

◆ 특집 ◆ 최신 레이저 가공 및 해석 기술

이송속도 조절에 의한 평판 레이저 보조가공의 이동 열원해석

Analysis of Moving Heat Source for Laser Assisted Machining of Plate by Feed Rate Control

김광선¹, 이춘만^{1,✉}
Kwang-Sun Kim¹ and Choon-Man Lee^{1,✉}

¹ 창원대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design and Manufacturing Engineering, Changwon National Univ.)

✉ Corresponding author: cmlee@changwon.ac.kr, Tel: 055-213-3622

Manuscript received: 2011.10.10 / Accepted: 2011.10.21

Currently, many researches are carried out for laser assisted machining, which is one of the important fields in materials difficult to process. However, a prediction of heat source is difficult because of moving heat source. In this paper, a thermal analysis of laser assisted machining of plate by change of heat source size is performed, and preheating temperature by adjusting the feed rate is controlled. It was recognized that the maximum preheating temperature increases according to the decrease in heat source size, and feed rate need to adjust as high speed. The results of this analysis can be used as a reference for preheating temperature prediction in laser assisted milling.

Key Words: Laser Assisted Machining (레이저 보조 가공), Laser Feed Rate Control (레이저 이송속도 조절), Maximum Temperature (최대 온도)

1. 서론

레이저 보조가공(laser assisted machining)은 취성 재료를 레이저 열원을 통해 예열하고 연화된 부위를 절삭하는 가공방법이다. 레이저 보조가공은 비접촉 가공, 최소 열 영향부, 가공의 유연성 등의 특징으로 여러 가공분야에 적용범위가 확대되고 있다.^{1,4} 또한 이러한 여러가지 장점들로 인해 레이저 보조가공은 난삭재 가공에서 매우 우수한 분야로 거듭나고 있다.^{5,6} 그러나 레이저 보조가공에서는 열원이 이동하기 때문에 열원에 대한 예측이 어렵다.^{7,8} 이러한 문제를 해결하기 위해 열원 해석, 가공 후 온도 예측 등에 대한 많은 연구가 수행되고 있다.

Rozzi 등⁹은 질화규소의 레이저 보조 가공에서 가공 후 표면온도를 예측하기 위해 수치해석으로 계산하였으며, 레이저 고온계를 사용하여 측정값과 예측된 표면 온도를 비교·분석 하였다. Kalyon 등¹⁰은 레이저 보조 가공에서 시간변화에 따른 표면의 온도를 수치해석으로 계산하고 관계식을 제안하였다. Ahn 등¹¹은 레이저 보조 가공에서 유한요소 해석을 적용하고, 입열 지역을 조절하여 새로운 대면적 해석기법을 개발하였다. 본 연구자 등¹²은 경사각에 따른 레이저 이동열원을 해석하였고 출력을 조절하여 온도를 제어하였다.

현재 여러 생산제조 현장에서는 선삭보다 밀링(milling)공정 제품이 많이 요구되고 있다. 그러나 예열되는 부위에 면가열이 이루어지는 선삭과 달

리, 밀링 가공에서는 첨가열이 이루어지기 때문에 이동하는 열원의 크기가 변화하게 되면 온도 예측이 매우 어렵게 된다.

본 연구에서는 평판 레이저 보조가공에서 열원의 크기가 변화함에 따른 온도분포를 해석하고, 이송속도를 조절하여 예열온도를 제어하였다. 해석된 결과는 다양한 레이저 보조 밀링 가공에서의 온도예측에 관한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 유한요소해석

2.1 해석 모델

Fig. 1 은 본 해석에 사용된 유한요소 모델을 나타낸다. 열원이 지나가는 가운데 부분은 직접적으로 열 영향을 받기 때문에 매쉬(mesh)의 크기를 0.25mm 로 설정하였다. 열원이 지나가는 부분의 열면에 대해서는 매쉬의 크기를 1mm 로 설정하였고, 나머지 부분은 5mm 로 설정하였다.

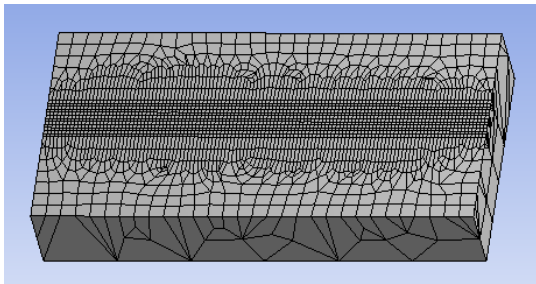


Fig. 1 Analysis model

Table 1 은 해석에 사용된 조건을 나타낸다. 해석 소프트웨어는 ANSYS Workbench 를 사용하였고, 소재는 SM45C 를 사용하였다.

Table 1 Analysis conditions

Material	SM45C
Laser power	317W
Laser feed rate	20mm/s
Block size	30mm × 15mm × 5mm

레이저 열원이 이동할 때 온도가 변화함에 따라 물성치도 변화하게 된다. Table 2 는 온도에 따른 SM45C 의 열전도율과 비열을 나타낸다. 각 온도에 따른 물성치를 미리 설정하여 해석 시 적용될 수 있도록 하였다.

Table 2 Property of SM45C by temperature

Temperature [K]	Thermal Conductivity [W/mm·K]	Specific Heat [J/Kg·K]
200	0.014	518
400	0.017	540
600	0.019	564
800	0.022	583
1000	0.023	603
1200	0.025	622
1400	0.027	620
1600	0.029	618

2.2 해석 방법

레이저의 열원은 연속적으로 이동한다. 이러한 레이저의 이동 열원을 실제와 가까운 이동형태로 나타내기 위해 Fig. 2 와 같은 방법으로 이동시킨다. 열원의 이동방향으로 사각빔(square beam)의 1/2 만큼 겹치도록 이동시킨다. 따라서 시간의 변화에 따라 3mm 인 사각빔은 1.5mm 씩 이동하게 되고, 2mm 인 사각빔은 1mm, 1mm 인 사각빔은 0.5mm 씩 이동하게 된다.

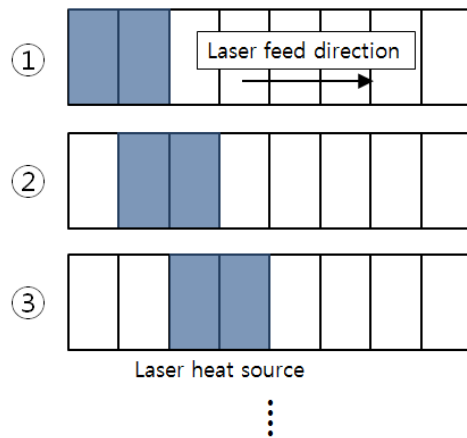


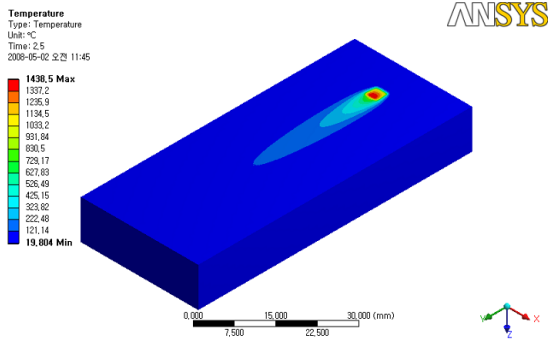
Fig. 2 Sequence of the analysis

3. 해석결과

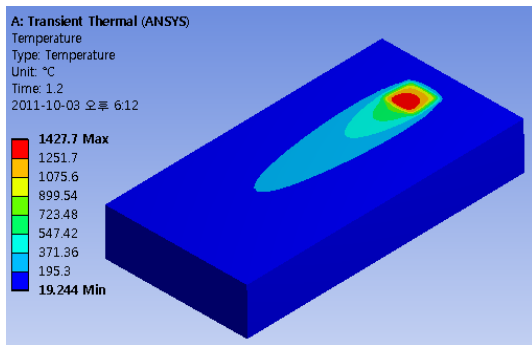
3.1 기존 해석과의 비교

기존연구¹¹와의 비교를 통해 본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 동일한 조건, 즉 출력 340W 및 이송속도 20mm/s 로 해석하였다.

Fig. 3 은 기존의 해석 결과를 나타낸다. 본 해



(a) Reference analysis



(b) Present analysis

Fig. 3 Comparison of analysis results

석결과와 비교해 본 결과 최대온도는 1427.7°C로 1438.5°C인 기존의 해석 결과와 잘 일치하였다.

3.2 열원 크기에 따른 해석 결과

SM45C 의 적절한 예열온도라고 생각되는 용융온도 1450°C보다 100°C 낮은 온도인 1350°C 정도로 예열되도록 317W 를 적용하여 해석하였다. 열원의 크기는 3mm, 2mm, 1mm 로 각각 모델링 하였고 20mm/s 의 이송속도를 적용하여 해석한 뒤 이송속도를 조절하여 1350°C로 온도를 맞추었다.

Fig. 4 는 3×3mm 의 열원 해석 결과를 나타낸다. 해석시간은 약 18 분이 소요되었으며, 피삭재 전체의 절점은 67,474 개, 요소는 20,805 개로 나누어졌다. 최대온도는 1350.5°C로 적절한 예열온도로 가열됨을 알 수 있었다. 이는 실제 레이저 보조가공시 가장 이상적인 가공온도라고 판단되며 이후 2×2mm, 1×1mm 해석에도 317W 를 적용하였다.

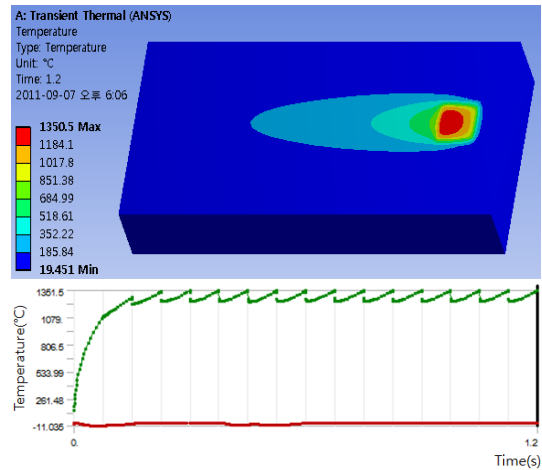


Fig. 4 Laser assisted heating by square beam (3×3mm)

Fig. 5 는 2×2mm 의 열원 해석 결과를 나타낸다. 최대온도는 2135.6°C로 3×3mm 의 해석결과보다 약 1.6 배 상승하였다.

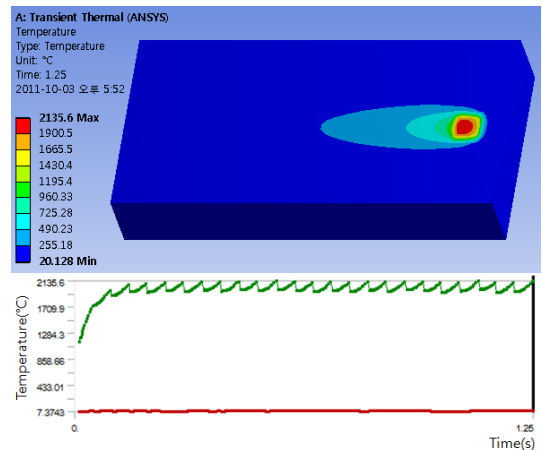


Fig. 5 Laser assisted heating by square beam (2×2mm)

Fig. 6 은 1×1mm 의 열원 해석 결과를 나타낸다. 최대온도는 4777.4°C로 3×3mm 의 해석결과보다 약 2.5 배 상승하였다.

Fig. 7 은 열원크기에 따른 단면의 온도분포를 보여준다. 열원의 크기가 작아질수록 온도의 깊이가 작아짐을 알 수 있다.

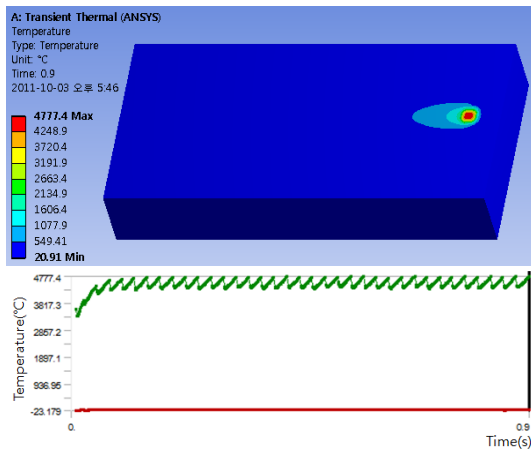


Fig. 6 Laser assisted heating by square beam (1×1mm)

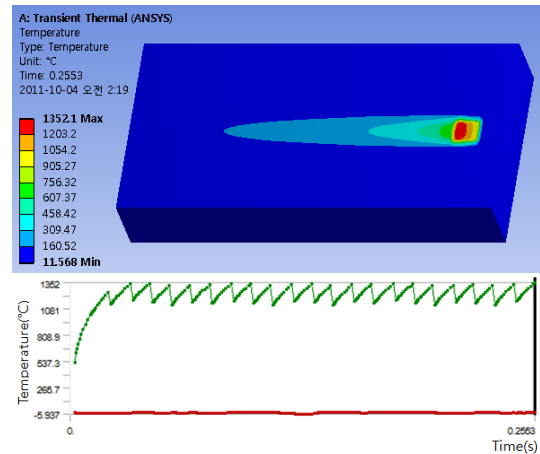


Fig. 8 Laser assisted heating after feed rate control (2×2mm)

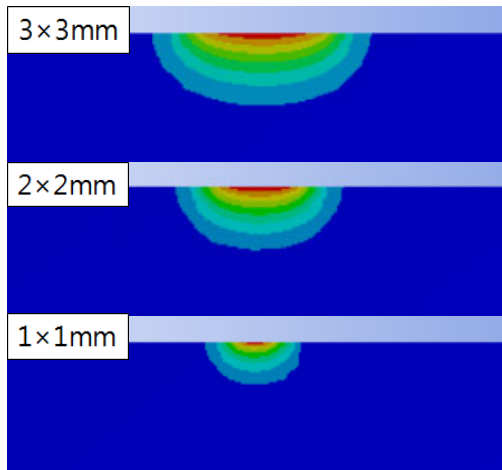


Fig. 7 Temperature distribution in cross section of the plate

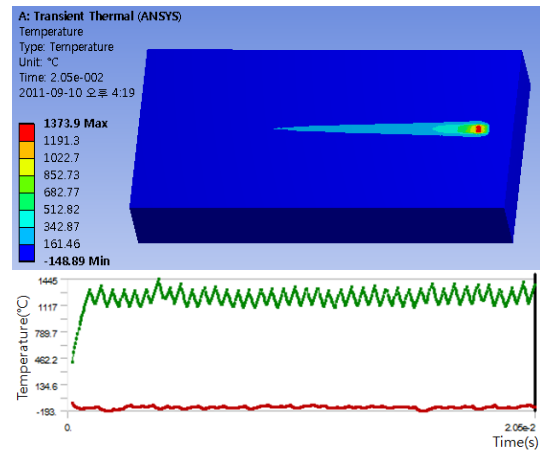


Fig. 9 Laser assisted heating after feed rate control (1×1mm)

위의 해석 결과로부터 열원의 크기가 작아질수록 최대온도가 증가함을 알 수 있다. 따라서 1×1mm, 2×2mm 의 열원에 대하여 이송속도를 조절하였다. 시행착오를 통해 최대온도를 3×3mm 의 해석결과와 맞추었다.

Fig. 8 은 2×2mm 의 열원에 이송속도를 조절한 해석결과이다. 이송속도는 90mm/s 로 조절하였고 그 결과 최대온도는 1352.1°C로 나타났다.

Fig. 9 는 1×1mm 의 열원에 이송속도를 조절한 해석결과이다. 이송속도는 1000mm/s 로 조절하였고 그 결과 최대온도는 1373.9°C로 나타났다.

위의 결과로부터 이송속도가 증가함에 따라 상대적으로 레이저 열원의 길이가 길어진 것을 알 수 있으며 온도의 폭이 매우 크며 불규칙해진 것을 알 수 있다. Table 3 은 각 열원의 크기에 따라 조절한 이송속도와 최대온도를 나타낸다.

Table 3 Maximum temperature of laser feed rate control

Heat source size[mm]	Feed rate [mm/s]	Final temperature[°C]
3×3mm	20mm/s	1350.5 °C
2×2mm	90mm/s	1352.1 °C
1×1mm	1000mm/s	1373.9 °C

Fig. 10 은 이송속도 조절 후 나타난 단면의 온도분포를 나타낸다. Fig. 7 과 비교했을 때 이송속도가 빠를수록 가열부의 깊이와 폭이 줄어들었음을 알 수 있다. 특히 1×1mm 의 열원은 이송속도가 1000mm/s 로 매우 빨라짐에 따라 열원이 머무르는 시간이 작기 때문에 열원의 깊이와 폭이 매우 작아진 것을 알 수 있다. 또한 이 정도의 이송속도를 얻으려면 고속 가공이 필요함을 알 수 있었다.

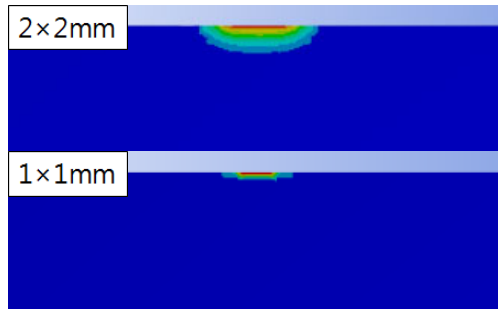


Fig. 10 Temperature distribution in cross section of the plate after feed rate control

4. 결론

본 연구에서는 기존의 평판 레이저 보조가공에서의 해석결과와 비교하였고, 열원의 크기에 따라 변화하는 온도분포를 해석하였다. 또한 이송속도를 조절하여 가공 및 열처리에 필요한 온도로 맞추었다. 본 연구에서 수행한 해석으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 평판 열원해석을 기존 연구와 동일한 조건으로 비교하여 본 연구의 타당성을 확인하였다.

2) SM45C 의 용융온도는 1450℃이므로 레이저 보조가공 시 가공에 적합한 1350℃를 제안하였다. 열원의 크기가 작아질수록 단위면적당 받는 열에너지가 증가하여 온도가 높아짐을 알 수 있었다.

3) 열원의 크기가 작아짐에 따라 높아진 최대 온도를 이송속도 조절을 통해 1350℃로 맞추었다. 열원의 크기가 작아질수록 이송속도를 1000mm/s 정도로 증가시켜야 함을 알 수 있었다. 이런 이송속도를 얻으려면 고속 가공이 필요함을 알 수 있었다.

4) 열원 크기에 따라 이송속도를 조절하기 전과 후 단면의 온도분포를 비교하였다. 가열 깊이를 분석하여 열처리 효과의 범위를 예측할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0017407).

참고문헌

1. Choi, S. D., Cheong, S. H., Kim, G. M., Yang, S. C. and Kim, J. G., "Characteristics of metal surface heat treatment by diode laser," Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 6, No. 3, pp. 16-23, 2007.
2. Lee, J. H., Shin, D. S., Suh, J., Cho, H. Y. and Kim, K. W., "Trends of Laser Integrated Machine," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 20-26, 2008.
3. Jung, J. W. and Lee, C. M., "A study on the cutting tool and holder deformation prediction undergoing laser-assisted machining with moving heat sources," Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 9, pp. 127-134, 2009.
4. Yilbas, B. S., "Laser short-pulse heating: moving heat source and convective boundary considerations," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 293, No. 1-2, pp. 157-177, 2011.
5. Melkote, S., Kumar, M., Hashimoto, F. and Lahoti, G., "Laser assisted micro-milling of hard-to-machine materials," CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 58, No. 1, pp. 45-48, 2009.
6. Lee, J. H., Shin, D. S., Suh, J. and Lim, S. H., "Development of Laser Integrated Machine for Machining of Difficult to Cut Materials," Proc. of Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference, pp. 225-226, 2010.
7. Trirkas, S. A., Papanikos, P. and Kermandis, T., "Numerical Simulation of the Laser Welding Process in Butt-Joint Specimens," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 134, No. 1, pp. 56-69, 2003.
8. Ye, R., Smugeresky, J. E., Zheng, B., Zhou, Y. and Laverinia, E. J., "Numerical modeling of the thermal behavior during the LENS process," Journal of Materials Science and Engineering A, Vol. 428, No. 1-2, pp. 47-53, 2006.

9. Rozzi, J. C., Pfefferkorn, F. E. and Shin, Y. C., "Experimental evaluation of the laser assisted machining of silicon nitride ceramics," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 122, No. 4, pp. 666-670, 2000.
10. Kalyon, M. and Yilbas, B. S., "Laser pulse heating: a formulation of desired temperature at the surface," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 39, No. 1, pp. 109-119, 2003.
11. Ahn, S. H. and Lee, C. M., "A study on large-area laser processing analysis in consideration of the moving heat source," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12, No. 2, pp. 285-292, 2011.
12. Kim, J. H., Kim, K. S., Choi, J. Y. and Lee, C. M., "A Basic Study on the Analysis of Moving Laser Heat Source with Inclination Angle," *Proc. of Korean Society for Precision Engineering Spring Conference*, pp. 549-550, 2011.