

고에너지 빔 분포 형상을 고려한 폭약의 2-D 가열과 점화 연구

이정철* · 최윤수** · 김형원** · 최정열*** · 여재익*

Study of 2-D laser heating with multiple beam profiles and ignition of energetic material

Kyung-cheol Lee* · Yoonsoo Choi** · Hyungwon Kim** · Jeong-Yeol Choi*** · Jai-ick Yoh*

ABSTRACT

Various types of beam distributions of high energy lasers are classified by the mode patterns. We study two dimensional laser initiation of confined energetic materials with multiple beam profiles.

초 록

레이저는 다양한 빔 에너지의 분포 형상을 가질 수 있으며 크게 정형화된 분포 형상은 모드로 구분하여 모드에 따른 빔 에너지 분포 형상은 예측이 가능하다. 본 연구에서는 고에너지의 빔 분포 형상에 따른 steel의 가열 모델을 제시하고 빔 분포 형상에 따른 가열 패턴의 예측과 비교를 수행하였으며, 가열 패턴이 폭약의 점화에 미치는 영향에 대해 논의 하였다.

Key Words: Laser heating(레이저 가열), Ignition(점화), Energetic materials(고에너지 물질), Laser mode(레이저 모드)

1. 서 론

지난 연구에서 1-D 열전달 식과 3-step 그리고 4-step deflagration kinetics 식을 이용하여 고출력 레이저에 의한 금속 가열과 폭약의 점화 모델을 소개하였으며, steel의 가열 온도 측정 실험과 One Dimensional Time to Explosion 실험

(ODTX)과의 비교를 통해 검증을 이룬바 있다.[1] 하지만 이 연구는 비록 3차원 열전달에 의한 열 손실을 감안한 모델치를 이용하여 주어진 레이저 에너지를 fluence로 환산하여 한 점에서의 레이저에 의한 가열 현상과 열의 확산, 그리고 에너지 전달에 의한 폭약의 점화 현상을 살펴본 것에 지나지 않고, 이는 기본적으로 레이저와 금속간의 접촉면에 균일한 에너지 분포를 가진다는 가정하에 수행되었다.

실제로 레이저는 인위적인 조정에 의하여 다양한 빔 분포 형상을 나타낼 수 있다. 여러 레이

* 서울대학교 기계항공공학부

** 국방과학연구소

*** 부산대학교 항공우주공학과

연락처, E-mail: jjyoh@snu.ac.kr

저를 이용하여 하나의 빔을 형성하거나 특수 목적에 따라 인위적으로 원하는 빔 분포 형상을 얻을 수 있으나, 일반적으로 연구에 사용되거나 공업용으로 사용 되는 레이저에는 몇가지 정형화된 빔 분포 형상을 가진 레이저가 사용되고 있다. Figure 1은 사각 빔 레이저에서 모드에 따른 열 분포 형태를 나타낸 것이다.[3]

본 연구에서는 레이저 모드에 따른 steel에서의 열전달 현상과 더불어 기존의 3-step deflagration kinetics 이론을 이용하여 RDX의 점화 특성을 파악하는데 그 목적이 있다. 또한 추가로 실제 대기중에 레이저를 조사하면 레이저 빔 분포 형태가 thermal blooming되는 현상이 발생하는데, 이는 대기의 유동 속도나 증기의 포함정도 혹은 대기속의 오염 물질 입자 등에 의하여 일그러 지는 현상이 발생하는 것으로 이러한 blooming 효과에 의한 열전달 특성의 연구가 진행되고 있다.

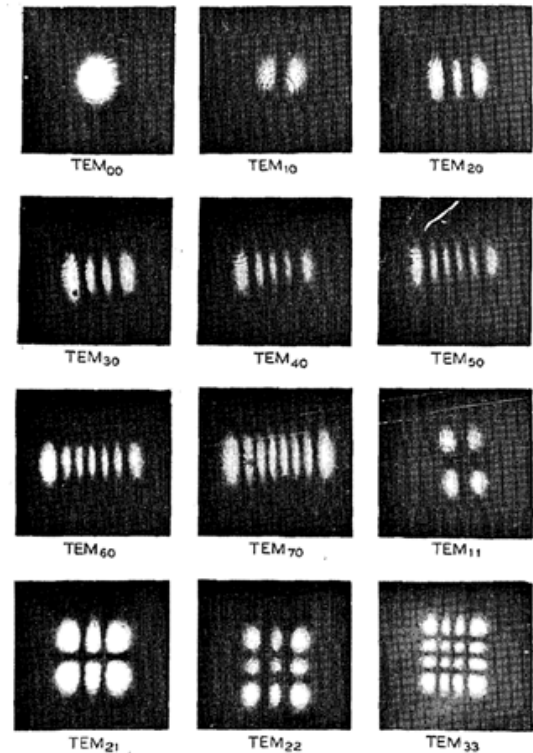


Fig. 1 Mode patterns of a gas laser oscillator (H. Kogelnik 1966).[3]

2. 본 론

2.1 2-D steel and RDX problem description

우선 본 연구에서는 레이저의 빔 분포 형상에 따른 steel의 가열 특성을 살펴보고자 펄스당 500 J의 에너지를 가지고 pulse duration이 0.5 ms 인 레이저의 TEM00 모드의 레이저 빔 분포 형태와 TEM10 모드의 레이저 빔 분포 형태를 참고 문헌 3을 바탕으로 Fig. 2와 같이 구할 수 있다. 또한 시간에 대한 분포는 일반적으로 많은 분포 형태를 가지는 Gaussian 형태로 가정 하였다.

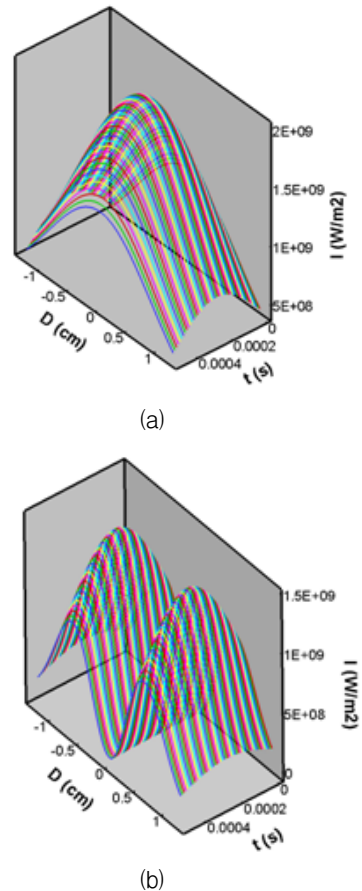


Fig. 2 Laser beam profiles : (a) TEM00 (b) TEM10.

Figure 2의 레이저 빔 분포 형태를 이용하여 10 mm의 두께를 가지는 steel을 가열하여 두 모

드가 가지는 열전달 특성을 살펴 볼 수 있다. Figure 3은 모드별 가열 문제의 개략도이다.

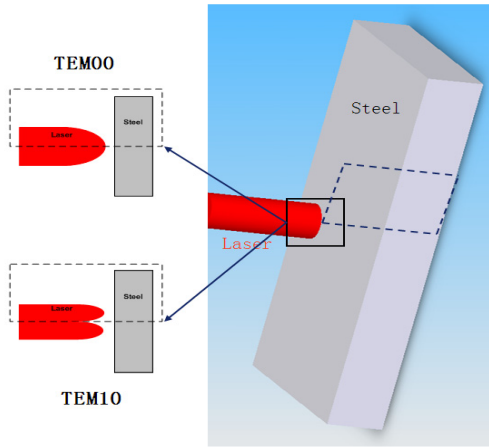


Fig. 3 Schematic of laser heating with TEM00 and TEM10 modes.

2.2 지배방정식과 경계 조건

Steel의 열전달 현상을 해석하고자 2-D heat diffusion 지배 방정식을 사용하였다.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + Q \quad (1)$$

여기서 ρ 는 steel의 밀도 7850 kg/m^3 이고, C_p 는 specific heat이다. k 는 thermal conductivity이고, T 는 steel의 온도를 나타내며, Q 는 레이저의 radiation heat flux 이다.

본 연구에 사용된 경계 조건과 RDX의 chemical reaction은 이전 연구에서 소개된 laser thermal boundary condition과 3-step reaction을 사용하였다.[2]

3. 결 과

3.1 TEM00 와 TEM10 모드 of steel 가열 결과

Figure 4는 TEM00 모드와 TEM10 모드의 빔 분포 형태를 가지는 레이저에 의한 두께 10 mm의 steel 가열 과정을 나타낸 것이다.

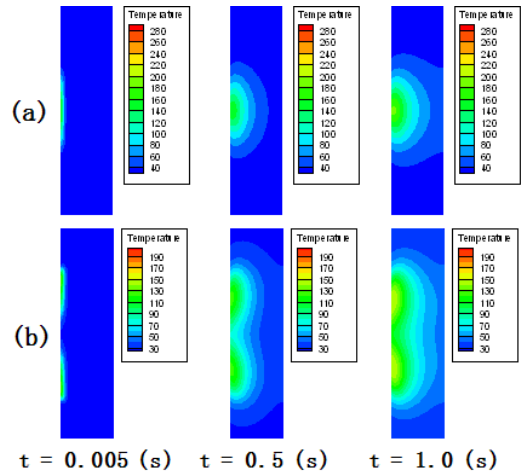


Fig. 4 Temperature profiles of Laser heating : (a) with TEM00, (b) with TEM10.

TEM00의 경우 하나의 피크점으로 인한 steel 내부의 열전달이 나타나고 있으며, TEM10는 두 피크 점을 형성하는 빔 분포 형태로 인한 열전달 분포를 명확히 나타내고 있는 것을 볼 수 있으나 넓은 에너지 분포로 인해 최고 온도는 TEM00 보다 낮게 형성되는 것을 볼 수 있다.

3.2 TEM10 모드 of 레이저 조사 열전달에 의한 RDX 점화

레이저 모드가 가지는 고유 빔 분포 형태의 가열 효과가 고에너지 물질인 RDX에 미치는 영향과 가열 물질인 steel의 두께가 RDX의 점화점에 주는 효과를 보고자 그중 하나인 TEM10 모드의 레이저 빔 분포 형태의 에너지를 이용해서 다음 Fig. 5와 같이 steel의 후면에 10 mm의 RDX를 놓고 steel의 두께를 5 mm, 3 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm로 바꾸어 가며 가열하였다.

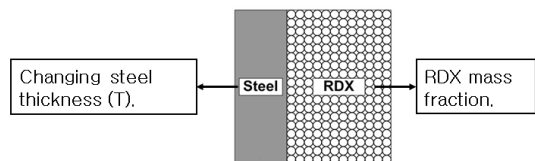


Fig. 5 Schematic of laser heating and ignition of RDX.

Figure 6은 TEM10 모드 레이저를 이용해 steel 가열시 RDX의 점화를 확인하기 위해 RDX의 mass fraction을 살펴본 결과이다.

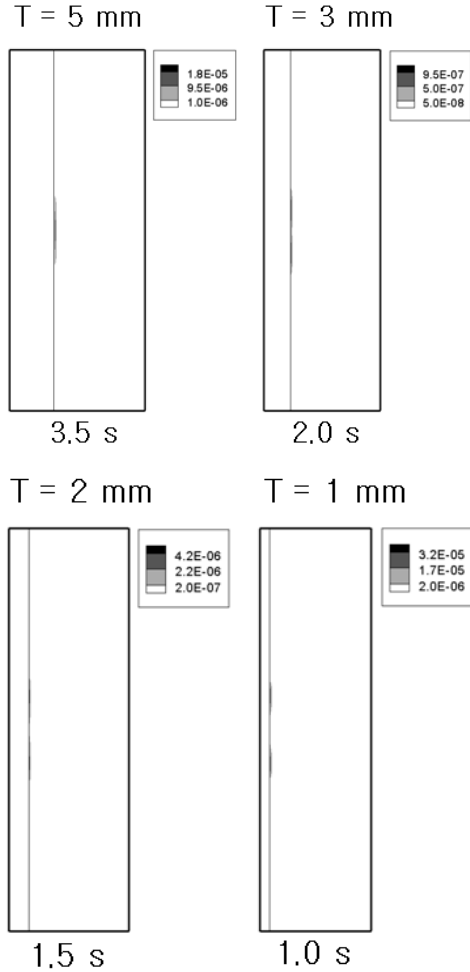


Fig. 6 Mass fraction profiles of RDX with different thicknesses of steel coupon.

TEM10 모드의 빔 분포 형태는 2개의 피크 점을 가지고 있지만 가열 물질의 두께가 두꺼울수록 열은 확산되어 가운데로 몰리기 때문에 가운데 부위에서 점화가 일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 가열 물질의 두께가 얇을수록 2개의 피크 점에서의 열이 직접적으로 RDX의 점화에 영향을 미쳐 점화점이 가운데서 양쪽으로 멀어지는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

실제로 레이저는 사용자의 목적과 의도에 맞게 다양한 빔 에너지의 분포 형태를 가질 수 있다. 그중 일반적으로 정형화 된 레이저의 빔 분포 형태는 TEM 모드에 의하여 결정되는데, 이는 레이저의 에너지를 가지고 사전에 계산이 가능하며, 이를 이용한 물질 가열 현상을 2-D heat diffusion 지배방정식을 이용하여 모델링 하였으며, 레이저 모드에 따른 열전달 특성을 살펴볼 수 있었다. 이러한 열전달 특성은 steel의 후면에 위치한 고에너지 물질의 점화 특성과 밀접한 관계를 가지며, 이는 가열 물질의 두께와도 연관이 되어 있음을 본 연구에서 알 수 있었다.

실제 대기에서의 레이저 조사는 thermal blooming이 발생하는데 본 연구에서 이를 적용한 열전달 특성도 연구 중에 있다.[4]

5. 후 기

본 연구는 BK21과 국방과학연구소 고에너지특화센터(HM-22)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이경철, 김기홍, 여재익, "고출력 레이저에 의한 가열과 폭약의 점화 모델링," 한국추진공학회지, 제12권, 제3호, 2008, pp.1-8
2. K. C. Lee, K. H. Kim and J. J. Yoh, "Modeling of high energy laser ignition of energetic materials," Journal of Applied Physics. Vol. 97, No.083536, 2008.
3. H. Kogelnik and T. Li, "Laser beams and resonators," Applied Optics Vol. 5, No.10, 1966.
4. David C. Smith, "High-power laser propagation: thermal blooming" Proceedings of the IEEE, Vol. 65, No.12, 1977.