pp. 11-17
6. 장경호, 김재민, 이상형, "절단시 발생하는 강판의 잔류응력 특징", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 2000, pp. 177-180
7. 장경호, 김재민, 이상형, 박정웅, "절단시 발생하는 강판의 잔류응력 특징에 관한 연구", 대한용접학회 학술발표회 논문집, 2000, pp.106-109