

초음파를 이용한 부상유적군의 연소기구에 관한 기초연구

정진도[†] · 김승모^{*}
 (2003년 4월 4일 접수, 2003년 6월 30일 심사완료)

An Elementary Study on the Combustion Mechanism of Levitated Droplet Clusters by Ultrasonic Wave

Jin-Do Chung and Seung-Mo Kim

Key Words: Group Combustion(군연소), Spray Combustion(분무연소), Mie-Scattering Theory(미산란이론), Laser Tomography Method(레이저토폴로그래피법)

Abstract

This paper describes to observe the combustion process of only one droplet cluster. In this study, liquid fuel was atomized by ultrasonic wave to form an acoustically levitated droplet cluster. In order to elucidate the detailed structure of burning process of the droplet cluster, laser tomography method was applied. Time-series planar images of fuel droplets were processed and diameter of the each droplet was calculated based on the Mie-scattering theory. Using these data, the modified droplet group combustion number was estimated in time-series. As the result, when the internal droplet group combustion occur, the modified group combustion number dose not decrease monotonically, but show a tow-staged decreasing process. In all case of combustion process, combustion reactions were measured two types that combustion speed was fast and slow. It was casued by differnece of concentration degree and droplet size distribution.

기호설명

- a : 입경 파라미터
- D : 입경(μm)
- Le : 루이스수
- Sc : 슈미트수
- Re : 레이놀즈수
- n_T : 총유적수
- l : 평균유적간 거리(μm)
- G : 군연소수
- d_{10} : 산술평균입경(μm)
- d_{32} : 사우터 평균입경(μm)
- V_m : 측정체적(mm^3)
- G_c : 수정군연소수

1. 서론

1960년대 후반부터 화석연료중 액체 연료의 소비량이 점점 증가하고 있는 추세이다. 하지만 매장량의 한계로 인해 고갈될 위기에 처해있고, 급격한 공업화에 따른 오존층 파괴, 지구 온난화 등의 대기오염문제는 위험수준을 넘고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 유해 배기 물질을 적게 배출하는 청정에너지의 연구가 활발하게 진행되고 있지만 화석에너지를 완벽히 대체할만한 에너지는 아직 존재하지 않고있는 실정이다. 따라서 화석에너지의 연소효율을 높이고, 유해 배기 성분을 저감시키는 것이 당면과제라고 생각되어진다.

이러한 연소기술 중 액체연료의 연소 방법으로 가장 널리 사용되고 있는 방법은 분무연소이다. 분무연소는 응답성이 좋고, 고부하 연소가 가능하며, 여러 가지의 화염에 널리 사용할 수 있다

[†] 책임저자, 회원, 호서대학교 환경공학과
 E-mail : jdchung@office.hoseo.ac.kr
 TEL : (041)540-5743 FAX : (041)540-5748

^{**} 호서대학교 대학원 환경공학과

는 점에서 공업적 목적에 많이 사용되고 있다.⁽¹⁾ 또 분무의 특성이 연료의 착화·연소와 배출특성 등에 큰 영향을 미치기 때문에 많은 연구가 행하여지고 있으나 액체연료의 미립화, 분무의 유동과 혼합, 공기 중에의 분산, 증발, 연소가 동시에 진행되고, 또 유적 입경마다 그 거동이 다르고 매우 복잡한 현상이 발생하기 때문에 해석에 어려움이 많이 존재하고 있다.⁽²⁾

Chiu 등의 유적군 연소 가설^(1,3)에 의하면 분무 화염은 개개의 단적연소의 집합체가 아니고 균연소에 의한 시간적 공간적인 변화가 분무의 연소기구에 큰 영향을 미친다고 발표하였다. 그리고 Katsuki^(4,5) 등은 이 균연소 가설을 실험적인 연구를 통하여 입증하였다. 그러나 유적군의 형성이 시·공간적으로 매우 불균일하고, 지금까지 대상으로 했던 분무버너에서의 화염구조의 관찰도 거시적인 것이었기 때문에, 유적군의 미세구조를 밝히는 데는 어려움이 있었다.

분무연소 거동을 미시적으로 관찰하기 위해 개개의 유적의 거동을 추적하는 것은 분무 내에 매우 많은 유적이 존재하기 때문에 상당히 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 유적을 공간 중에 부상시켜 관찰하는 방법이 적합한데, 분무중의 개개의 유적의 관찰을 위해 실제 분무기에서 사용하는 분무유적과 가까운 입경을 가진 유적을 공간 중에 형성시키는 방법이 필요하다. 이와 같은 조건을 충족시키는 방법으로는 자기장을 형성시켜 부상시키는 방법, 초음파를 이용해서 부상시키는 방법 등이 있다.

자기장을 이용하는 방법은 전기 전도성을 가진 물체에 적합하기 때문에 본 연구에서는 분무화염 중 유적군의 연소기구를 상세히 규명하기 위해 초음파를 이용하여 에탄올(C_2H_5OH), 등유(C_nH_{2n+2}), 데칸($C_{10}H_{22}$)을 미립화시키고, 그 미립화된 유적을 부상시켜 유적군을 형성하였다. 형성된 유적군을 레이저 토모그래피법(Laser tomography method)을 이용하여 유적군 내부의 개개의 유적을 시간별로 가시화 했다. 또 가시화한 화상을 이용하여 미에(Mie) 산란 이론을 기초로 한 유적의 입경을 산출했다. 얻어진 총유적수, 평균 입경 등을 바탕으로 수정 균연소수를 계산하고, 계산된 균연소수와 가시화된 유적군을 비교 분석하여 분무화염의 미세구조를 자세히 조사하였다.

2. 이론적 배경

2.1 미에(Mie)산란 이론

본 연구에서는 레이저 토모그래피법으로 부상 유적군의 단면촬영을 실시하였고, 얻어진 화상을 이용하여 유적들의 상대적인 입경을 구했다. 입경 측정에 이용한 화상은 고속도 CCD 카메라로 촬영한 화상, 즉 $256 \times 256 \text{ pixel}^2$ 이기 때문에, 이 방법을 사용하면 그 픽셀 단위 이하의 유적군의 입경은 측정이 불가능하다. 이런 문제점을 해결하기 위해 미에 산란 이론⁽⁶⁾에 기초한 처리를 실시했다.

미에 산란 이론에 의해 입경 D 와 파장 λ 에 의해 정해지는 입경 파라메타 $a(a = \pi D/\lambda)$ 가 30 이상인 조건을 만족하는 유적에 대한 산란광 강도는 D^2 에 비례한다. 본 실험에서는 파장 514.5 nm 인 아르곤 이온 레이저를 사용하였기 때문에 D 가 $4.9 \mu\text{m}$ 이상인 유적에 적용이 가능하다. 따라서 고속도 CCD 카메라에 의해 찍은 화상의 레이저 광 강도를 측정하고, 그 강도로부터 상대적인 입경을 구했다.

2.2 균연소이론

분무화염은 개개의 유적이 연소하는 형태가 아니라 분무의 불 균일성이 균의 거동을 일으키고, 그 균거동의 시간적, 공간적 변화에 의해 분무의 연소기구가 크게 영향을 받는 균연소 이론이 지배적이다. Chiu 등은 이론적인 연구를 행하여 균연소수 G 값의 차이에 의해 4종류의 연소형태가 있다는 것을 예측했다.^(1,2) 그리고 식 (1)과 같이 균연소수 G 를 정의하였다.

$$G = 1.5Le(1 + 0.276Sc^{1/3}Re^{1/2}) \times n_r^{2/3}(d/l) \quad (1)$$

여기서 Le 는 루이스수, Sc 는 슈미트수, Re 는 유적에 대한 레이놀즈수, n_r 는 유적군에 포함된 유적 총수, d 는 유적의 직경, l 은 평균 유적간 거리이다. 따라서 G 는 유적군에 포함된 유적의 총 증발율과 확산에 의한 유적군 내외의 가스 성분의 교환율의 비로 정의될 수 있다.

Chiu는 균연소의 형태를 다음의 4가지로 예측하였다.^(1,2) 먼저 단적연소의 형태로서 유적군 내부에서 유적의 밀집도가 낮아 산소 공급이 양호하므로 유적은 단적연소한다($G < 10^2$). 다음은 내부 균연소

의 형태로 유적군 내부에 연료의 농도가 높아져 유적군의 중심부에서 산소의 공급이 부족해짐으로써 공통의 균화염 형태로 연소하지만, 외부에서는 아직 산소의 공급이 양호하므로 단적연소가 계속되고 있다($10^2 < G < 1$). 다음은 외부 균연소로서 액적의 총중발률에 비해서 산소의 공급이 크게 부족하여 단적연소가 발생하는 부분은 사라지게 된다. 이 경우에는 유적군의 외부에 균 화염이 형성된다 ($1 < G < 10^2$). 마지막으로 외각연소로서 유적의 밀집도가 너무 높아서 유적군의 온도가 상승되지 않아 증발이 외부에 한정된다. 이때도 균 화염이 유적군의 외부에 형성된다($10^2 < G$).⁽¹⁾

균연소 수를 더 간단히 정의하기 위해 여기서 부차원 유적간 거리 S 를 다음과 같이 정의하면

$$S = \frac{l/(10d)}{1 + 0.276Sc^{1/3}Re^{1/2}} \quad (2)$$

균연소수 G 는 S 와 n_T 를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = 0.15Le \cdot n_T^{2/3}/S \quad (3)$$

2.3 수정 균연소수의 산출

본 연구에서는 실험으로부터 얻어진 데이터를 바탕으로 유적군의 수정 균연소수 G_c 의 도출을 실시하였다.

이때의 단일 유적 직경 d 대신에 유적군의 산술 평균입경 d_{10} 을 사용하였다. 또 유적은 정제과의 마디 부근에 거의 멈춰져 있는 상태이므로 유적과 유적 주위 공기의 미끄럼(slip)속도를 무시할 수 있기 때문에 $Re \approx 0$ 이 된다. 그리고 연소에서 발생하는 대부분의 화학종에 대한 루이스수는 대략 1이므로 1로 가정을 하고 식 (1)을 정리하면 식 (4)와 같이 된다.

$$G_c = 1.5nT^{2/3} \cdot d_{10}/L \quad (4)$$

여기서 평균 유적간 거리 L 은 다음과 같은 가정하에 구한다. 유적군내의 유적 체적은 하나의 변이 L 의 정육면체의 체적과 같다고 놓고, 이 입방체의 체적을 V 라고 하면 V 는

$$V = L^3 \quad (5)$$

이 된다. 측정영역내의 유적군의 총체적을 V_m , 측정

영역내에서 검출되는 유적 개수를 n 으로 놓으면

$$V = V_m/n \quad (6)$$

이 된다. 여기서 V_m 은 원화상으로부터 유적군의 면적을 산출하고 그곳에 레이저 시트의 두께 Imm 를 곱해서 구한다. 그리고 식 (5), (6)에 의해서 L 은 식 (7)와 같이 표시할 수 있다.

$$L = (V_m/n)^{1/3} \quad (7)$$

또, 총유적수 n_T 는 l_c 가 측정 유적군의 단면적과 같은 면적을 가지는 원의 입경으로 가정하고, 입경 l_c 의 유적군 내부에 유적들이 변이 L 인 정육면체로 가득차 있다고 가정하면, 다음 식과 같이 표시할 수 있다.

$$n_T = (\pi/6 \cdot l_c^3)L^3 \quad (8)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 초음파 부상장치

초음파를 발생시키기 위해서는 음원을 높은 진동수로 진동을 시켜야하는데, 이 방법으로 압전 세라믹(Piezo actuator)을 이용한 전왜(電歪)진동자가 있다. 수정이나 로셀염들의 결정에 압력을 가하면 전압이 발생하는데 이것을 압전의 직접효과라고 하며, 이와 반대로 전압을 주면 결정체가 변형을 일으키는 현상을 압전의 역효과라 한다. 이러한 압전성을 가진 세라믹 재료를 가리킨다.

현재 가장 많이 사용되고 있는 압전 세라믹은 티탄산바륨 계통($BaTiO_3$)과, 티탄산지르콘산납계($Pb(Zr,Ti)O_3$:PZT)의 두 종류가 있다. 이 압전 세라믹은 +이온과 -이온의 전하의 중심이 어긋나있기 때문에 자발분극을 가지고, 그것이 압전을 일으킨다.

또 압전 세라믹은 압축강도가 인장강도와 비교해서 매우 큰 성질을 가지고 있다. 따라서 전왜(電歪)진동자는 압전 세라믹에 볼트로 양쪽에서 조이고, 압축응력을 추가한 볼트 조임 랑게빈 진동자(Bolted Langevin Transducer)를 사용하여 더 큰 진동응력을 발생시켰다. Fig. 1에는 본 실험에 사용된 진동자를 나타내었다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 초음파 부상장치를 나타내었다. 그 진동자의 상방에 초음파의 발생면과 평행하게 반사판을 설치하였다. 이 반사판은

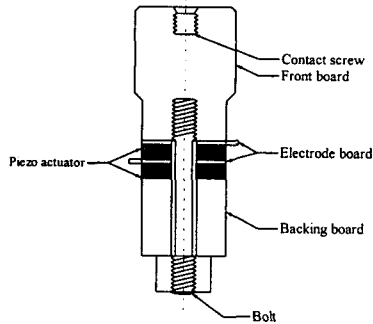


Fig. 1 Bolted Langevin transducer

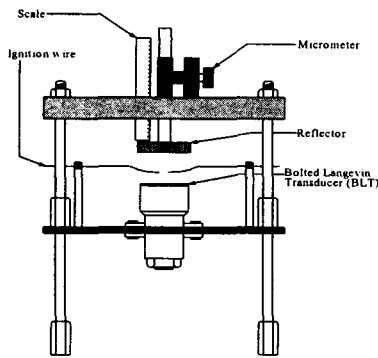


Fig. 2 Experimental devices

이동장치를 이용해서 0.1mm 단위로 이동이 가능하며 초음파의 반사로 발생한 정재파 마디의 위치변화가 가능하다. 본 연구에서는 정재파의 마디가 4개인 경우(진동자야 반사판과의 간격 35mm)에 실험을 실시하였다. 또 주파수 발생장치(Kikusui製, RC Oscillator Model 418A)에 의해 정현신호 20kHz를 발생시키고, 그것을 증폭기(Demon製, PMA-910V)에 의해 증폭시킨 것을 진동자에 보내고, 출력을 했다. 또, 그 출력은 전력계(Wattmeter : Tao製, HF Power Meter Model OP-1R)에 의해 나타내었다.

3.2 화상처리 프로그램

3.2.1 화상의 전처리

본 실험에서 사용한 아르곤 이온 레이저(Ar-ion laser)는 선 광원으로 주사되기 때문에 레이저 자체만으로는 측정 대상의 조명으로 부적합하며, 유적을 가시화 시키기 위해 레이저 시트가 필요

하다. 따라서 레이저 시트를 형성하기 위해 원통형 렌즈(Cylindrical lens)를 이용하여 측정 영역에 두께 1mm의 레이저 시트를 형성하였다. 이로 인해 원통형 렌즈를 통과한 이 레이저광의 광강도는 진행방향의 수직축 대하여 일정하지 않고 가우시안 분포를 나타낸다. 하지만 측정영역의 광강도는 모든 측정 부분에서 일정해야 하기 때문에 레이저 광강도의 보정이 필요하다. 따라서 유적의 입경을 산출하기 전에 화상의 전처리가 필요하다. 본 실험에서는 위에서 두 번째의 유적을 주목하여 관찰하였기 때문에 그 부분의 레이저 광강도를 가장 강하게 실험을 실시하였다.

레이저 광강도 분포의 보정은 유적의 직경이 약 5 μ m로 일정한 가습기를 이용하여 미스트(mist)를 생성하여 버너에 분사시키고, 그곳에 레이저 시트를 형성하여 고속도 CCD 카메라로 화상을 촬영하고, 그 데이터를 이용하여 광강도 보정용 테이블을 작성하였다. 광강도 보정용 테이블을 이용하여 촬영한 유적의 레이저 광강도 보정을 실시하였다.

3.2.2 화상처리

화상 전처리를 실시한 화상으로부터 다음의 방법으로 화상처리를 실시하여 유적의 데이터를 추출하였다.

보정화상에는 salt and pepper noise와 같은 픽셀 단위의 돌발적인 노이즈가 포함될 가능성이 있다. 이것을 제거하기 위해 각 픽셀에 3 \times 3 미디안 필터(median filter)를 채택한다. 이 필터는 대상으로 하는 픽셀을 3 \times 3픽셀의 중앙에 놓고, 대상으로 하는 픽셀을 둘러싸고 있는 영역의 평균값을 그 픽셀의 휘도로 놓는다. 이 방법을 이용하여 픽셀단위의 노이즈를 제거하였다.⁽⁷⁾

미디안 필터링을 거친 화상에 대하여 유적 휘도의 피크(peak)와 에지(edge)를 강조한 화상을 얻기 위해, 대상으로 하는 픽셀(x,y)의 휘도f(x,y)에 대한 라프라스시안 $\nabla^2 f(x,y)$ 을 구한다. 라프라스시안 필터 중심의 3 \times 3 픽셀의 값을 8로 놓고 주위는 -1로 놓았다.⁽⁷⁾

라프라스시안 필터링에 의해 추출된 화상은 유적 중심부근의 픽셀의 휘도가 피크가 되기 때문에 경계값을 설정한 뒤 피크값을 계산하고 그 피크값을 이용하여 유적의 위치를 파악하였다. 그리고 피크의 강도에 의해 유적의 입경을 산출하였다.

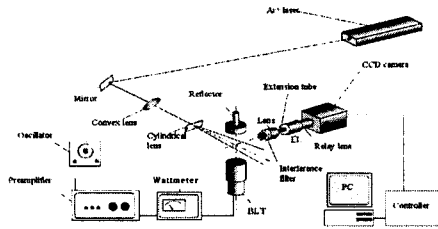


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus for levitated droplet clusters measurement

3.2.3. 광학계측장치

Fig. 3에 본 연구에 사용된 부상 유적군 촬영용 광학계측장치의 개략도를 나타내었다. 레이저시트의 광원으로는 파장 514.5nm의 아르곤 이온 레이저(Spectra physics社, satbilite 2017)를 사용하였다. 레이저광은 평볼록렌즈($f=500\text{mm}$)를 거쳐, 실린더렌즈($f=58\text{mm}$)에 의해서 진동자와 반사판의 중심축을 포함한 두께 약 1mm의 시트를 형성하였다. 이 레이저광을 이용하여 유적의 모양과 거동을 보다 선명하게 가시화하였다. 레이저 시트에 의해 조사(照射)된 미산란광은 아르곤 이온 광간섭 필터(중심파장 514.5nm)를 통해 레이저 시트와 수직방향으로 배치된 고속도 CCD 카메라(KODAK社, Ektapro HS Motion Analyzer Model 4540)에 의해 촬영되었다. 촬영용 렌즈(Nikon社, Nikkor 초점거리 50mm, f 값 1.2)의 조리개는 완전히 개방하였다. 촬영 플래시펄스는 4500매/초이고, 촬영매수는 1024매(촬영시간 약 0.23초)로 실험을 실시하였다. 또 얻어진 화상은 $256 \times 256\text{pixel}^2$ 로, 퍼스널 컴퓨터(NEC社, PC-9801ES)에 삽입하여 8bit(256계조)의 농담(濃淡)으로 디지털 데이터화되었다.

부상 유적군의 점화에는 전기 스파크(방전시간 약 0.44ms)를 사용하였다. 이것은 전지에서 발생하는 전압을 점화 코일에 의해 수 백배 높이고, 그것을 부상장치의 양측에 연결된 구리선에 의해 유적군에 직접 스파크로 점화시키는 방법이다. 전극의 간격은 유적군의 부상에 영향을 주지 않고 스파크가 가능한 한계거리인 약 6mm로 하였다. 연료는 에탄올, 등유, 테칸을 이용하였다.

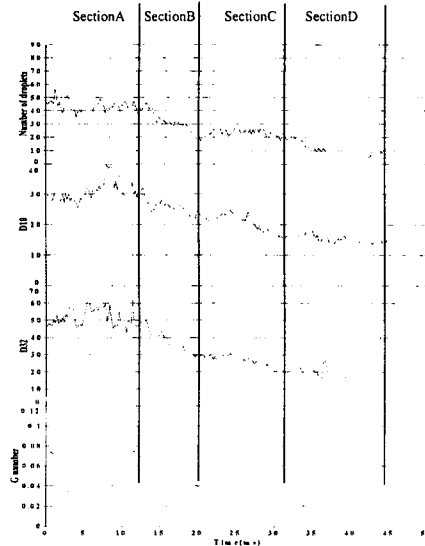


Fig. 4 Group combustion data of ethanol (pattern A-1)

4. 결과 및 고찰

4.1 연소군거동의 평가(에탄올)

전장에서 설명한 방법을 이용해서 수정 균연소수 G_c 값을 산출하고, 설정된 영역내에 있는 총유적수, D_{32} , D_{10} 을 시간별로 나타내었다. 그리고 이 그래프에서는 점화 시간을 0으로 표시했다.

에탄올은 테칸, 등유와는 다르게 총유적수와 균연소수가 단조(monotone)감소후 일정한 값을 유지하다가 다시 단조 감소하는 형태 A와 단조감소만 나타나는 형태 B 크게 두 가지 형태가 나타났다. 그리고 각 형태에는 연소속도가 느린 경우 1과 빠른 경우 2가 측정되었다.

우선 Fig. 4을 살펴보면 이 그래프는 형태 A와 경우 1에 해당하는 것으로서 점화 후 약 14ms(구간 A)까지는 큰 변화가 없이 일정한 값을 유지하지만 약한 진동이 관찰된다. 이것은 점화 후 스파크가 유동장에 영향을 끼쳐 측정영역 부근의 유적들이 비정상적인 거동을 하여 발생하는 현상으로 생각된다. 그리고 14ms까지는 점화 후 연소반응이 대상영역까지 전파되어 오는 시간이다. 14ms부터 총유적수가 감소하는 것으로 보아 이 시각부터 연소반응이 개시하는 것으로 생각된다. 14ms부터 단조감소를 시작하여 약 22ms(구간 B)

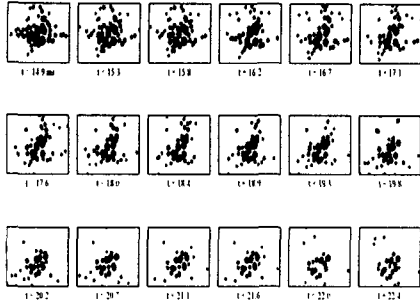


Fig. 5 Spatial distribution droplet clusters (section B of ethanol pattern A-1)

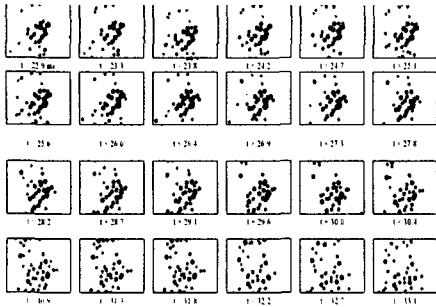


Fig. 6 Spatial distribution droplet clusters (section C of ethanol pattern A-1)

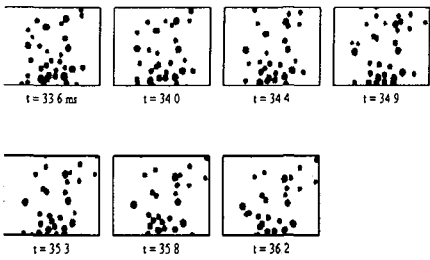


Fig. 7 Spatial distribution droplet clusters (section D of ethanol pattern A-1)

까지 계속된다. 이때 유적군 공간분포를 나타내는 Fig. 5을 살펴보면 이 구간에서는 유적군 외부의 유적이 감소하지만 내부의 유적에는 거의 변화를 찾을 수 없다. 즉 유적군 외부로부터 서서히 연소와 증발이 진행되어 가는 내부 균연소의 특성을 보여주고 있다. 22ms부터 33ms까지(구간 C)의 총유적수는 다시 일정한 값을 유지하지만

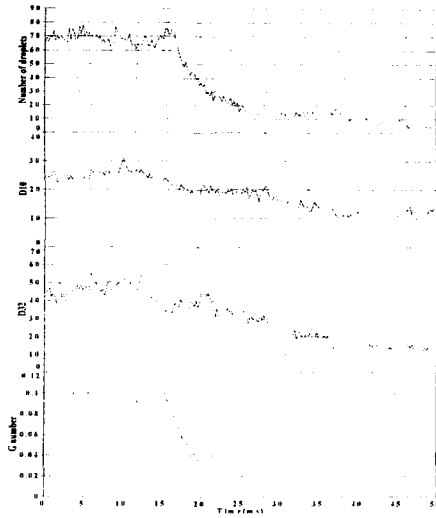


Fig. 8 Group combustion data of ethanol (pattern B-1)



(a) Pattern A-1 (b) Pattern B-1

Fig. 9 Combustion behavior of droplet clusters of ethanol

D_{10} 과 D_{32} 는 여전히 단조감소를 한다. 이것을 Fig. 6에서 확인해 보면, 이 구간에서는 연료의 증발이 일어나고 평균입경이 감소하지만 총유적수는 변함이 없다. 33ms이후로는 다시 총유적수의 단조감소가 시작된다.(구간 D) 구간 D의 유적공간분포인 Fig. 7를 보면, 이때는 구간 C에서 증발한 유적들이 감소를 시작하고 단적연소가 발생한다. Fig. 8는 등유, 데칸과 같이 총유적수가 단조감소만 일어나는 형태를 보이고 있다.(형태 B) 이것은 에탄올의 유적군의 연소거동을 나타낸 Fig. 9의 (a)와 (b)를 비교해 보면 (a)가 (b)에 비해 대상 유적군의 밀집도가 높다는 것을 알 수 있다. 형태 A의 경우보다 형태 B는 유적군 내부에서의 연료의 증발이 적게 발생하여 대상 유적군 내에서 연료농도와 밀집도가 낮기 때문에 이러한 현상이 발생하는 것으로 생각된다.

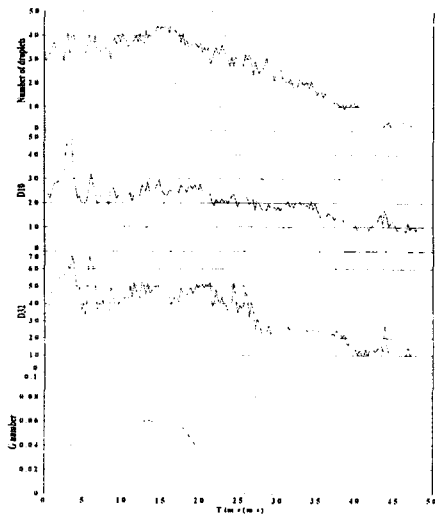


Fig. 10 Group combustion data of decane (pattern B-1)

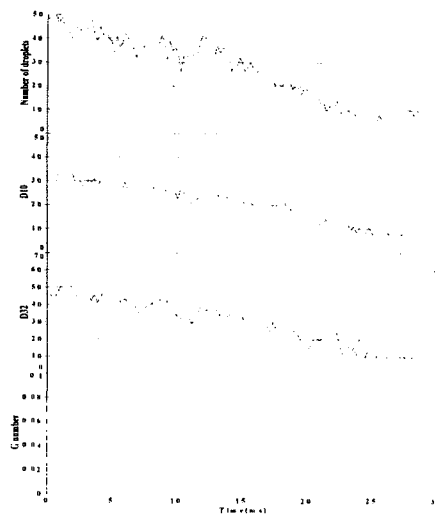


Fig. 11 Group combustion data of decane (pattern B-2)

4.2 연소군거동의 평가(데칸)

데칸의 연소거동은 에탄올과는 달리 단조감소만 일어나는 형태 B의 경우만 관찰되었다. 데칸은 에탄올의 결과와 비교해 보면 큰 차이를 발견할 수 없다. 그러나 데칸과 에탄올의 가장 큰 차이는 연소속도 차이이다. 그 원인은 에탄올이 증기압이 높아서 증발이 잘 일어나기 때문에 산소와 결합을 데칸의 경우보다 연소반응이 가속되기 때문으로 생각된다.

에탄올, 등유의 경우와 같이 데칸도 연소반응이 느린 경우(경우 1), 빠른 경우(경우 2)가 관찰되었는데, 이는 Fig. 12.인 유적 입경 분포를 비교해 보면, 연소가 개시되는 점에서는 경우 1의 비교적 큰 입경인 100 μ m 이상의 비율은 30%이고, 경우 2의 100 μ m 이상의 비율은 12% 정도로 연소속도가 느린 경우 큰 입경의 비율이 높게 나타났다. 본 연구에서는 에탄올, 등유의 경우에서도 같은 결과가 나타났는데 이는 연소속도의 차이가 유적 입경 분포의 차이 때문으로 생각된다.

4.3 연소군거동의 평가(등유)

등유의 연소거동의 경우도 데칸의 경우와 같이 형태 A는 관찰되지 않는다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 에탄올의 증발률이 타 연료인 데칸과 등유에 비해 높기 때문에 대상 유적군 내부에 연

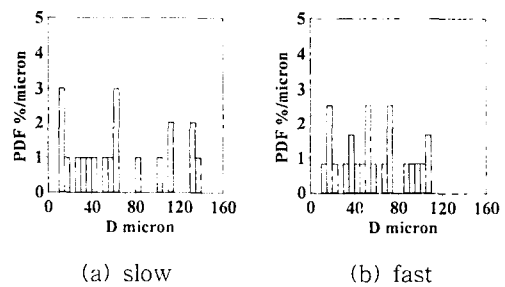


Fig. 12 Droplet size distribution of decane

료비가 높게 되고 산소가 부족한 현상에 의해 내부 군연소가 일어나기 때문으로 사료된다.

Fig. 13.을 보면 점화 개시 후 약 20ms까지는 거의 변화를 보이지 않았다. 이때에도 역시 약한 진동을 발생한다. 이것은 이미 설명한 바와 같이 스파크 점화가 유동장에 미치는 영향에 의한 것으로 생각되어 진다. 그리고 그 후에 서서히 단조감소하는 경향을 나타내고 있다.

그리고 등유의 유적군의 연소거동인 Fig. 14를 보면 에탄올과 데칸과는 달리 검댕(soot)이 많이 발생하여 미세 산란광으로도 화염의 형상을 파악할 수 있었다.

본 연구에서는 고속도 CCD 카메라를 이용하여 가시화한 화상으로부터 유적의 입경을 산출하였다. 앞에서도 서술한 바와 같이 픽셀이하의 유적의 입경을 구할 수 없으므로 미세산란 이론에 기

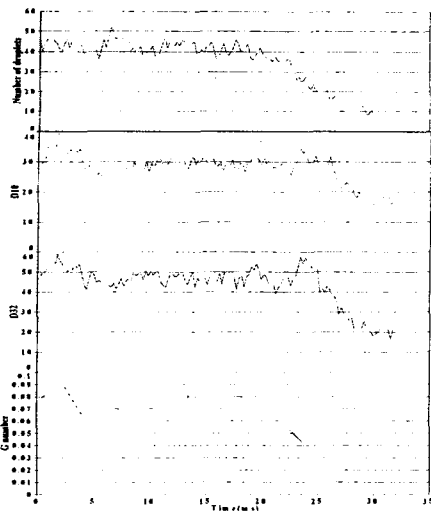


Fig. 13 Group combustion data of kerosene (pattern B-1)

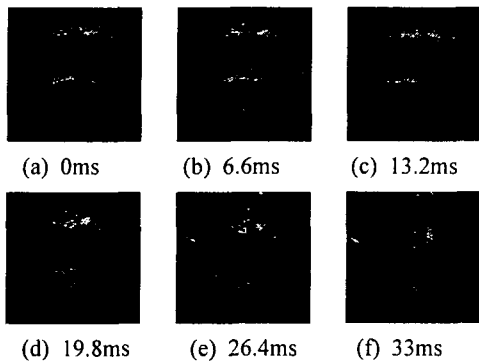


Fig. 14 Combustion behavior of droplet clusters of kerosene (pattern B-1)

초한 상대적인 입경을 구하였다. 미에산란 이론을 적용할 때의 오차와 화상처리를 실시할 때의 오차를 감소시키기 위하여 같은 광학계를 사용하는 실험⁽⁸⁾에서의 비례정수를 도입하였다.

이 비례정수를 사용해서 구한 입경과 수정 균연소수는 비교적 정확한 값을 가지지만 앞에서 언급한 Chiu 등의 균연소수와와의 절대적인 비교는 어렵다고 생각한다.

그리고 본 연구에서는 Lewis수가 1이라는 가정, Reynolds수가 0이라는 가정 등 수정 균연소수를 계산하는 과정에서 몇가지 가정을 하였다. 비록 이 가정이 비교적 정확하지만 약간씩의 오차는 존재한다. 따라서 추후에는 고속도 CCD 카메라

와 PDA를 동시에 측정하여 절대적인 비례정수를 구하고, 수치해석으로 실험적으로 구하기 어려운 전 대상영역의 온도 등의 값을 구한 후 Chiu 등의 균연소수와와의 비교할 것이다.

5. 결론

분무화염중의 유적군의 연소기구를 해명하기 위한 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 에탄올에서는 단조감소후 일정한 값을 유지하다 다시 단조감소를 하는 형태(형태 A)와 단조감소만 일어나는 형태(형태 B)가 관찰되었고, 등유와 데칸에서는 단조감소만 일어나는 형태(형태 B)만 관찰되었는데 이는 에탄올이 다른 연료보다 증기압이 높아 증발이 활발하게 일어나, 유적군 내부에 연료 농도가 높아지고, 일시적으로 산소 공급률이 부족한 현상이 발생하기 때문이다.

(2) 형태 A의 경우 점화 개시후 내부연소의 형태에서 시간이 경과함에 따라 유적군 외부에서의 증발과 동시에 연소가 진행되고, 점점 개개의 유적이 연소하는 단적연소의 형태로 바뀌었다.

(3) 에탄올, 등유, 데칸은 각각 연소반응이 느리게 발생하는 경우(경우1)와 빠르게 발생하는 경우(경우2)가 관찰되었는데, 이는 유적군의 유적의 유적 입경 분포의 차이 때문으로 사료된다.

(4) 본 연구에서 데칸과 에탄올의 연소속도의 차이는 에탄올의 증발률이 데칸에 비해 높기 때문에 연소속도가 빨라진다고 생각되어진다.

참고문헌

- (1) Yukio M., 2000, Combustion Engineering, Dong Hwa Tech. Publishing Co., Seoul, pp. 168~169.
- (2) Hong J.G., Kim H.J., Lee C.W., The Characteristic of Swirl Combustion in Gas Turbine Combustion, *KSME*, Vol.20, No. 8, pp. 2721~2730.
- (3) Chiu, H.H., Kim, H.Y. and Croke, E.J., 1982 "Internal Group Combustion of Liquid Droplets," *Nineteenth Symp. (Int.) on Combust.*, pp.971~980
- (4) 赤松史光, 中部主敬, 水谷幸夫, 香月正司, 1994, "豫混合噴霧流中で燃焼する 油滴群の光學的計測," *日本機械學會論文集*, 60-577B, pp. 3172~3178,
- (5) 赤松史光, 水谷幸夫, 香月正司, 津島將司, 趙庸

- 大, 1996, "豫混合噴霧流の油滴群燃焼舉動と群燃焼數," 日本機械學會論文集, 62-596B, pp. 1622~1628,
- (6) Grehan, G and Gouesbet, G., 1979, *Mie Theory Calculations : New Progress, with Emphasis on Particle Sizing*, Applied Optics, Vol.18, No. 20.
- (7) 尾上守夫, 1987, 畫像處理ハンドブック, 昭晃堂, pp. 266~273.(7)
- (8) Hiroyasu Saitoh, Shohji Tsushima, Masaaki Negoro, Fumiteru Akamatsu, Masashi Katsuki, 2000, "Observation of Flame Propagation in a Premixed-spray Stagnation Flow," *10th International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics*.