

기계적 하중 조건에 의한 용접잔류응력 재 분포 특성 해석

Analysis of Redistribution of Residual Stress in Weldment by Mechanical Loading

최진강*†

Jin-Kang Choi**†

초 록 철도 차량 대차 프레임은 주로 용접 구조물로 제작되고 있다. 용접 중 국부적인 열 전달과 구속 조건에 의한 변형 수축으로 잔류응력이 발생되며 발생한 잔류응력은 구조물의 균열 발생 및 전파에 영향을 주어 구조물 안전성에 악영향을 주게 된다. 따라서 철도차량 제작사 별로 용접잔류응력을 완화하기 위한 다양한 방법들이 적용되고 있으며 대표적인 잔류응력 완화를 위한 방법으로는 후열처리, 기계적 하중 부여, 피닝 등이 적용되고 있다. 이중 열처리를 통한 잔류응력 해소 방법은 오히려 피로 내구성을 저하시키는 연구 결과에 따라 잔류응력 해소 방안으로서의 재 평가가 필요하다. 열처리 외 기계적 하중 부여에 의한 잔류응력 완화 방법 검토를 위해 본 연구에서는 용접시편을 통해 기계적 하중 조건에 따른 잔류응력 해소 효과를 해석적으로 검토하였다.

주요어 : 잔류응력(Residual Stress), 기계적 응력 완화 (Mechanical Stress Relief)

1. 서 론

철도 차량 대차 프레임은 주로 용접 구조물로 제작되며 용접 중 발생하는 잔류응력은 구조물의 균열 발생 및 전파에 영향을 주어 구조물 내구성 저하에 영향을 주게 된다. 차량 운행 중 대차 프레임의 안전성 및 내구성 확보를 위해 후열처리, 기계적 하중 부여, 피닝 등과 같은 후처리 방법을 적용하여 용접 중 발생한 잔류응력을 완화 시키고 있다.

기계적 하중 부여에 의한 잔류응력 완화 방법 검토를 위한 사전 연구로 용접시편의 초기 잔류응력 해석과 X-ray 회절법에 의한 실 측정값을 비교하였고 기계적 하중 부여 조건에 따른 잔류응력 재 분포 결과를 해석을 통해 확인하였다.

2. 본 론

2.1 초기 잔류응력 및 재 분포 해석

† 교신저자: 현대로템 주행장치개발팀
(jkchoi@hyundai-rottem.co.kr)

* 현대로템 주행장치개발팀

2.1.1 초기 잔류응력 해석 결과

철도 차량 대차 프레임에 사용되는 SM490A 소재와 ER70S-6 용접와이어를 이용하여 용접 시편을 제작하였고 용접에 사용된 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. 용접 조건

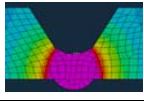
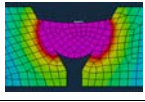
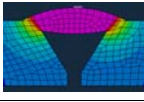
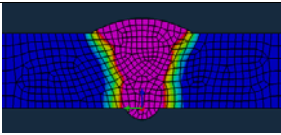

	1pass	2pass	3pass
Ampere(A)	140	260	260
Voltage(V)	16	24.5	24.5
Velocity(cm/min)	13.5	39	34
Heat input(KJ/cm)	10	9.8	11.3

용접잔류응력 해석은 ESI SYSWELD를 이용하여 용접 시편 제작과 동일한 용접 조건과 구속 조건을 구현하여 수행하였다.

열전달(Heat transfer) 해석 및 열원 검증(Heat Source Fitting)을 통해 Table 2에서 보이는 것과 같이 실제 용접 시편과 유사한 용융부를 가지는 용접 조건을 확인 하였다. 선행 열원 검증을 통해 최적 용접 효율(Efficiency)을 선정하여 최종적으로

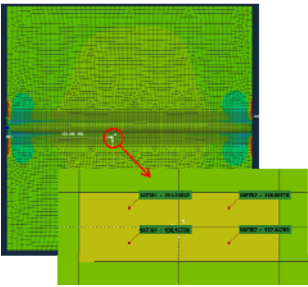
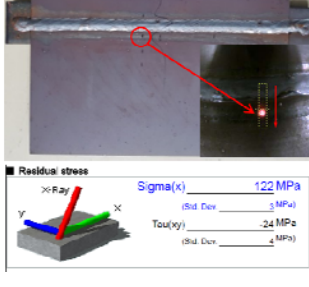
열탄소성(Thermal-Elastic-Plastic) 해석 조건에 적용하여 용접잔류응력 결과를 확인하였다.

Table 2. 열원 검증 결과

	1pass	2pass	3pass
Analysis			
	Final 		
Specimen			

동일 지점 및 동일 축(Y축)에서 X-ray 회절 방식을 이용하여 잔류응력 측정 결과와 잔류응력 해석 결과와 비교한 결과는 Table 3에 보이는 것과 같다. 해석 결과 잔류응력 값은 123.3MPa이고 실 측정 값은 122MPa로 유사한 값을 확인하였다. 향후 잔류응력 측정 위치 개소를 늘리고 주응력축으로 변경하여 보다 상세한 잔류응력분포의 비교가 필요하다.

Table 3. 잔류응력 해석 및 실 측정 결과

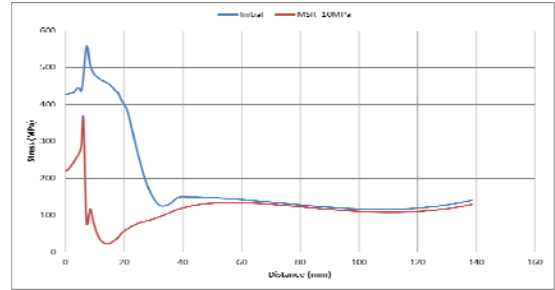
잔류응력 해석 결과	잔류응력 실 측정 결과
	

2.1.2 잔류응력 재 분포 해석

초기 잔류응력 결과에 구속 조건을 변경하고 기계적 하중 조건에 따라 잔류응력 재 분포 특성을 확인하기 위해 ESI SYSWELD의 Restart Computation 기능을 이용하여 해석을 수행하였다. 10MPa 하중을 부여하여 잔류응력 재 분포를 확인 한 결과,

용접부 중심에서 20mm 구간까지는 잔류응력이 급격하게 감소하였으며 40mm 이후 구간에서는 잔류응력 완화에 미치는 영향이 없었다.

Fig 1. 잔류응력 재 분포 결과



3. 결론

열처리 외 기계적 하중 부여에 의한 잔류응력 완화 방법 검토를 위해 열원 검증을 통한 초기 용접잔류응력 해석을 실시하였고 실 측정 값과 비교한 결과 유사한 값을 나타내었다. 초기 잔류응력 값을 반영하여 기계적 하중 조건을 부여한 결과 용접부 20mm 구간에서 잔류응력 이 급격히 감소하였다. 동일한 조건으로 시편에 하중을 부여하여 실 잔류응력 측정하여 해석 결과 검증이 필요하다. 향후 본 기초연구 결과를 바탕으로 최적 기계적 하중 부여 조건을 검증하고 최종적으로 구조물 내구성에 미치는 영향까지 확인하는 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] B.C. Goo (2010) The effect of post-weld heat treatment on the fatigue life of SM490A, *The Korean Society of Mechanical Engineers, KSME 10RE042*, pp. 167-168.
- [2] Y.S. Yang (2011) Experiments and finite element analysis for the estimation of stress relief in welded structure, *Journal of the society of naval architecture of Korea*, Vol.48 No.3, pp. 238-245.
- [3] Y.W. KIM (1987) 기계적인 잔류응력 이완 방법의 원리와 기계적 성질에 미치는 영향, *The Korean of welding and joining*, 5(2), pp. 1-8.