

독립된 두 레이저를 이용한 n-Dodecane 에멀전 단일 액적의 분열 및 점화 현상의 관찰

장규민* · 정용진* · 이민정* · 김남일*

Breakup and Ignition Observation of n-Dodecane Emulsion Single Droplet using Two Pulse Lasers

Gyu Min Jang*, Yongjin Jung*, Min Jung Lee*, Nam Il. Kim*

ABSTRACT

Breakup and ignition of single droplet were experimentally investigated using two independent Nd-YAG lasers. The emulsified fuel was made from n-dodecane and water while varying the relative volumetric fraction. As a result of visualization, breakup and ignition behaviors were dependent on the fraction. Luminosity from the secondary droplets increased as the water fraction decreased. Ignition did not occur below 80% of the n-dodecane fraction.

Key Words: Droplet combustion, Laser ignition, Emulsified fuel, n-Dodecane

미립화된 연료 분무의 연소현상은 가스터빈과 직분사 엔진과 같은 응용 분야를 가지고 있으며, 분무 연소 대한 많은 연구가 수행되었다. 그러나 분무된 수많은 액적의 경우, 주변 액적의 영향으로 인해 단일 액적에 대한 증발과 연소와 같은 수력/열역학적 거동을 파악하기 어렵다. 따라서 주변 액적으로 인한 영향이 배제된 단일 액적의 거동 및 연소 현상을 파악할 필요가 있다. 최근 환경오염과 관련된 질소산화물 및 입자상물질 배출을 저감시킬 수 있는 물과 연료의 혼합물인 에멀전 연료(emulsified fuel)의 연소에 관한 연구가 수행되고 있다 [1, 2]. 본 연구에서는 n-dodecane을 연료로 사용한 에멀전 단일 액적의 분열 및 점화 현상에 대하여 관찰하였다.

Fig. 1은 실험장치의 구성의 개략도를 나타내고 있으며, 분열/점화 에너지원으로 두 대의 532 nm Nd-YAG 레이저(Powerlite Precision II 8000, Continuum)를 사용하였다. 주사기 펌프로부터 공급된 에멀전을 노즐(30G)로부터 수직으로 낙하시켰으며, 볼록 렌즈를 통과한 레이저는 초점을 형성하여 액적에 조사된다. 액적의 크기는 약 2 mm이다. 이 때, HeNe 레이저와 포토다이오드가 낙하하는 액적을 감지한 시점을 기준으로 하여 신호 발생기(Delay generator; Model 555, BNC)를 통하

여 두 대의 레이저 조사 시점을 통제하였다. 액적의 분열 및 점화현상은 고속카메라 (Fastcam Mini UX50, Photron)를 이용하여 초당 5000 프레임의 촬영속도로 가시화 하였다.

에멀전 연료는 n-dodecane과 물로 구성되었으며, 안정화된 에멀전의 생성을 위해 전체 혼합물 부피의 2.5%에 해당하는 계면활성제(Span 80, Sigma-Aldrich)를 첨가하였다. 1시간 동안 분당 100 회전 조건으로 교반하여 8시간 이상 분리되지 않는 안정화된 에멀전을 실험에 사용하였다.

Fig. 2는 에멀전 연료에서 n-dodecane의 비율이 각각 100%, 80%, 50%, 20% 의 조건에서 분열 현상이 일어나는 것을 가시화한 사진이다. 분열 현상의 관찰에는 1개의 레이저를 이용하였으며 약 200 mJ/pulse의 동일한 에너지를 액적에 가해진다. 레이저 입사 방향은 액적의 좌측에 위치

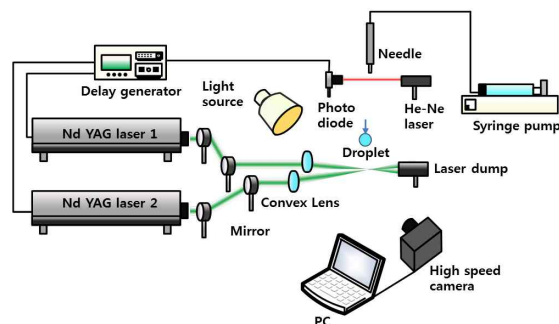


Fig. 1 Schematic of experimental setup

* 한국과학기술원 기계공학과

† 연락처, nikim@kaist.ac.kr

TEL: (042) 350-3211

하였다. 레이저가 액적에 조사된 직후 액적은 팽창과 더불어 2차 액적을 보이기 시작하고, 조사 후 3-4 ms 시점에서 팽창된 액적은 수많은 2차 액적으로 분열이 발생한다. 물의 함량에 따라 2차 액적으로 분열되는 형태가 다른 것이 확인되었다. 액적이 완전한 2차 액적의 형태로 분열되기 전 팽창된 액적은 최대 직경을 가지게 되는데, 이를 초기 액적 직경으로 무차원화 한 직경(D_{max})은 Fig. 3과 같다. 최대 팽창 직경이 클수록 액적 분열 강도가 높은 것을 의미하고 n-dodecane의 함유량이 작을수록, 즉 물의 비율이 높을수록 더 강한 액적 분열 현상이 나타남이 확인된다.

Fig. 4는 두 대의 레이저를 분열 및 점화에 각각 사용하여 촬영된 이미지이다. 첫 번째 레이저(200 mJ)는 액적을 분열 시키고, 첫 번째 레이저의 조사 시점에서 1.0ms 후에 조사된 두 번째 레이저(240 mJ)는 액적을 점화시킨다.

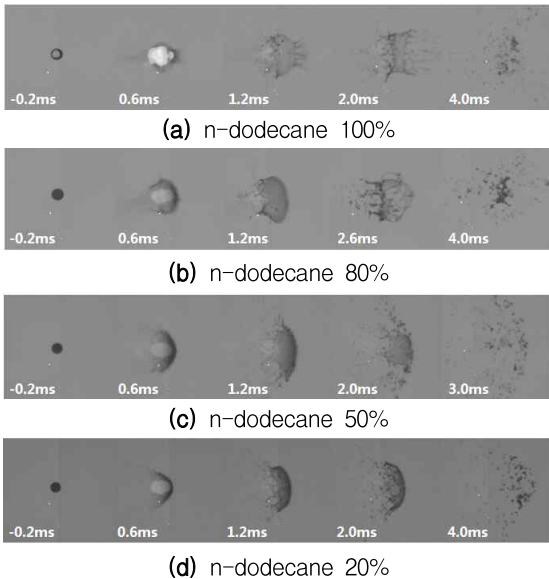


Fig. 2 Breakup of fuel droplet

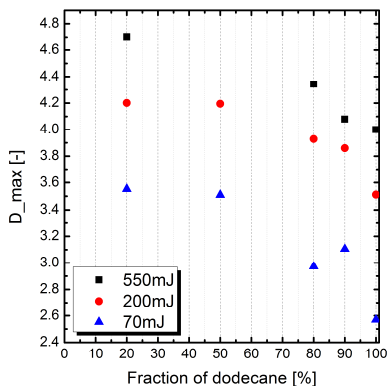
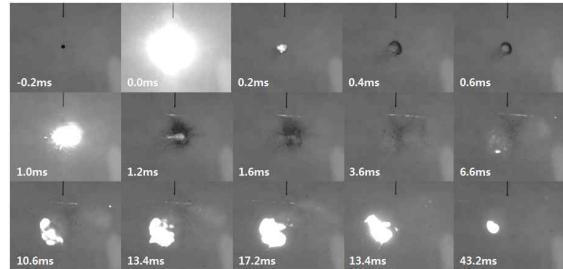
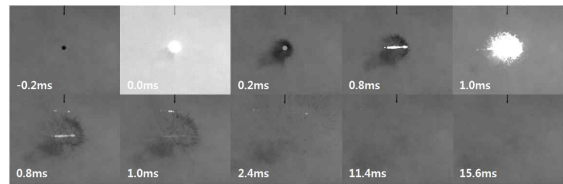


Fig. 3 Normalized maximum diameter

n-dodecane 함유량이 90%인 경우 화염의 생성을 확인하였지만 80% 이하인 조건에서는 화염이 생성되지 않는 것이 관찰되었다.



(a) n-dodecane 90%



(b) n-dodecane 80%

Fig. 4 Ignition of droplet

후 기

본 연구는 Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. 및 BK21 Plus 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] H. Watanabe, Y. Suzuki, T. Harada, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, "An Experimental Investigation of the Breakup Characteristics of Secondary Atomization of Emulsified Fuel Droplet", Energy. Vol. 35, 2010, pp. 806 - 813.
- [2] A.M. Ithnin, H. Noge, H.A. Kadir and W. Jazair, "An Overview of Utilizing Water in Diesel Emulsion Fuel in Diesel Engine and its Potential Research Study", Journal of the Energy Institute, 2014, pp. 273-288.