

광신호 증폭기 EDFA LD 펌프 패키징 레이저 용접부 변형 해석 Analysis of Laser Weldment Distortion in the EDFA LD Pump Packaging

손광재*, 양영수**

*전남대학교 기계공학과 대학원

**전남대학교 기계공학과

ABSTRACT This paper presents a study on the LD Pump laser welded heat transfer and distortion analysis by using finite element method. In the production processing, ferrule and saddle of LD Pump in light-wave communication system are welded by multi mode Nd-YAG laser. Thus distortion happens during laser-welded packaging, and it makes an error of detecting the light signal translated through optical fiber in LD Pump. These parts experience thermal and mechanical hysteresis during heating and cooling process come from laser welding. The amount of final displacement is predicted using the finite element method. And the optimal shape is decided by using the result of pre-analysis.

1. 서론

최근 각종 전자, 통신 부품의 소형화 및 집적화에 따라 미세 정밀용접이 여러 부문에서 필요로 하고 있다. 미소 전자부품 접합의 경우 지금까지는 납땀이나 브레이징 등이 주로 이용되었으나 전기 전자 기술의 발달로 인한 부품의 소형화와 그 이용범위의 확대로 인해 가혹한 환경 하에서 내구성이 보장 되어야 하는 필요성이 요구되고 있다. 따라서, 충분한 접합강도를 가지며, 입열량의 직접적인 제어가 가능한 레이저 용접의 응용이 각광 받고 있다. 레이저 열원은 고밀도의 에너지를 집중 시켜 국부적인 가열에 의해 용접이 이루어 지므로, 열 영향부 및 열변형을 최소화할 수 있다.[1,2] 본 연구는 Fig.1에 보인 바와 같은 광통신 부품 중에 하나인 광 신호 증폭기의 핵심 부품인 LD 펌프의 패키징 공정에 대한 해석을 수행하였다. 광 신호 증폭기중 LD 펌프는 광섬유로부터 전달되는 도중 약화된 광 신호를 전송도중 증폭하는 장치이다. 레이저 용접의 장점으로 거론되는 적은 열변형도 미세 부품의 정밀도에 문제가 되므로 용접변형을 최소화 하는 부품의 형상을 결정하기 위하여 해석을 실시하였다. 해석에는 상용 코드인 ABAQUS가 사용되었으며 허용오차내의 변형을 가지는 부품의 형상을 도출하였다.

2. 유한요소 모델링

(1) 용접 공정

LD 펌프 패키징 공정은 Fig.1에 보인 saddle과 ferrule의 레이저 용접이 공정의 마지막부분에서 이루어진다. 이 접합공정에 의해 saddle과 ferrule에는 잔류 열변형이 발생하여 LD(Laser Diode)를 통해 증폭된 광신호가 광섬유로 모두 입사되지 못하는 현상이 발생하게 된다. 광신호가 LD에 정확히 입사되는지의 여부는 측정된 광신호의 강도에 의해 결정되며 이를 이용해 레이저용접으로 인한 ferrule의 미소변위를 측정하게 된다. 따라서 saddle과 ferrule의 용접은 LD 펌프의 패키지 공정에서 독립적으로 이루어질 수가 없고 다른 부품들이 모두 패키징된 후에야 가능하게 된다. 레이저용접 시 사용된 레이저는 multi-mode Nd-YAG 레이저이다. 빔의 입사방향은 saddle이 아치형태를 가지고 있고 패키지 내에 부착된 후에 용접이 이루어지므로 수평방향의 입사가 곤란하므로 수직방향으로 입사가 이루어져

야 한다. 그리고 수직방향의 입사 시에도 saddle의 크기가 레이저발생장치의 헤드부에 비해 매우 작기 때문에 각 빔이 y축으로부터 15° 기울여 입사 된다.

(2) 온도분포해석

본 연구에서 사용한 재료는 스테인리스강(SUS304L)으로, 온도 분포 해석 시 필요한 대상 재료의 물성치는 열전도도, 비열, 밀도, 잠열 등이 있고 이러한 재료의 물성치들은 온도 의존적인 값들이다. 응력해석 시에 필요한 기계적 성질에 대한 물성치로는 탄성계수, 항복응력, 인장강도 등이 있는데 모두가 온도 의존적이므로 재료의 온도 변화에 따른 물성치의 변화를 고려하였다. 레이저 용접 시 모재에 유입되는 열원의 분포 즉, 열원의 형상은 플럭스 형태로 재료 표면에 열이 유입된다고 가정하였으며, 그 분포양상은 Gaussian profile을 사용하였다. 해석에서는 실제 생산공정에서 정해진 재료 및 레이저 용접조건과 동일하게 SUS 304의 레이저 흡수율을 35%, 레이저 빔의 빔 허리반경 $\bar{r} = 80\mu\text{m}$, $Q = 1.25 \times 0.35\text{J}$, 레이저 주사시간을 0.15초로 하여 해석 하였다. 레이저 용접 중 레이저 주사는 매우 짧은 시간에 이루어지며 saddle은 substrate에 접합되어 있고 이 substrate의 아래쪽에는 TEC가 있어 일정한 전류를 통하게 되면 25°C를 유지하게 된다. 따라서 온도분포 해석에서 saddle의 하단부를 일정한 온도라고 가정하였다. Saddle 하단부가 상온으로 유지되므로 이 부분으로의 전도 열 전달량이 공기 중으로 전달되는 대류 열 전달의 양보다 매우 크므로 대기중으로 빠져나가는 대류 열 전달의 영향은 무시하였다. 열변형 해석을 위해 용접부를 용접1, 용접2로 나누어 해석 하였고 용접1에 레이저 빔이 주사 되고 완전히 냉각된 후 용접2에 레이저 빔이 주사 된다. Ferrule을 기준으로 y-z 평면에 대해 대칭이므로 x 방향은 단열조건으로 하였다.

(3) 열 응력 해석

열 전달 해석에 의해 온도분포 이력을 구한 후 이 데이터를 이용하여 열 응력을 시간 변화에 따라 피접합물이 상온으로 냉각 시까지 계산하여 잔류변형 값을 구하였다. 최종 제품에 있어서 열변형의 주요 관심 사항은 ferrule 끝 단의 y축 방향 변형량으로 허용 오차는 0.25 μm 이다. x, z 방향의 변형이 허용오차이상 발생하여 문제가 발생할 수도 있으나, 형상의 기하학적 대칭성이 만족하며 용접공정도 대칭성을 가지기 때문에 이를 무시하였고 실제 공정에서도 x,z방향의 변형량은 미미하다.

3. 결과 및 고찰

모델링은 산업체에서 사용되고 있는 실제 부품의 형상과 용접조건을 그대로 유한 요소 생성과 해석에 이용하였다. 해석에 사용된 모델은 기존 제품에 대한 모델과 이를 개선한 모델, 그리고 최종 수정 모델의 3가지로 나누어진다. 편의상 기존 모델을 Model-1, 개선된 모델을 Model-2, 최종 수정 모델을 Model-3으로 표기하고 Fig.2에 각 모델의 기하학적 형상을 나타내었다.

(1) Model-1

Model-1은 Fig.2(a)에 나타난 바와 같다. 용접공정이 완료되어 상온으로 냉각된 후의 전체 변형양상을 50배의 배율로 확대해서 나타내면 Fig.3과 같다. Ferrule 끝 단의 최종 변형량은 100 μm 이다. 위 해석결과를 보면 ferrule 끝 단의 처짐이 허용변위오차 한계인 0.25 μm 를 크게 벗어남을 알 수 있다. 이는 ferrule을 지지하는 판 아래부분이 용접부의 소성변형량을 증가시키는 비교적 큰 구속을 형성하기 때문이다. 이상의 결과로부터 saddle의 용접부 아래부분에서 급격한 열 전달이 이루어지는 과정에서 온도변화로 인한 열변형이 주요 작용 인자임을 알 수 있다. 따라서 이를 해결하기 위한 새로운 모델의 제안이 필요하다. 즉, 레이저 용접부 아래쪽의 열 전달로 인한 열변형이 문제가 되므로 이를 해결하기 위해서 이 부분으로의 열 전달을 억제하거나 차단하여 열변형이 발생하는 것을 줄일 수 있는 모델을 제안해야 한다. 이런 관점에서 새로운 모델인 Model-2를 제안하여 해석하게 되었다.

(2) Model-2

y 방향의 변형은 x, z 방향의 온도 구배에 의해 발생하는 열 응력에 기인하므로 온도 구배를 감소하여 구속조건을 완화시키기 위하여 용접부의 y 방향 구속을 해제 시키는 모델이 선택되었다. Model-2의 형상은 Fig.2(b)와 같다. 용접공정이 완료되어 상온으로 냉각된 후의 전체 변형양상을 100배의 배율로 확대해서 나타내면 Fig.5과 같으며 ferrule 끝 단의 처짐이 기존 모델에 비하여 비교적 작은 값으로 $-0.38 \mu\text{m}$ 이다. 이는 saddle의 일부분을 제거하여 소성변형량을 감소시키는 비교적 적은 구속을 형성하기 때문이다. Model-2의 열 전달 양상은 Model-1의 경우와 같이 매우 빠른 시간에 이루어짐을 알 수 있다. 용접변형 양상의 경우는 Model-1과 다르게 나타난다. 그리고 Model-1 보다는 변형의 크기가 줄어들었으나 이 경우 역시 허용변위오차보다는 큰 오차를 발생시킨다는 것을 알 수 있다. 따라서 구속 조건을 더욱 감소시킬 수 있는 새로운 모델의 제안이 요구된다.

(3) Model-3

Model-2의 열변형이 형상변화를 가질 때 온도 구배의 감소가 열응력의 감소를 일으키고 y 방향의 구속조건을 제거함에 따라 잔류 열변형이 감소하는 경향에 착안하여 변형이 최소화되는 Model-3을 제안하였다. 제안된 모델(Model-3)은 Fig.2(c)에 나타난 바와 같다. 용접공정이 완료되어 상온으로 냉각된 후의 전체 변형양상을 100배의 배율로 확대해서 나타내면 Fig.7와 같고 ferrule 끝 단의 시간에 따른 y 방향의 변위는 Fig.8과 같이 $0.25 \mu\text{m}$ 이하로 오차범위 내에 존재함을 알 수 있다.

4. 결론

광 파이버 지지대의 레이저 용접 시 발생하는 용접 잔류변형에 대한 수치 해석적 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 광 파이버 지지대의 형상 변화를 통한 열 전달 및 기계적 구속조건이 변화가 잔류 열변형량의 형성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

2) Model-1의 잔류 열변형은 지지대 아래 부분이 연결되어 있어 냉각 수축 시 기계적 구속을 강하게 하여 ferrule의 변형량이 지지대 아래 부분이 제거된 Model-2에 비해 크게 나타났다.

3) Model-3의 최종 변형량의 계산 결과는 허용오차 범위 내에 존재 한다. 이는 냉각 수축 시 지지대 하단의 기계적 구속을 제거하였을 뿐만 아니라 상단의 보강재가 아래부분보다 위 부분으로의 열 전달을 가속시켜 변형 방향의 열 응력을 감소시켰고 열 전달에 따른 수축을 저지하는 복합적인 역할을 수행하기 때문이다.

후기

본 연구는 삼성전자(주)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. S.-J. Na, Y.-S. Yang, Heat Flow and Thermal Stress in Laser Surface Hardening Process, 3rd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference, March 17-22, Reno, 1991, Nevada, U.S.A, 339~344
2. D. S. Alles, Trends in Laser Packaging, in proc. 40th ECTC, 1990, 185~192

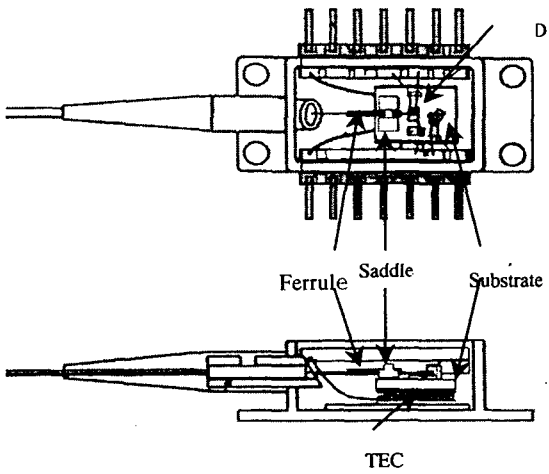


Fig.1 Schematics of EDFA LD Pump

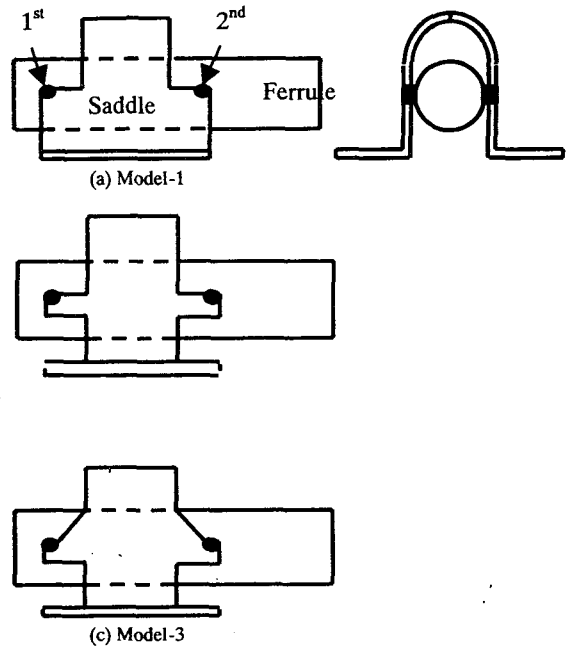


Fig.2 Shapes of Saddle and Ferrule in each Model

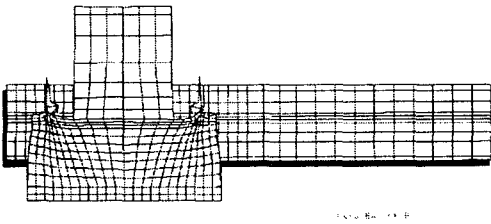


Fig.3 Final Deformed Shape of Model-1(x50)

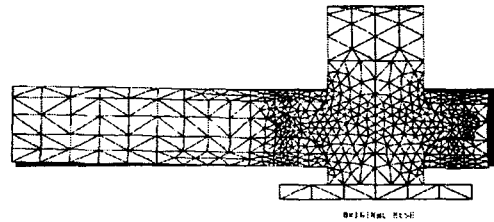


Fig.5 Final Deformed Shape of Model-2(x100)

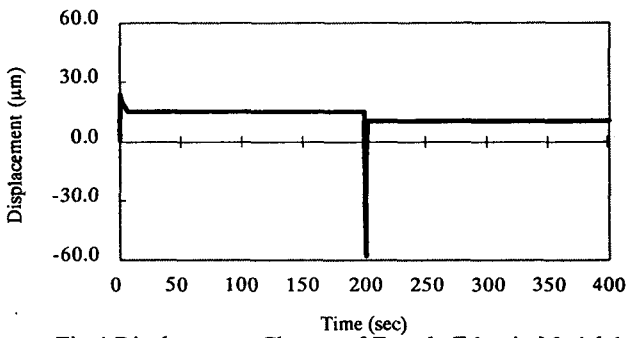


Fig.4 Displacement Change of Ferrule Edge in Model-1

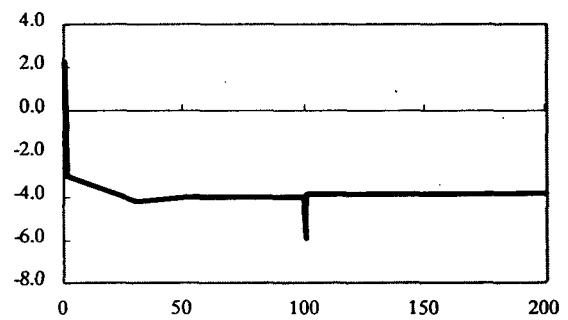


Fig.6 Displacement Change of Ferrule Edge in Model-2

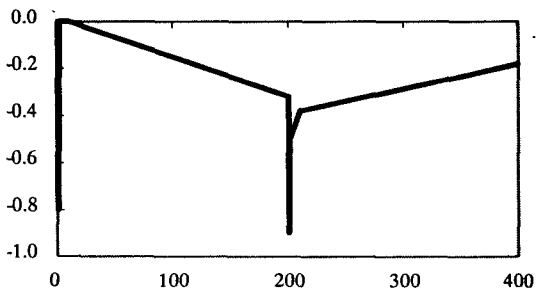


Fig.8 Displacement Change of Ferrule Edge in Model-3

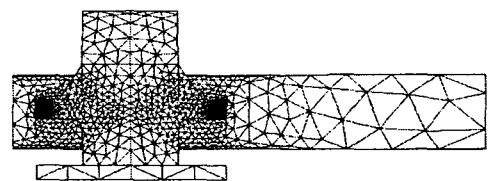


Fig.7 Final Deformed Shape of Model-3(x100)