

# 이동하는 열원을 고려한 레이저 가공의 유한요소해석에 관한 기초 연구 A Foundation Study on the Laser Process with FEM Analysis by Moving Heat Source

\*안성환<sup>1</sup>, #이춘만<sup>2</sup>

\*S. H. Ahn<sup>1</sup>, #C. M. Lee(cmlee@changwon.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 창원대학교 기계설계공학과 대학원, <sup>2</sup> 창원대학교 기계설계공학과

Key words : Moving heat source, Laser process, Heating process,

## 1. 서론

레이저를 이용한 가공은 기존의 열가공 공정에 비하여 고밀도 (high density), 응집성(coherence), 단파장성(monochromaticity) 등의 특징들로 인해 여러 가공 공정에서의 이용이 점점 늘어나는 추세이다.

그러나 많은 장점에도 불구하고 많은 레이저 가공 공정은 경험적인 지식에 의해 수행되어지는 경우가 많으며 그 정확한 결과를 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 이에 대한 원인으로서는 그 입열 면적이 매우 작고 에너지가 크며 열원이 이동하는 문제로 인해 온도의 변화가 매우 급격하기 때문이다.

레이저 가공의 결과를 예측하기 위해 이동하는 레이저 열원에 대한 많은 유한요소 해석이 이루어지고 있으나 그 대상이 매우 좁은 면적과 짧은 시간에 한정되어 있다. 그 이유로는 레이저에 의한 입열 면적은 매우 작아 조밀한 요소 분할을 요구하며 그 면적에 비해 이송 속도가 빠를 뿐 아니라 에너지도 매우 크다. 또 온도에 따른 재료의 비선형적인 성질로 인해 해석의 양은 매우 커지기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 해석의 양적인 제한을 극복하고 대면적의 레이저 가열 공정 후의 최종 온도 분포를 예상하기 위한 방안을 제시하고 그 방안에 대한 효율성을 검증하고자 한다.

이러한 연구의 결과는 레이저 또는 전자 빔 등 이동하는 열원에 의한 대면적의 가공 후 최종 온도 분포에 대한 정보를 제공함으로써 공정 후의 열처리에 온도 분포에 의한 재료의 영향 또는 온도의 전이로 인한 기계구조의 영향 분석, 열변위 예측 등 다양한 방면에서 상용 해석 프로그램을 이용한 간편한 해석 방법으로 적용될 수 있을 것이다.

## 2. 해석 모델

레이저 가공의 해석 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 해석과 실제 실험을 통해 기준에 검증된 결과와 비교를 위해 Fig. 1의 사각 블록 형태의 소재에 직선으로 레이저 열원이 이동하는 형태의 모델을 만들고 유한요소 모델을 구성하였으며 그 조건은 Table 1에 나타나 있다. 유한요소 모델은 전체적으로 1mm의 크기로 육면체 요소 분할을 하였고 해석의 정확성을 높이기 위해 레이저의 이동 경로를 따라 0.25mm의 사이즈로 요소를 나누었다. 블록 전체는 절점 235,097개 요소 64,778개로 구성되어 있다.

SM45C 소재에 대한 열적 물성치는 상용 소프트웨어인 SYSWELD®의 물성 데이터를 이용하였고 Fig. 2에 각각 온도에 따른 열전도율과 비열을 나타내며 비중은 7850kg/m<sup>3</sup>으로 적용하였다.

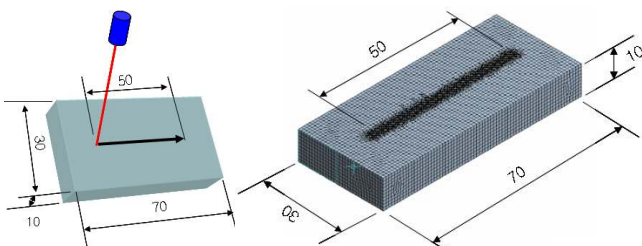


Fig. 1 A schematic of the block workpiece model and FEM model

Table 1 Comparison of measured roughness data

material	Block size	Laser Diameter	Heat Source	Feed rate	Convection heat	Analysis length	Analysis time
SM45C	70×30×10mm	3mm	340W	20mm/s	5W/m <sup>2</sup> °C	50mm	2.5s

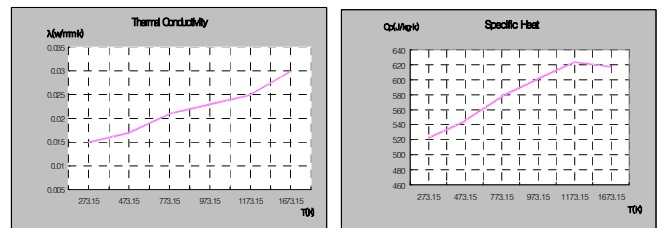


Fig. 2 Thermal Conductivity and specific heat of SM45C

## 3. 기준 해석

이동하는 열원을 표현하기 위해 Fig. 3과 같이 레이저의 이동 경로를 따라 일정 비율 이상 겹치도록 하여 이송속도에 맞게 순차적으로 입열 영역을 지정해 해석했다. Fig. 4는 해석결과이며 해석에는 약 5시간 30분의 시간과 21Gbyte의 공간이 사용되었다.

동일한 요소크기를 사용한다고 했을 때 해석 대상의 길이가 4배로 커진다면 해석에 필요한 시간은 80시간, 메모리의 크기는 약 300Gbyte에 달할 것으로 예상된다. 그 이상은 양적인 문제로 인해 해석이 어려울 것으로 보인다.

SM45C의 A3 변태온도는 723°C이나 레이저 빔에 의한 가열은 매우 급속한 가열이므로 재료의 이력현상으로 인하여 이보다 크게 증가한다. 이러한 이유로 변태온도 기준을 기존 연구에 의해 제시된 기준을 적용하여 830°C를 기준으로 하여 Fig. 4와 같이 넓이 2.66mm 길이 0.55mm의 경화 열처리 범위를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 Table 2를 통해 이미 검증된 기준의 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.

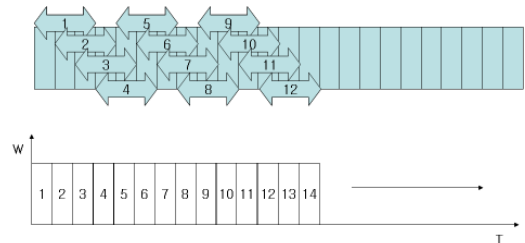


Fig. 3 Sequence of reference analysis

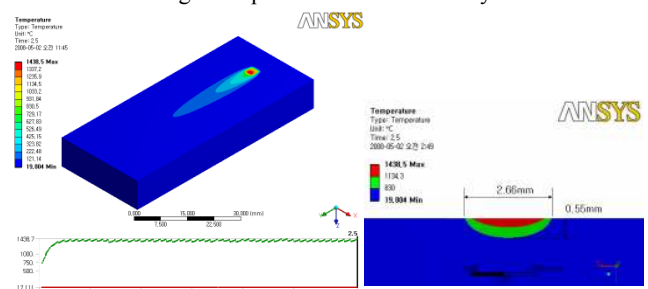


Fig. 4 Reference analysis result of the block and section view

Table 2 Comparison of reference and analysis result

	Reference data	Analysis result
Hardening width	2.52mm	2.66mm
Hardening depth	0.55mm	0.55mm

4. 비교 해석

레이저의 특성상 좁은 면적에 많은 에너지가 집중되어 급격한 온도 상승 후 레이저 열원이 이동하게 되면 주변에 에너지를 빼앗기면서 다시 급격한 온도 감소를 겪게 된다. 레이저 가공의 시작점에서 가까운 부분에 대해서는 입열 영역과 에너지의 양만을 고려하여 입열 영역의 수를 줄이고 단순화시켰다. 이를 적용하기 위해 Fig. 5와 같이 전체 레이저의 이동 경로에 대해서 남은 대상 면적의 1/2씩을 해석의 입열 영역으로 지정한 후, 다시 남은 면적의 1/2을 입열 영역으로 지정하는 방법을 반복하여 최종적으로 남은 해석 대상이 되는 레이저의 이동 거리가 레이저의 직경만큼 남게 될 때까지 반복하였다. 해당 입열 영역에서의 입열 시간 역시 그 면적에 비례하게 조건을 설정하였다. 위 방법을 통해서 해석 방법 3의 입열 영역의 수가 n개라고 할 때 해석 방법 1의 경우에 입열 영역에 의해서는 입열 영역의 수가 2n이 된다. 다시 말하면 해석 방법 1에서의 입열 영역의 수가 2n개가 있다면 해석 방법 3을 사용하면 최소 n개까지 줄일 수 있다.

해석의 결과는 Fig. 6에 나타나 있으며 Fig. 7에서는 기준으로 한 해석과의 온도분포를 비교하였다. Table 3으로부터 상대적으로 적은 차이로 해석에 소요되는 해석 공간과 시간을 큰 폭으로 줄일 수 있는 것을 확인 할 수 있었다.

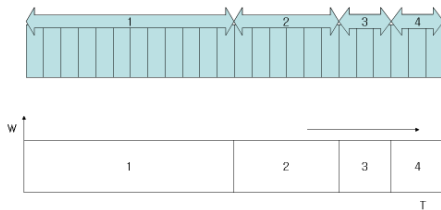


Fig. 5 Sequence of analysis

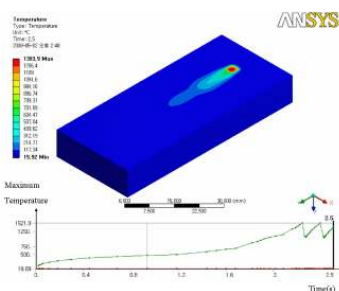


Fig. 6 An analysis result of new method

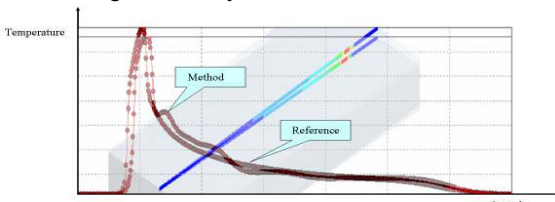


Fig. 7 Comparison of reference and new method analysis

Table 3 Comparison of the analysis

	Analysis space(Gb)	Analysis time(hr)	Space ratio	Number of B.C.	Difference
Reference Analysis	21	5.5	-	50	-
New method Analysis	2.5	0.5	12%	6	15.4%

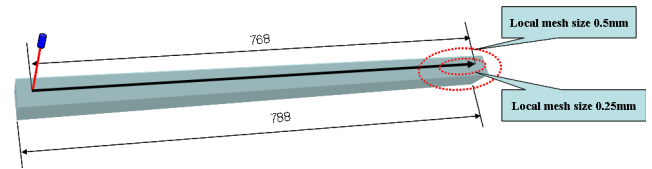


Fig. 8 A long block analysis model

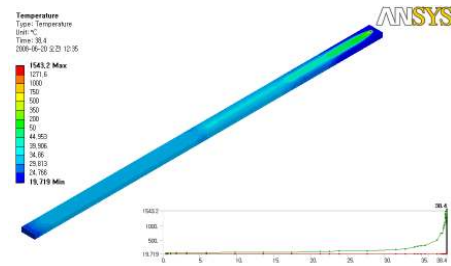


Fig. 9 A result of long block analysis

5. 긴 블록의 해석

앞서 제시한 방법을 이용한 대면적에 대한 해석의 효율성을 검증하기 위해 다음 Fig. 8과 같은 모델을 제작하였다. 높이와 폭은 앞서 해석했던 모델과 동일하게 하였고 길이를 788mm로 연장하였으며 그 중 768mm를 해석 대상으로 하였다.

해석의 결과는 다음의 Fig. 9에 나타나 있다. 해석에 소요된 시간은 약 1시간이며 4.18Gbyte의 메모리를 사용하였다. 만약 이 해석에 대해 기존 방법에서 사용된 방법을 적용한다고 한다면 해석의 대상이 되는 시간과 길이 15배, 요소의 수 2.6배에 대한 산술적인 계산해 보았을 때 앞서 70mm의 블록의 계산에 사용된 21Gbyte의 39배로 약 800Gbyte이상의 메모리와 이에 비례하는 만큼의 시간이 요구 될 것으로 예상된다. 기존 방법의 해석에서 레이저가 지나가는 경로의 요소를 더 조밀하게 분할하는 것을 감안한다면 메모리의 요구량은 훨씬 커질 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서 제시된 해석 방법으로 그 자원을 크게 절약 할 수 있었다.

6. 결론

본 논문에서는 이동하는 레이저의 열원을 이용한 대면적의 가공 후 최종 온도 분포상태를 상용 해석 소프트웨어를 이용해 예측 할 수 있는 방안을 제안하였다.

기존의 방법에 비해 해석에 필요한 자원을 크게 절약 할 수 있었고 또, 해석의 대상 시간과 공간이 늘어날수록 더욱 효율적으로 활용 할 수 있으므로 기존의 양적인 문제로 어려움이 있었던 해석 문제를 비교적 빠르게 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 [RTI04-01-03] 과 아메코(주)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 조해용, 정석영, 김명환, 조창용, 이계훈, 서정, “이동열원을 고려한 전자빔 용접의 유한요소해석,” 한국레이저가공학회지, Vol. 4, No. 1, pp. 21~28, 2001.
2. 전민규, 김원배, 한국찬, 나석주, “레이저 브레이징에서의 열유동 해석에 관한 연구,” 대한기계학회지, Vol. 13, No. 3, 1995.
3. 이계훈, 서정, 신동식, 김선원, “레이저 응용 복합가공기술 동향,” 한국레이저가공학회지, Vol. 10, No. 1, pp. 1~10, 2007.
4. 김도훈, “레이저 가공학,” 경문사 pp. 265~284, 2005.
5. 홍영환, “강의 열처리의 기초,” 기전연구소, pp. 17, 1995.