

## GDI 분무의 기·액상 분포를 통한 분무의 성장 특성

### Characteristics of Spray Development from Vapor/Liquid Phase Distribution for GDI Spray

황순철\*, 최동석\*\*, 김덕줄\*\*  
Soon-Chul Hwang, Dong-Seok Choi, Duck-Jool Kim

#### ABSTRACT

The purpose of this research is to obtain the information of the development process of a vaporizing GDI spray using exciplex fluorescence method. Fluorobenzene/DEMA system was used as the exciplex-forming dopants. The 2-D spray images of liquid and vapor phases were acquired, and the behavior of both phases was analyzed by the image processing. The experiment was performed at the three different ambient pressures and the ambient temperature of 273K and 473K. As the result of this work, it was found that the development characteristics of GDI spray have stronger effect on the ambient pressure than on the ambient temperature. With an increase of ambient pressure, the distribution of vapor phase was decreased and the concentration of that was denser. Two regions, namely cone and mixing regions could be identified from those results.

주요기술용어 : Gasoline direct injection(가솔린 직접 분사), Exciplex(여기상태 혼합물), Exciplex fluorescence method(Exciplex 형광법), High pressures swirl injector (와류형 고압 인젝터), Spray characteristic(분무특성)

#### Nomenclature

A : area  
d : nozzle diameter of injector  
I : fluorescence intensity  
L : spray penetration length

$P_a$  : ambient pressure  
 $T_a$  : ambient temperature  
 $t_i$  : time after injection start  
W : spray width  
Z : axial distance from injector tip  
 $\rho$  : density of fuel

#### Subscripts

ave : average value  
liq : liquid phase  
vap : vapor phase  
max : maximum value

\* 회원, 부산대학교 대학원

\*\* 회원, 부산대학교 기계기술연구소

## 1. 서 론

GDI 방식은 기존의 가솔린 기관과는 달리 실린더 내에 연료를 직접 분사하기 때문에 실린더 내에서 일어나는 연료분무의 분포저동과 공기·연료의 혼합기 형성과정에 대한 이해가 매우 중요하다.<sup>1-3)</sup> 또한 고온, 고압 분위기에서 발생하는 분무의 증발 현상에 대한 이해를 더욱 필요로 한다. 따라서 분무실 및 기관 내의 혼합기의 공간적 분포를 계측하는 방법으로서 최근 exciplex 형광법을 이용하여 연료의 공간 분포를 해석하려는 연구가 활발하게 시도되고 있다.<sup>4)</sup> Exciplex 형광법은 1983년 Melton<sup>5)</sup>에 의해 새로운 계측기법으로서 제시되었다.

Ghandi 등<sup>6)</sup>은 플루오로벤젠/DEMA/헥산 혼합물을 사용한 exciplex 형광법으로서 공기 보조형 인젝터에 대한 기·액상 분무의 분리가시화를 시도하였다. Froba 등<sup>7)</sup>은 TEA/벤젠/이소옥탄 혼합물을 사용한 exciplex 형광법으로서 교정을 통한 정량화와 기관내에서의 기·액 분리가시화를 시도하였다. 그러나 선행 연구<sup>6)</sup>에 따르면 TEA/이소옥탄 시스템은 플루오로벤젠/헥산 시스템에 비해 첨가물들의 증발특성이 선형적이지 못하다. 따라서, 저자 등<sup>8,9)</sup>은 플루오로벤젠/DEMA/헥산 시스템을 사용한 exciplex 형광법으로서 증발조건에서 GDI 인젝터를 대상으로 액상과 증기상의 발달 과정을 가시화하고 증기상의 정량화를 수행한 바 있다. 그러나, 분위기 조건의 변화에 따른 GDI 분무의 기·액상의 변화 특성은 여전히 그 연구가 부족하다.

본 연구는 상용 GDI 인젝터를 대상으로 exciplex 형광법을 사용하여 실제 기관에서의 GDI 혼합기의 형성과정을 해석하기 위한 기초 자료를 얻기 위해, 정적분위기에서 분위기 압력에 따른 분무의 기·액상의 성장 특성을 조사하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

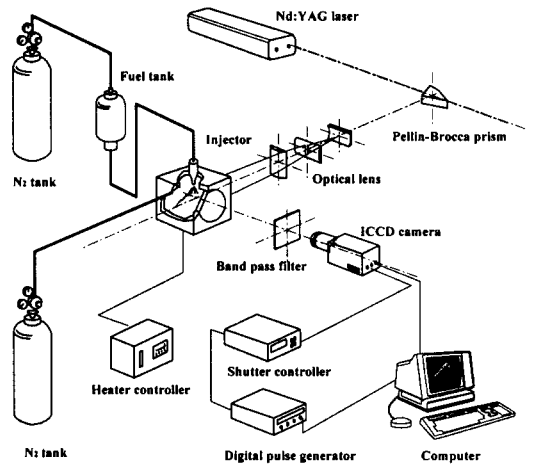


Fig. 1 Experimental setup

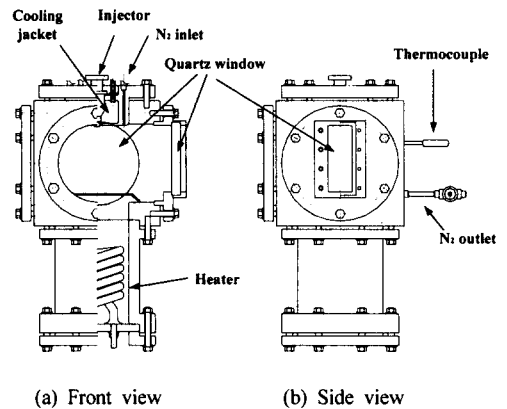


Fig. 2 Schematic of spray chamber with constant volume

Fig. 1 은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 크게 GDI 분사계와 분무실, 광학계 및 화상취득장치, 신호 처리계로 구성되어 있다. 본 실험에서의 분사계는 와류형 고압인젝터, 연료탱크 및 가압용 질소 탱크로 구성되어 있다. 연료의 분사압력은 블레더형 연료탱크에 질소로 가압하여 조절함으로써 분사시 발생하는 맥동과 압력변동을 줄일 수 있도록 하였다. Fig. 2는 정적 분무실의 개략도이다. 정적 분무실의 재질은 알루미늄이며, 가시창으로 직경 130mm, 두께 13mm인 석영창을 설치하였다. 분무의 측

면과 하부에 히터를 설치하고, 열전대(k-type)를 삽입하여 온도 조절기를 통해 분무실 내의 온도를 조절하였다. 그리고 냉각수를 분무실 상부에 설치된 냉각용 재킷으로 순환시켜 인젝터의 과열을 방지하였다.

광원으로는 UV영역의 10Hz Nd-YAG레이저(60mJ/pulse)의 4차 조화파(266nm)를 사용하였다. Pellin-Brocca 프리즘으로 266nm와 532nm의 광을 분리하여 266nm의 광만을 원통형 렌즈와 구면렌즈의 조합으로 평면광을 만들어 분무실 내로 조사하였다. 형광화상의 취득은 이중 MCP(Micro-Channel Plate)가 장착된 ICCD 카메라를 사용하였다. MCP 개인은  $10^6$ , 화소의 크기는  $8.4 \times 9.8 \mu\text{m}$ 이고 해상도는  $640 \times 480$ 이다.

## 2.2 실험방법

Table 1은 본 실험에 사용된 연료의 물성치를 나타낸 것이다. 가솔린은 복합 물질로서 미소한 자연형광의 발생으로 오차가 발생하며, 비등점도 균일하지 않아 실험 용매로 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서 가솔린을 대신하기 위해 가솔린의 성분중의 하나인 순수한 헥산을 용매로 사용하였으며, exciplex 형광을 발생하기 위한 첨가 물질로서 비등점이 용매와 유사한 플루오로벤젠과 DEMA(N, N-diethylemthylamine)를 체적 비로 각각 2%와 9% 혼합하였다. 헥산과 플루오로벤젠, DEMA는 비등점이 각각 342K, 357.7K, 337K로서 모두 가솔린의 비등점과 유사하며, 서로 비슷한 비등점을 가지고 있다. 따라서, 비등할 때 발생하는 용매와 형광물질간의 증발비의 차이를 줄일 수 있다.

Table 2는 본 실험의 조건을 나타낸 것이다. 액상과 기상은 따로 측정하였으며, 결과 분석을 위해서 각각 10회씩 화상을 취득하였다. 분석 결과 분사기간 내의 평균값과 각 측정값들간의 변화값 차이는 6% 내에 있음을 확인하였다. 분위기 기체는 불활성 기체인 질소를 사용함으로써 화염의 발생을 방지하고, 산소에 의한 형광의 소광현상을 줄였다. 분무의 성장 특성에 대한 분위

기 압력의 영향을 조사하기 위하여 압력을 0.1MPa, 0.5MPa, 1.0MPa로 바꾸어가면서 측정하였다. 분위기 온도는, 473K로 하였으며, 비등발 조건에서의 거동과 비교하기 위하여 293K에서의 액상의 화상도 취득하였다. 분사압력은 5.1MPa로 하였으며, 분사량은 실제 직분식 가솔린 기관에서의 회박 연소모드와 유사한 15mg으로 설정하여 분사기간은 2ms이 되었다. 분사시작 후 0.25ms 간격으로 3ms까지 측정하였다.

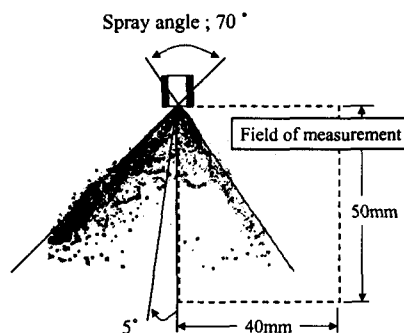


Fig. 3 Schematic of spray angle and field of measurement

Table 1 Physical properties of base fuel and dopants

	Hexane	Fluoro-benzene	DEMA
Molecular formular	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{F}$	$\text{C}_5\text{H}_{13}\text{N}$
Molecular weight	86.18	96.1	87.17
Density ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	663	1,024	720
Boiling point (K)	342	357.7	336~338
Mixture ratio (% by volume)	89	2	9

\*Gasoline( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ):  $T_{\text{boil}} = 300 \sim 500\text{K}$ ,  $\rho_{\text{fuel}} = 720 \sim 780 \text{ kg}/\text{m}^3$

Table 2 Experimental conditions

Ambient gas	Nitrogen	
Injection pressure (MPa)	5.1	
Injection quantity (mg)	15	
Ambient temperature (K)	Liquid	293, 473
	Vapor	473
Ambient pressure (MPa)	Liquid	0.1, 0.5, 1.0
	Vapor	0.1, 0.5, 1.0

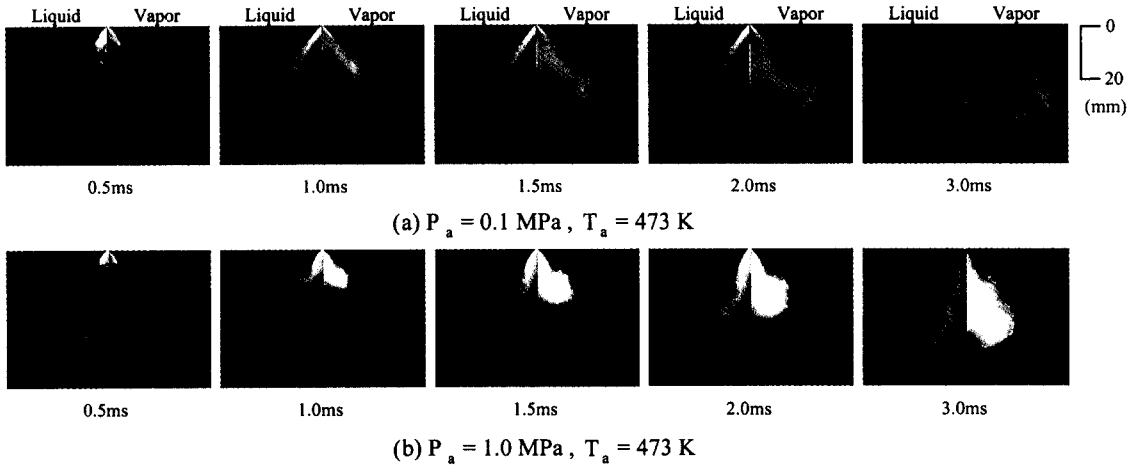


Fig. 4 Spray images of liquid(left side) and vapor(right side) phases at different pressures and  $T_a = 473K$

Fig. 3은 본 실험에 사용된 인젝터의 특성과 측정영역을 나타낸 것이다. 인젝터는 분무각이  $70^\circ$  인 GDI용 와류형 고압 인젝터를 사용하였다. 화상처리를 위한 측정영역은 그림과 같이 인젝터 팁으로부터 분무 축방향 50mm, 반경방향 40mm로 정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 분무의 거동

Fig. 4는 분위기 압력이 0.1, 1.0MPa이고, 분위기 온도가 473K인 경우 분사시작 후 시간의 변화에 따른 기상과 액상의 화상을 비교한 것이다. 각 그림은 측정영역으로 분리된 각 상에서 기·액상의 비교를 용이하게 하기 위해서 분무축을 중심으로 좌측은 액상, 우측은 기상으로 나열하였다. Fig. 4(a), (b)를 비교해 보면 분위기 압력에 따른 분무 형태의 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 분위기 압력이 낮은 Fig. 4(a)에서는 비교적 증공 원추형 형태를 잘 유지하면서 액상은 분무외곽에 밀집되어 있으며, 기상은 분무영역 전체에 걸쳐 넓게 분포하였다. 그러나 압력이 높아짐에 따라 Fig. 4(b)에서와 같이 기상과 액상 모두 분무의 선단에 와가 형성되며 뭉쳐지는 것을 관찰할 수 있다. 또한 기상의 형광강

도가 높아진 것으로 보아 고농도로 밀집되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 서로 다른 분위기 압력과 온도에서 기상과 액상에 대한 관통길이의 변화를 구한 것이다. 여기서 관통길이는 인젝터 팁으로부터 분무 최대 선단까지의 길이로 정의하였다. 좌측 종축은 액상의 상대 관통길이( $L/L_{max}$ )로서 전 실험 조건에서의 최대 관통길이( $L_{max}$ )에 대한 관통길이( $L$ )의 비로서 나타내었다. 분위기 압력 0.1MPa과 0.5MPa 사이에서는 상대 관통길이의 시간 변화에 따른 차이가 큰 것을 알 수 있다. 그러나, 0.5MPa과 1.0MPa 사이에서는 상대적으로 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 분위기 압력과 온도가 0.1MPa, 293K인 조건에서는 관통길이가 거의 일정한 기울기를 가지며 최대값에 도달하고 있다. 이것은 분위기 압력이 낮음으로 인해 분위기기체의 영향을 거의 받지 않고 본래 액적이 가지고 있던 운동량을 비교적 그대로 유지하고 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 압력이 높은 경우에는 기울기가 점점 완만해지는데, 이것은 분위기 기체의 밀도가 높아짐에 따라 분위기 기체와 액적 간의 마찰항력이 커짐으로 운동량의 소산이 일어나고 성장속도가 감소하기 때문이다.<sup>10)</sup> 또한, 분위기 기체의 온도가 증가함에 따라 액상의 성장크기는 감소하게 된다. 그러나, 압

력에 따른 영향에 비해서 그 영향은 작았다.

Fig. 5의 우측 종축은 분위기 온도가 473K일 때 압력에 따른 기·액 관통길이비( $L_{vap}/L_{liq}$ )로서 액상의 관통길이( $L_{liq}$ )에 대한 기상의 관통길이( $L_{vap}$ )의 비로서 나타낸 것이다. 이것이 1.0이 되면 액상과 기상의 관통길이가 동일함을 나타낸다. 분사 후 초기에는 모두 1.0 이하로서 기상보다 액상의 성장이 크다. 그러나, 시간이 지남에 따라 기·액 관통길이비가 증가한다. 그러나 압력이 높을 경우 분사 후 1.5ms 이후로 약 1.2 정도의 값을 유지하고 있어, 기상과 액상이 일정한 비율로 성장하고 있음을 알 수 있다.

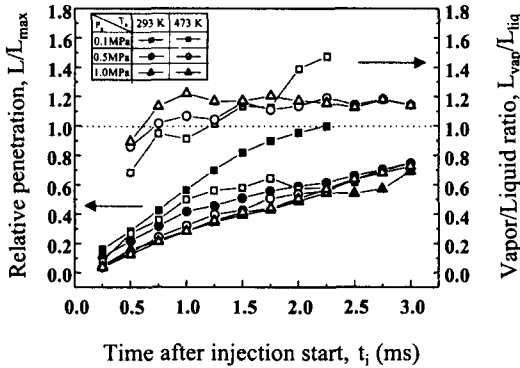


Fig. 5 Relative liquid spray penetration and liquid/vapor ratios

Fig. 6은 분위기 기체의 조건에 따른 액상과 기상 분무폭의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 분무폭은 분무축으로부터 반경방향으로의 최대폭으로 정의하였다. 좌측 종축은 액상의 상대 분무폭( $W/W_{max}$ )으로서 전체조건에서의 최대 분무폭( $W_{max}$ )에 대한 분무폭( $W$ )의 비로 나타낸 것이다.

액상의 분무 반경방향으로의 성장도 축방향으로의 변화에서와 마찬가지로 분위기 기체의 압력과 온도가 증가함에 따라 감소하였다. 그리고 분사 후 시간의 경과에 따라 반경방향의 성장크기가 감소하여 완만하게 되는 것을 볼 수 있다. 특히 분위기 온도 473K의 경우 그러한 점이 더욱 잘 나타나는데, 분위기 압력이 0.1MPa인 경우 분사

종료 후 2.0ms를 전후하여 상대 분무폭이 오히려 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 분무 반경 방향으로의 액상의 분열과 증발이 매우 활발하여, 분무 외곽의 액상이 급격하게 감소하기 때문이다.

Fig. 6의 우측 종축은 기·액 분무폭 비( $W_{vap}/W_{liq}$ )를 나타내는 것으로 액상의 분무폭( $W_{liq}$ )에 대한 기상의 분무폭( $W_{vap}$ )의 비로 나타낸 것이다. 기·액 분무폭비는 기·액 관통길이비와는 달리 압력의 증가에도 불구하고 분사 후 1.5ms 이후로 그 비가 계속 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 액적의 분열과 증발이 활발하여 기상의 형성이 촉진되기 때문이다.

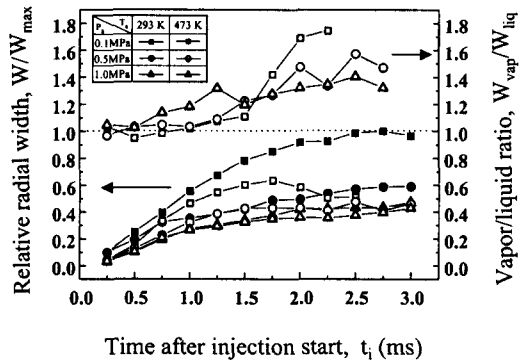


Fig. 6 Relative liquid spray radial width and liquid/vapor ratios

### 3.2 기·액상 분포의 변화

Fig. 7은 액상과 기상의 분포의 변화를 비교해 볼 수 있도록 액상과 기상의 분포영역을 외곽선으로 겹쳐서 나타낸 것이다. 분위기 온도는 Fig. 7(a), (b) 모두 473K이고, 분위기 압력은 각각 0.1MPa과 1.0MPa이다. 그림에서와 같이 압력의 차이에 따라 액상과 기상의 분포가 크게 변화였다. (a)의 경우, 액상은 본래 액적이 가진 운동 방향을 유지하면서 곧게 나아가는데 반해, (b)의 경우 분무각이 내부로 휘어지면서 종모양을 가지며 선단부위가 크게 외곽으로 휘어지는 것을 볼 수 있다. 기상의 경우, (a)에서는 빠르게 성장하는 액상 분무와 분위기기체의 상호작용으로 인해 시

간이 지남에 따라 그 분포형태가 크게 변하는 데 반해, (b)에서는 전체적으로 타원형의 분포형태를 유지하면서 성장하였다.

Fig. 8은 분위기 온도가 473K이고, 분위기 압력이 0.1MPa과 1.0MPa일 때의 분포 면적비를 나타낸 것이다. 각각의 분포 면적은 취득한 분무 화상을 처리하여 각 화상의 분무 면적(A)를 구한 다음, 최대 분무 면적( $A_{max}$ )에 대한 비로 나타내었다.

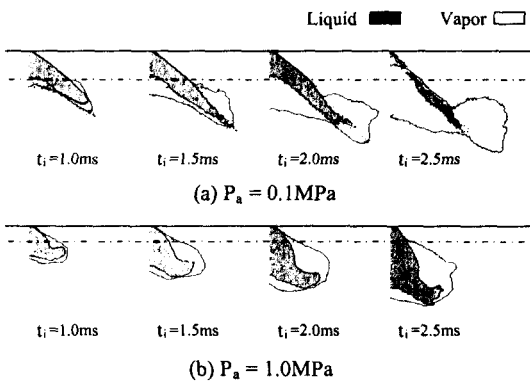


Fig. 7 Traces of liquid/vapor spray outline at different pressures and  $T_a = 473K$

분위기 압력이 0.1MPa인 경우 액상의 면적비의 변화를 살펴보면, 분사개시 후 성장하던 면적이 1.0ms에서부터 분사가 종료되는 2.0ms까지 거의 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 즉 분사 후 1.0ms에서부터 분사가 종료되는 시점까지 액상의 분포는 거의 일정한 형태를 유지한다는 것을 알 수 있다. 동일한 조건에서의 기상 면적비의 변화를 살펴보면, 액상과는 달리 일정한 크기로 계속 증가하고 있으며, 액상이 완전히 소멸되는 2.5ms를 전후하여 증가가 둔화되는 것을 볼 수 있다. 분위기 압력이 1.0MPa인 경우에는 0.1MPa의 경우와 그 특성이 매우 다른 것을 확인할 수 있는데, 분사가 시작된 이후 분사가 종료되는 2.0ms까지도 액상이 계속 천천히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 분위기 압력의 상승으로 인해 분위기 기체에 의한 항력이 증가되고 액상이 성장하지 못하고 응축되어 분위기 기체와의

원활한 상호작용을 방해받기 때문이다. 따라서 0.1MPa의 경우에 비해 상대적으로 증발량이 줄어들게 되고 액상의 분포가 계속 증가하는 형태가 되는 것으로 생각된다. 동일한 조건에서의 기상의 분포를 살펴보면 분위기 압력이 낮은 경우 ( $P_a=0.1MPa$ )보다도 분포 크기가 작음을 알 수 있다.

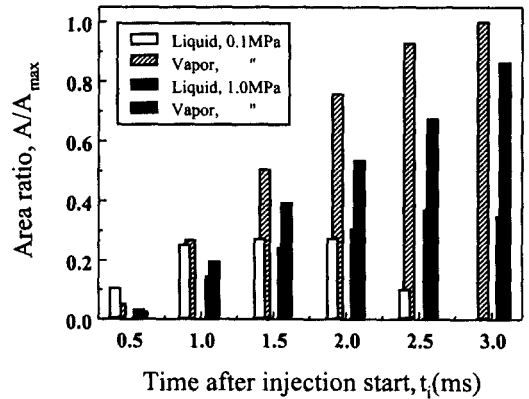


Fig. 8 Spray distribution area at different pressures and  $T_a = 473K$

측정 영역내의 분무 축방향에 따른 분무 분포의 변화를 명확하게 조사하고, 개략적인 농도의 변화를 예측하기 위해 퍼짐(N)과 평균강도( $I_{ave}$ )를 정의하였다. 분무 축방향(Z)에 따른 분무 영역만의 횡방향 폭을 화상의 화소값으로 구하여 퍼짐이라고 하였고, 영역내 각각 화소의 강도( $I_i$ )를 합한 다음, 다시 퍼짐으로 나누어 평균강도( $I_{ave} = \sum I_i / N$ )라고 하였다.

Fig. 9는 분무 축방향에 따른 (a), (b)조건에서의 퍼짐비( $N/N_{max}$ )의 변화를 구한 것이다. 각각의 퍼짐비는 퍼짐(N)을 구한 다음, 최대 퍼짐값( $N_{max}$ )에 대한 비로 나타낸 것이다. 종축은 각 조건에서 기상의 최대관통길이( $L_{max}$ )에 대한 관통길이(L)의 비로 나타낸 것이다. 먼저, 분위기 압력과 온도가 0.1MPa, 473K인 (a)를 보면, 인젝터 팁으로부터 상대 관통길이비 0.2 까지의 영역에서는 퍼짐비가 액상과 기상 모두 유사한 삼각 형태를 하고 있으며, 시간이 경과하여도 형태는

유지되다가 3.0ms에서 급격하게 모두 소멸되어 버리는 것을 알 수 있다. 그러나 나머지 영역에서는 액상과 기상의 차이가 확연하게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 액상은 축 하방향으로 가면서 급격한 감소를 보이다 소멸되는 반면에 기상의 경우에는 삼각형 형태로 오히려 급격한 기상 확산 영역이 발생하였다. 시간이 경과함에 따라 기상의 퍼짐비는 축방향으로 내려가면서 더욱 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 이것은 이 영역에서 액적과 분위기 기체와의 상호작용이 활발하여 분열과 증발로 인한 기상 발달 영역을 형성하기 때문인 것으로 생각된다. 분위기 압력이 1.0MPa이고 온도가 473K인 (b)에서의 퍼짐비의 분포는 (a)에서와는 매우 다른 양상을 나타내었다. (a)에서는 액상이 상부에 주로 분포하는 반면에, (b)에서는 액상이 전체적으로 축하방향으로 이동하면서 종모양으로 분포하였다. 액상의 선단 부위에서 돌출이 보이는데, 이것은 와의 형성으로 인한 것이다. 기상의 퍼짐비도 축하방향과 반경방향으로 성장하는 종모양을 이루고 있는 것을 볼 수 있다.

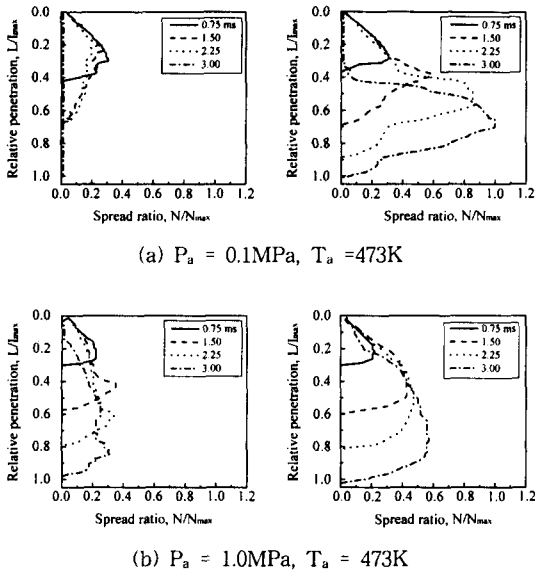


Fig. 9 Temporal change of spread ratio for liquid/vapor spray

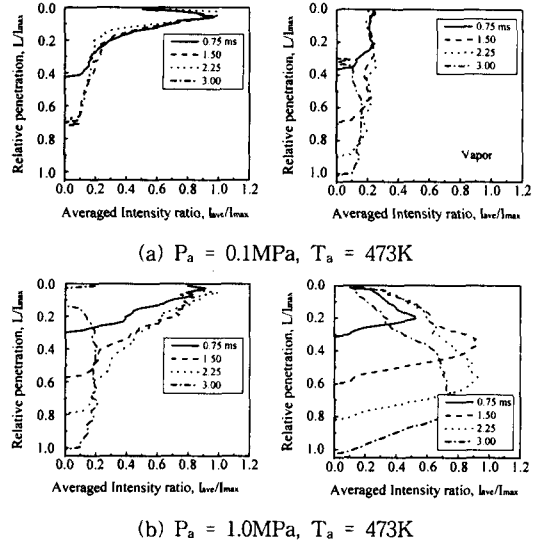


Fig. 10 Temporal change of averaged intensity ratio for liquid/vapor spray

Fig. 10은 분무 축방향에 따른 액상과 기상의 평균 강도비( $I_{ave}/I_{max}$ )의 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 각각의 평균 강도비는 취득된 다수의 화상에서 평균 강도( $I_{ave}$ )를 구한다음, 최대 평균강도( $I_{max}$ )에 대한 비로 나타낸 것이다. 종축은 각 조건에서 기상의 최대관통길이( $L_{max}$ )에 대한 관통길이( $L$ )의 비로 나타낸 것이다. 분위기 조건은 Fig. 10에서와 동일하다. (a)의 경우, 분무로부터 상대 관통길이비 0.2 까지의 영역에서 액상이 매우 높은 평균 강도비 값을 가지고 있는 것으로 보아 이 영역에서의 액상의 농도가 높다는 것을 알 수 있다. 그러나 축하방향으로 내려감에 따라 그 강도는 감소되며 소멸된다. 그러나 기상의 경우에는 액상의 평균 강도비와는 대조적으로 전체적으로 고른 평균 강도비 값을 가진다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 9와 관련하여 볼 때, 낮은 기압에서의 기상은 낮은 농도로 고르고 넓은 분포를 형성한다는 것을 알 수 있다. 상대적으로 높은 분위기 압력인 (b)를 보면, 액상에서는 (a)와 유사한 분포를 보이지만 기상에서는 매우 큰 차이를 나타내었다. 즉, 분무가 발달함에 따라, 분무의 하부 영역을 중심으로 강도가 강해지는

것을 볼 수 있다. 이것은 낮은 압력에서는 기상이 확산되어 넓고 고르게 분포하는데 반해, 높은 압력에서는 넓게 확산되지 못하고 좁은 영역의 고농도층을 형성하기 때문인 것으로 생각된다.

### 3.3 분무 구조의 구분

Fig. 9와 Fig. 10의 분석을 통해 GDI 분무의 기·액상의 분포에 대하여 인젝터 팁으로부터 상대 관통길이비 0.3에서 0.5 사이의 범위에서 특성이 크게 변한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 액상이 주를 이루며 분무 발달 전 단계에 걸쳐 기·액상의 형태가 일정한 분무 상단 부분과 압력에 따라 큰 차이로 형태가 바뀌면서 전체적인 분무의 분포 특성을 결정짓는 분무 하단 부분으로 나눌 수 있다. 따라서 Fig. 11과 같이 상단과 하단의 구분을 특성에 따라 각각 원추 영역(cone region)과 혼합영역(mixing region) 이라고 정의하였다.

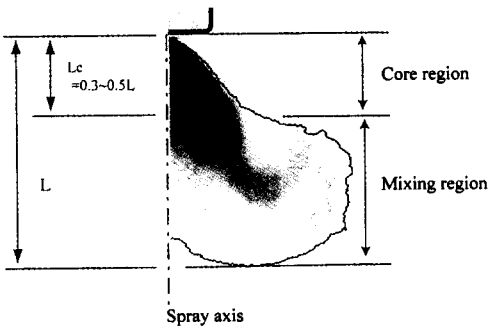


Fig. 11 Configuration of cone and mixing region for GDI spray

이러한 분무 구조의 구분에 따른 분포구조의 차이를 확인하기 위해 Fig. 12와 같이 인젝터 팁으로부터 각각 10, 20mm 떨어진 위치에서 반경 방향으로의 형광강도비 프로파일을 구하였다. 분위기 압력과 온도는 각각 0.1MPa과 473K이다. 액상은 실선, 기상은 점선으로 나타내었다.

원추 영역인 Z=10mm에서의 프로파일을 살펴 보면, 대부분의 액상이 분무외곽에서 존재하는 것을 볼 수 있다. 그리고 기상은 분무 내부에만

존재하며 액상의 외곽에는 거의 존재하지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 이 영역에서의 주 유동이 유입<sup>10)</sup>으로서, 분무외곽의 분위기 기체가 분무내부로 이동하여 상대적으로 운동량이 작은 기상은 내부로 같이 유입되기 때문이다. 혼합 영역인 Z=20mm에서는 액상의 형광강도가 작아졌으며, 기상의 분포도 시간이 경과함에 따라 분무 내부와 외부 전체에 걸쳐 확산되는 것을 볼 수 있어 이 영역에서 미립화와 증발이 활발함을 알 수 있다.

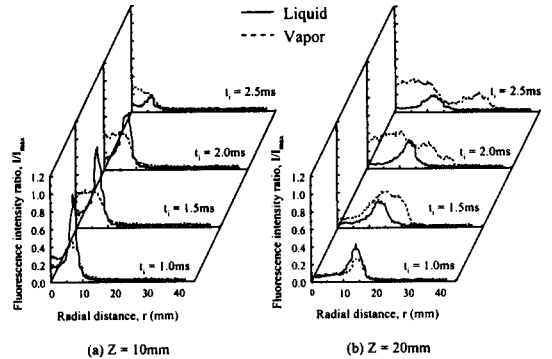


Fig. 12 Fluorescence intensity ratio at different distances from injector tip at  $P_a = 0.1\text{MPa}$  and  $T_a = 473\text{K}$

### 4. 결론

직분식 가솔린 분무를 대상으로 exciplex 형광법을 적용하여 분위기 조건의 변화와 시간의 경과에 따른 분무의 기·액상 분포특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 액상 분무는 분위기 압력과 온도가 증가할수록 분무의 축방향과 반경방향으로 성장이 둔화 되었다. 또한 온도의 영향보다 압력의 영향을 크게 받았다.
- 2) 기상은 분무 축방향보다 반경방향으로 더욱 활발하게 발달하였다.
- 3) 분위기 압력이 낮은 경우에는 기상이 넓고 고른 분포를 보이고, 높은 경우에는 좁은 영역에 고농도로 분포하였다.



4) 와류형 고압 분무를 분무의 분포 형태에 따라 원추 및 혼합 영역으로 나눌 때, 원추 영역의 경우 분무 형성 전반적으로 액상이 주도적 분무형태를 보이지만 분사가 종료되면서 급격히 소멸하였다. 또한, 혼합 영역의 경우 액상이 분위기 기체와 활발하게 혼합이 이루어지며, 액상이 증발되어 기상의 확산이 두드러지게 나타났다.

### 참 고 문 헌

- 1) Y. Iwanmoto, K. Noma, O. Nakayama, T. Yamauchi and H. Ando, "Development of Gasoline Direct Injection Engine" SAE 970541, 1997.
- 2) M. Wirth, W. F. Piock, G. K. Fraidl, P. Schoeggel and E. Winklhofer, "Gasoline DI Engine: The Complete System Approach by Interaction of Advanced Development Tools", SAE 980421, 1998.
- 3) F. Zhao, M.-C. Lai and D. L. Harrington, "Automotive Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines", Progress in Energy and Combustion Science, Vol.25, No.5, pp.437-562, 1999.
- 4) W. Ipp, V. Wagner, H. Kramer, M. Wensing and A. Leipertz, "Spray Formation of High Pressure Swirl Gasoline Injectors Investigated by Two-Dimensional Mie and Lief Techniques", SAE 1999-01-0498, 1999.
- 5) L. A. Melton, "Spectrally separated fluorescence emissions for diesel fuel droplets and vapor", Applied Optics, Vol.22, No.14, pp.2224-2226, 1983.
- 6) J. B. Ghandhi, P. G. Felton, B. F. Gajdeczko and F. V. Brocco, "Investigation of the Fuel Distribution in a Two Stroke Engine with and Air-Assisted Injector", SAE 940394, 1994.
- 7) A. P. Froba, F. Rabenstein, K.-U. Munch and A. Leipertz, "Mixture of Triethyl amine(TEA) and Benzene as a New Seeding Material for the Quantitative Two-Dimensional Laser-Induced Exciplex Fluorescence Imaging of Vapor and Liquid Fuel Inside SI Engines", Combustion and Flame, Vol. 112, pp. 199-209, 1998.
- 8) 최동석, 박형호, 김덕줄, "Exciplex 형광법에 의한 가솔린 직접 분무의 기상과 액상 분포 및 농도 측정", 대한기계학회 논문집 B권, 제 23권 제 4호, pp. 531-539, 1999.
- 9) 황순철, 최동석, 차건중, 김덕줄, "증발 조건에서 직분식 가솔린 분무의 증기 농도의 분포", 한국액체미립화학회지, 제 4권 제 4호, 1999.
- 10) A. H. Lefebvre, "Atomization and Spray", Hemisphere publishing Co., pp. 273-308, 1989.