

## 분무 상호 충돌에 의한 미립화 특성 Atomization Characteristics by Impingement of Spray

金 春 中 \*                      齋藤正浩 \*\*                      新井雅隆 \*\*  
Chun-Jung Kim      Masahiro SAITO      Masataka ARAI

### <Abstract>

This experimental study describes atomization characteristics of spray-spray impingement. Effect of the impingement location and angle on the penetration and the sauter mean diameter of the impinged spray were investigated. Experiment were performed under ranging from 50kPa to 250kPa spray pressure, ranging 30° to 135° angle on the penetration and free spray.

In the case of this experimental, sauter mean diameter  $D_{32}$  tends to decrease and duration of film disintegration  $t_f$  to decrease, when spray pressure and angle on the penetration is increased.

Sauter mean diameter  $D_{32}$  were about 20% to be smaller compared with a free spray to jet-jet impingement and 30% to be smaller compared with a free spray to spray-spray impingement.

**Key Words : Atomization, spray-spray impingement size distribution, Liquid lumps**

### 1. 서 론

액체연료의 미립화는 연소 실내의 농도 분포나 연료의 특성에 큰 영향을 미친다.

가솔린 기관에서 연료가 연소실 내에서 직접

분사하여 분무가 서로 충돌 하므로써 층상혼합기를 형성하는 것이 가능할 뿐 아니라, 층상 희박 연소가 가능하다고 생각된다.

지금까지 충돌미립화의 연구에는 디-젤 분무에 있어서 분공내, 노즐출구, 노즐출구 근처

\* 정희원 嶺南理工大學 機械科 教授 · 工博  
嶺南大學校 卒業 · 群馬大學(일본) 客員 教授  
705-037 대구광역시 남구 대명7동 1737  
\*\* 群馬大學 工學部 機械시스템工學科 教授  
376-8515 日本 群馬縣 桐生市 天神町 1-5-1  
E-mail : arai@me.gunma-u.ac.jp

Prof., Dept. of Mechanics Eng., Yeungnam College of  
Science & Technology  
1737 Taemyeung-dong, Nam-gu, Taegu, 705-037, Korea  
Prof., Dept., Mech., Sys., Eng., Faculty of Engineering  
Gunma University  
1-5-1 Tenjin cho Kiryu 376-8515 Japan

등에서 분류(jet)를 충돌시켜 분무의 특성을 조사 연구한 것이있고<sup>1)</sup> 분공(Spray hole)내 및 노즐 출구부에서 충돌시켰을 경우 분류의 충돌에 의한 액체미립자의 분열이 활발하게되어 분무의 농도저하가 일어난다는 연구가 있다.<sup>2)</sup> 또 가솔린 분사의 미립화 특성에 있어서는 분무의 평균입경이 분무 형성후 증가하는 경향이 있다.

이는 분무중에 액적(droplet)과 액적 간에 속도차가 있기 때문에 충돌 등을 포함한 액적충돌, 합체, 재분열 등의 현상이 있기 때문이다. 이와같이 분무중에 미소액적 사이에 충돌 및 그 후의 액적 거동의 특성을 연구하기 위하여 미소액적에 대한 충돌실험을 한 연구 보고도 있다.<sup>3)4)5)</sup>

일반적으로 충돌 미립화의 연구는 분류(jet)를 정면충돌 시켜서 미립화를 촉진시키는 방법으로 연구되어 왔으나<sup>6)</sup> 분무(spray)의 상호충돌에 대한 연구는 거의 없다. 따라서 분무가 충돌후에 분무중에 액적(液滴)이 재분열하는가 혹은 합체(amalgamation)하는가는 아직 해명되어 있지 않는 현상이다

본 연구에서는 가솔린 기관용의 EFI노즐을 사용하여 충돌형태를 분류-분류(jet-jet), 분무-분무(spray-spray)로 나누어 실험을 함으로서 충돌후 분무의 평균입경에 미치는 영향을 조사하였다 분무의 상호충돌은 충돌하는 분무의 입도분포, 분무의 밀도, 충돌각도 및 충돌위치에 따라 충돌후의 분무입경이랑 분무상태가 다르다. 따라서 분무의 충돌각도와 충돌위치를 변화시켜 실험하여 충돌후의 평균입경에 어떠한 영향을 미치는 가에 대하여 서도 조사하였다. 분무의 상호충돌에 관한 연구는 매우 흥미있는 현상중의 하나이다 본연구에서는 분무의 상호충돌에 관한 기초적인 연구로서 이것을 실험적으로 조사하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

그림1은 실험장치의 개략도 이다. 본 실험에서는 가솔린기관용의 일반적인 EFI시스템을 사용하였다. 압축기에서 가압된 공기를 연료탱크내로 보내어 시료액체(Smple liquid)를 2개의 인젝트(Pindle type injector, 코일저항 13.8Ω 최대유량 148( $cm^3/min$ ))로 분사 시켰다.

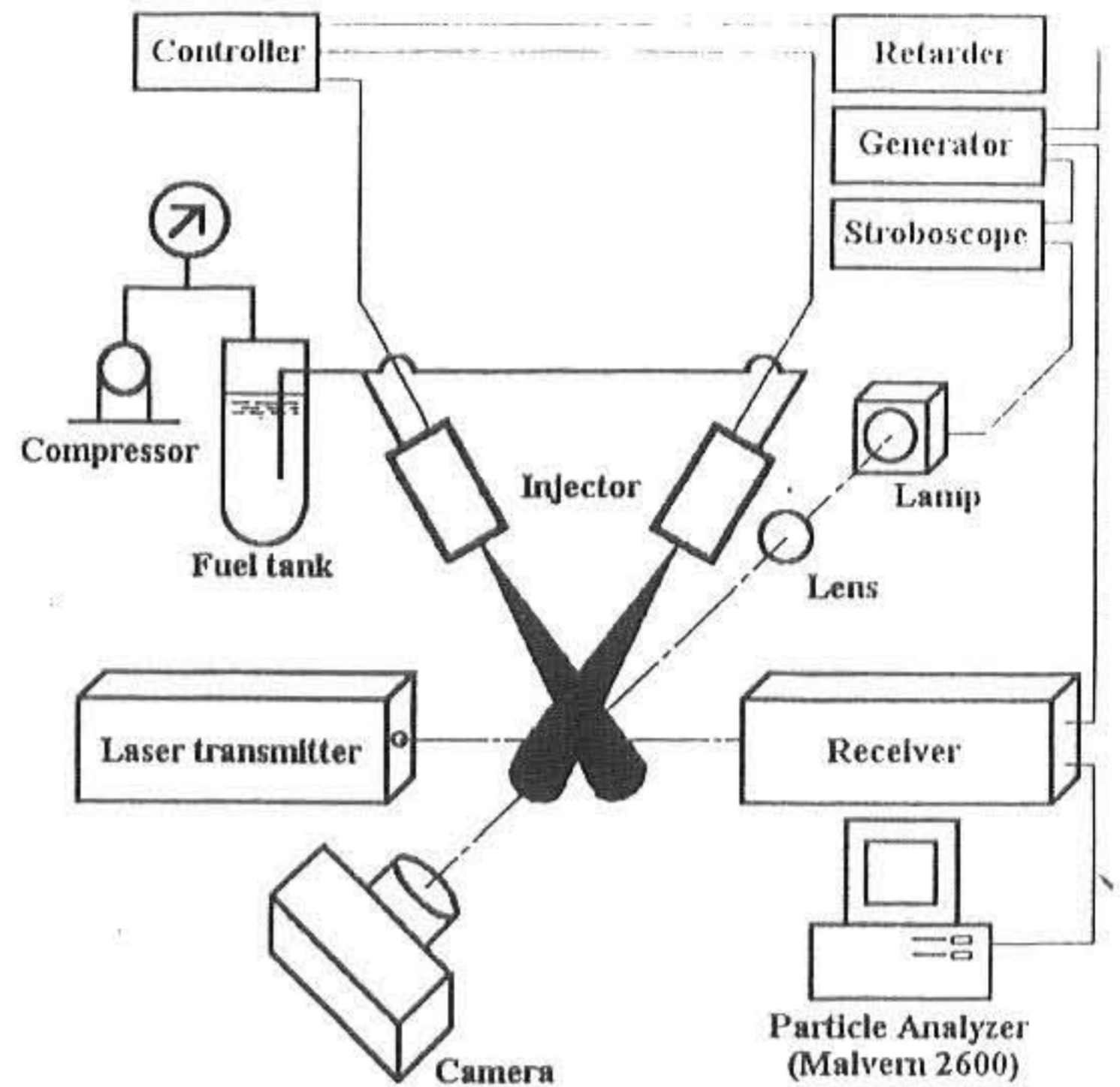
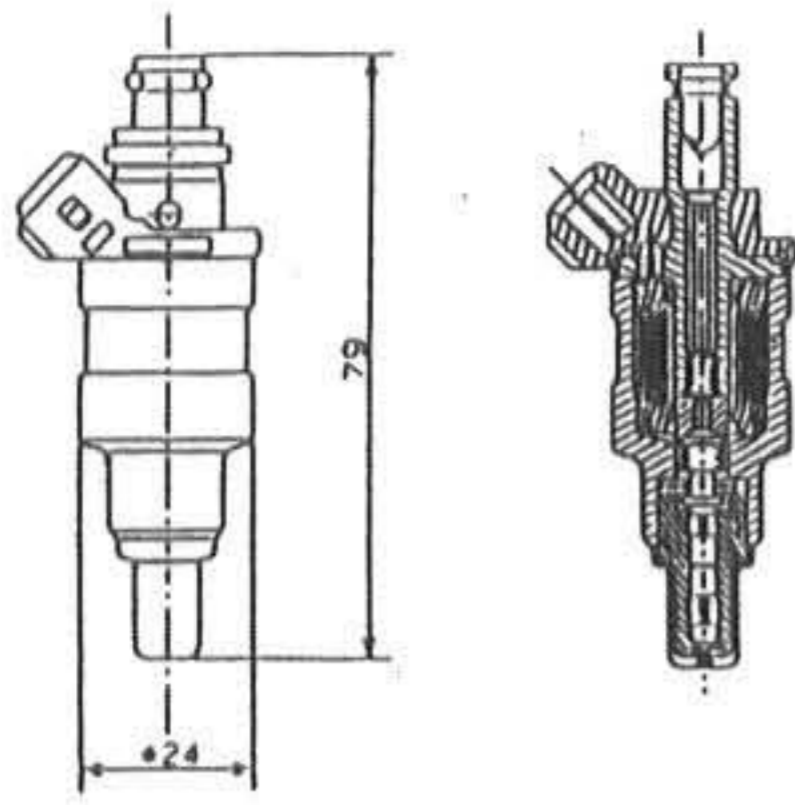


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

이 인젝트는 분사압력, 분무의 충돌위치 및 충돌각도를 임의로 변화시킬수 있도록 되어있다 또 제어장치(Controller: Sokken, P-SC257)에 의하여 분사주기 및 분사기간도 임의로 조정할수 있도록 되어 있다. 그리고, 여러조건에서 실험한 시료액체의 미립화 모양을 사진으로 촬영하였으며, 동시에 충돌후 분무의 평균 입경 및 입도 분포도 측정하였다.

분무의 평균입경 및 입도 분포는 브라운 호퍼(Fraunhofer) 회절상(diffraction image)에 의하여 측정하는 입경해석 장치(Malvern 2600C)를 사용하였다.

인젝터 개폐(open-close) 펄스(pluse)신호에 Digital Retarder(Sugawara,RE-306)로 지연을 시켜서 입도 해석 장치의 외부 트리거(Trigger) 신호에 의해 분무를 분사시켜 임의의 시각에 Sauter평균입경(Sauter Mean Diameter: SMD)을 측정하였다. 레이저(beam diameter : 9mm)는 분무 축에 대하여 수직으로 통과하도록 하였으며, 측정값은 광로상에 있어서의 시료액체의 평균입경이다. 시료액체는 에타놀(ethanal)과 증류수(distilled water)를 사용하였다.



EFI nozzle

Fig.2 Details of the nozzles

그림2는 실험에 사용한 노즐의 개략도이다. 가솔린기관 EFI용 인젝터로서, 노즐의 직경은 0.81mm이다. 분사기간은 2.5ms, 분사주기는 50Hz로 일정하게하여 분사압력을 50kPa에서 250kPa로 변화시켜 실험을 하였다. 그림3은 2개의 인젝터로부터 분출된 분무의 상호충돌을 나타낸 모형이다.  $\theta$ 는 충돌각도이고,  $Z_1$  및  $Z_2$ 는 각각 노즐에서 분출된 분무의 교차점까지의 거리이며  $Z_m$ 는 분무의 평균 입경을 측정할 측정점까지의 거리이다. 그리고  $S_{p1}$ 는 인젝터 NO.1에서 분출된 분무가 측정점에 도달 할 때까지의 거리이다.

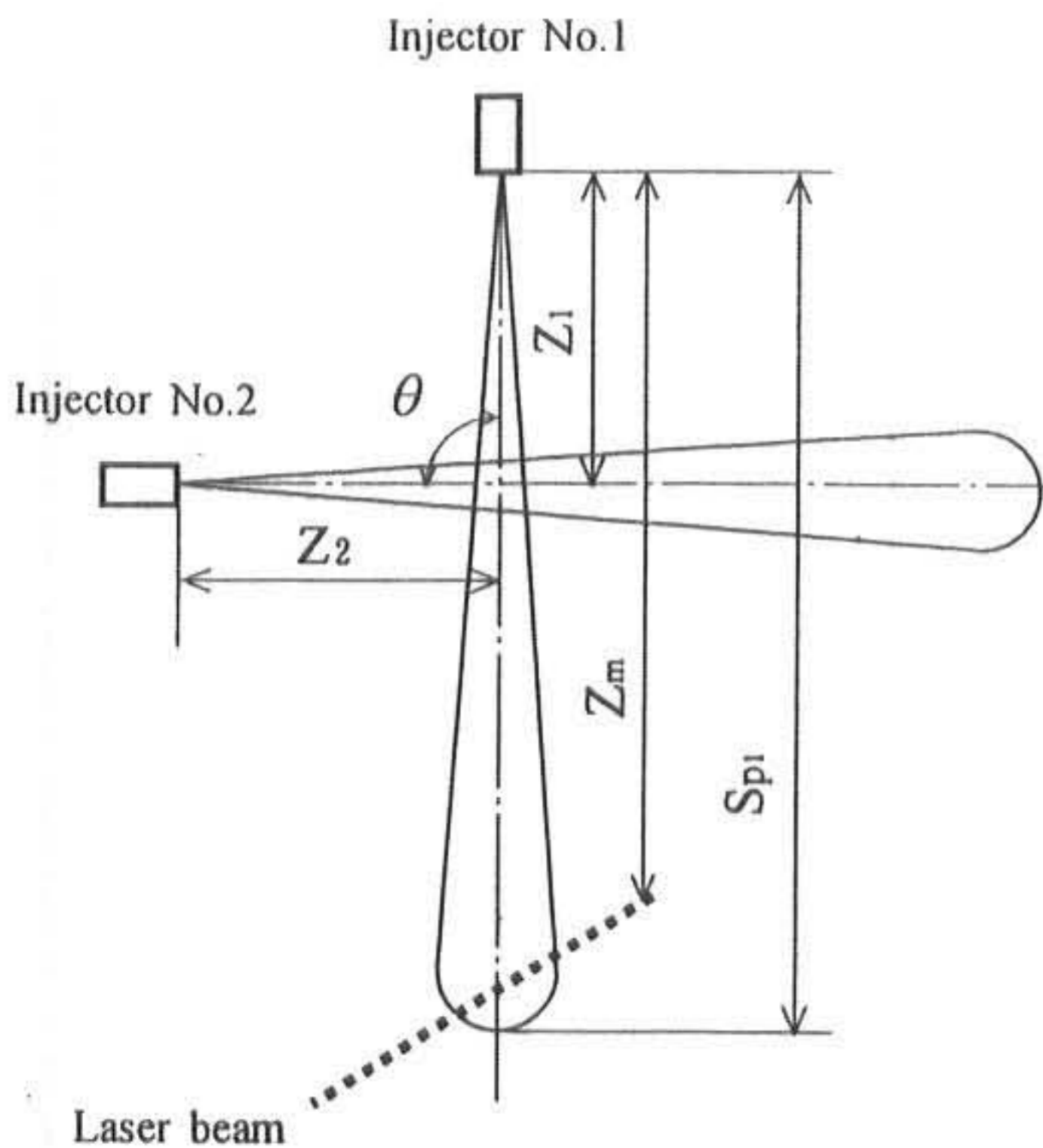


Fig.3 Mutual impingement spray system and its parameters

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 충돌방식에 의한 미립화 모양

##### a)분류-분류 충돌의 경우

그림4는 분류-분류에서 시료액체를 분류시켰을 경우 분류가 상호충돌 하였을 때 미립화 모양을 나타낸 사진이다. 충돌각도  $\theta=90^\circ$ , 충돌거리  $Z_1=Z_2=10mm$ 로써 분사압력  $P=250kPa$ 로 한 경우이다.

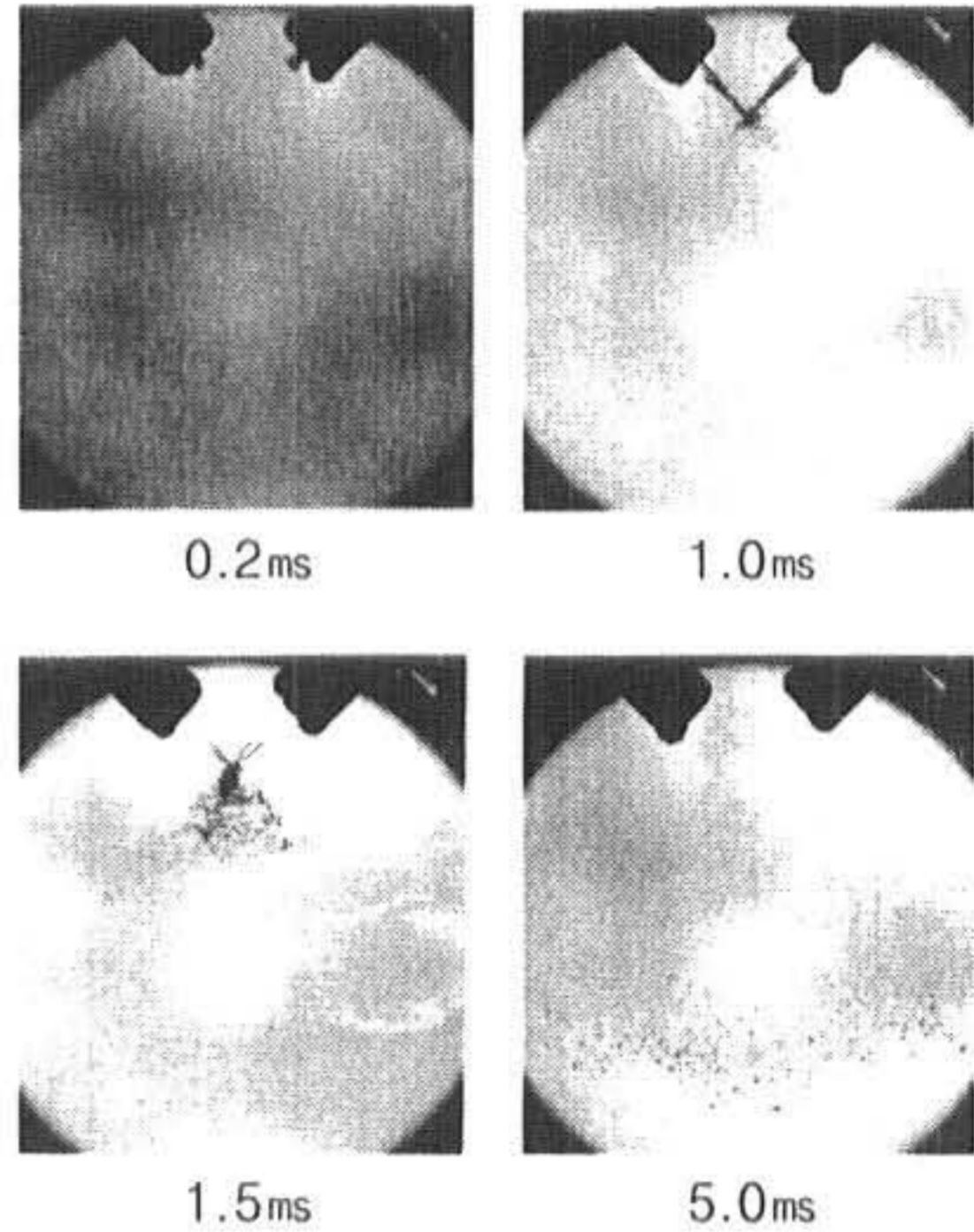


Fig.4 Photographs of the jet-to-jet impingement ( $\theta=90deg$ ,  $Z_1=Z_2=10mm$ ,  $P=250kPa$ ,  $f=50Hz$ ,  $\tau=2.5ms$ )

사진에서와 같이 노즐부근에서 분출된 시료액체가 분무가 되지 않고 분류(액주)상태로 되어있다. 이 상태로 상호충돌 시켰을 경우 미립화 특성을 조사하였다

충돌전에는 분류이지만, 분류끼리 충돌한 후에는 큰 액피(liquid lumps)로 되며, 시간이 경과함에 따라서 그 액피는 운동량의 합성방향으로 분열또는 분산되면서 최종적으로는 광범위하게 미세한 액적(droplet)으로 된다. 이 액피는 복수 액막의 집합체일 것이라 생각되며, 액피의 분열과정에서는 이 액막의 분열이 일어난다고 생각된다.

##### b)분무-분무 충돌의 경우

그림5는 분무-분무에서 분무된 시료액체가 상호충돌할 때 미립화 모양을 나타낸 사진이다. 충돌각도  $\theta=90^\circ$ , 충돌거리  $Z_1=Z_2=50mm$ 로써 분

사압력  $P=250\text{kPa}$ 로 한경우이다 사진에서와 같이 분출된 시료액체는 거의 분무상태이지만 분무의 중심에는 가는 액주가 보인다. 그 때문에 충돌직후의 미립화 모양은 분류-분류의 충돌에 비하여 액괴가 적으며, 그후는 운동량의 합성방향으로 막분열(membrane fission)되면서 광범위하게 미세한 액적으로 되어 간다.

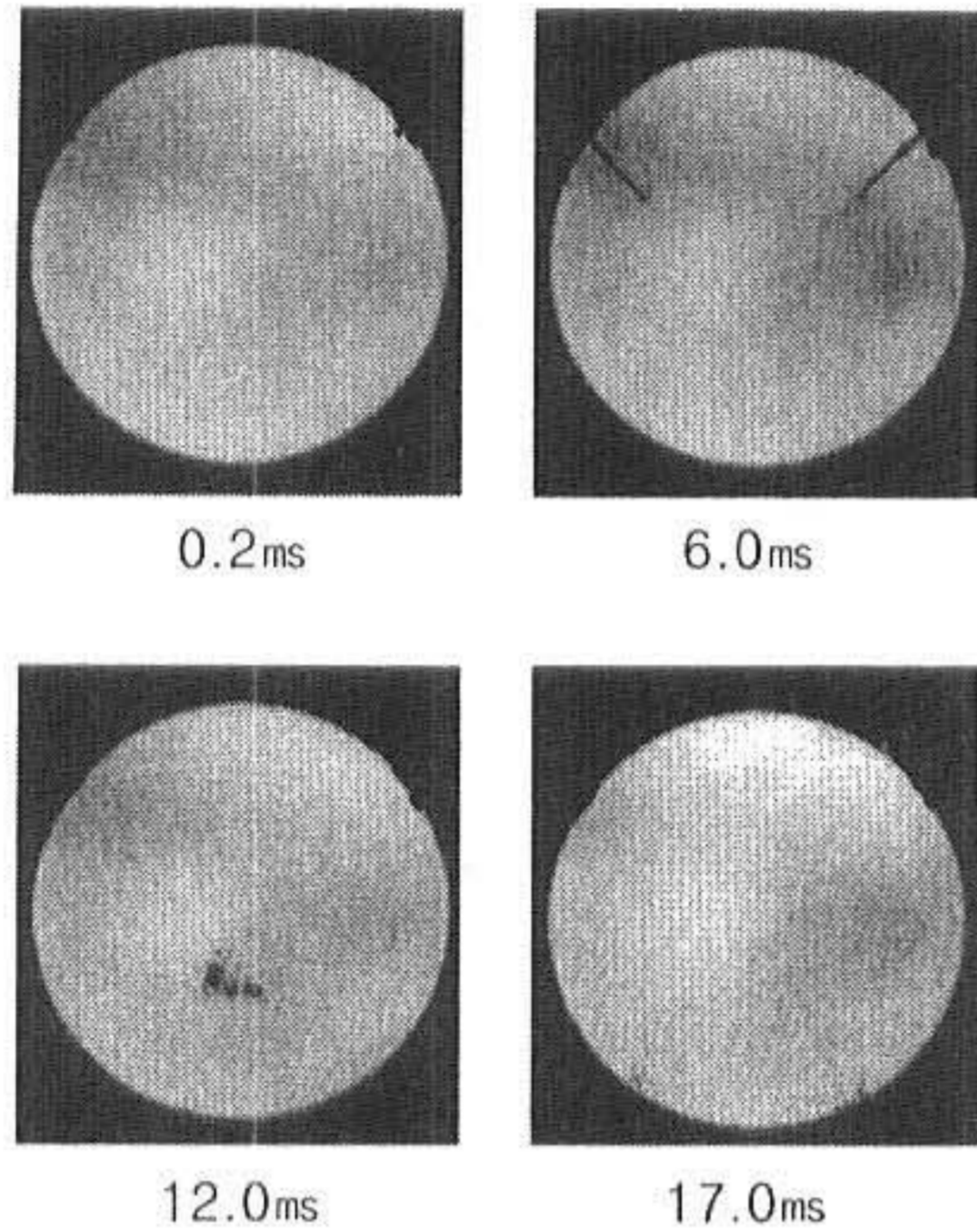


Fig.5 Photographs of the spray-to-spray impingement ( $\theta=90\text{deg}$ ,  $Z_1=Z_2=50\text{mm}$ ,  $P=250\text{kPa}$ ,  $f=50\text{Hz}$ ,  $\tau=2.5\text{ms}$ )

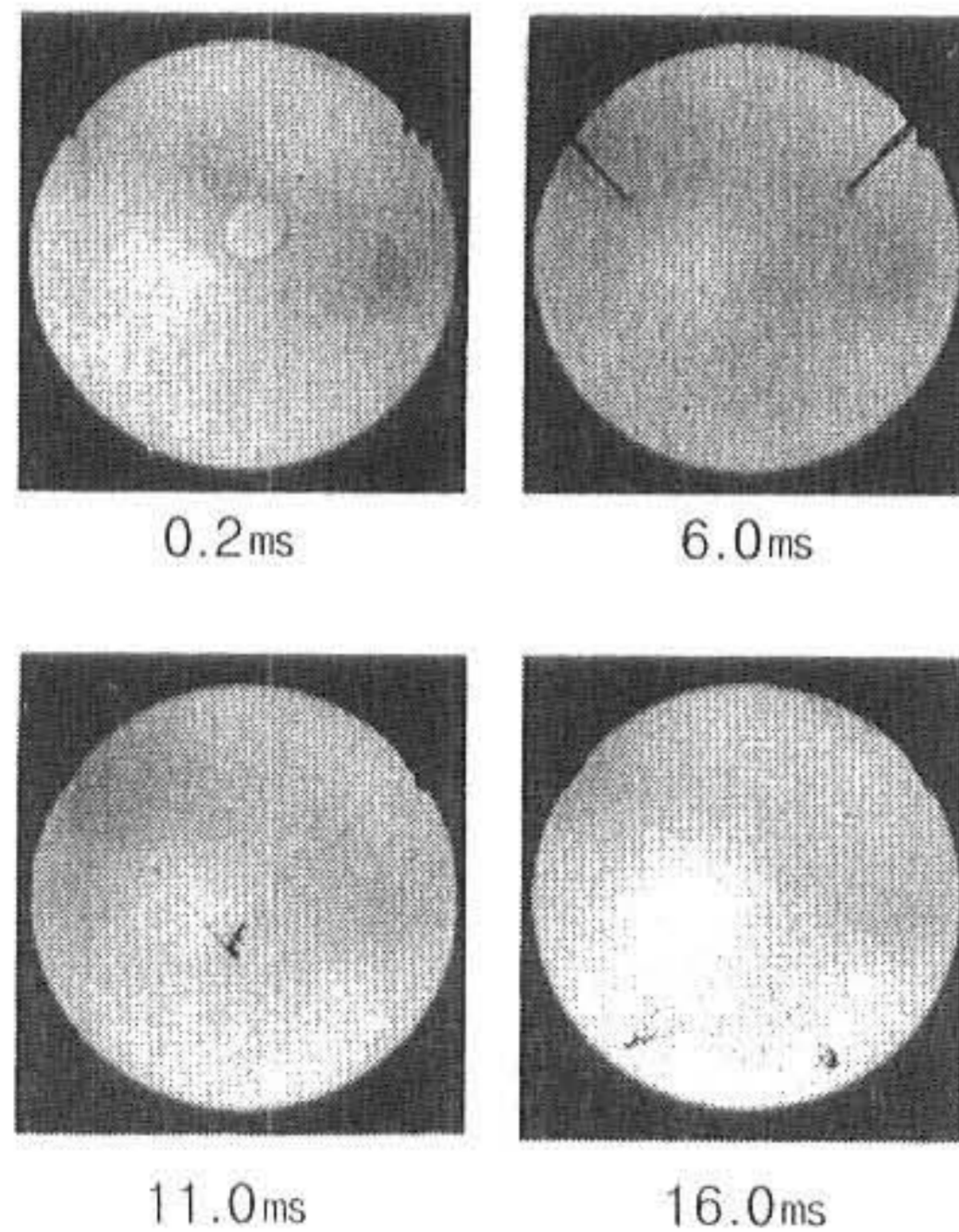


Fig.6 Photographs of the spray-to-spray impingement ( $\theta=90\text{deg}$ ,  $Z_1=Z_2=50\text{mm}$ ,  $P=250\text{kPa}$ ,  $f=50\text{Hz}$ ,  $\tau=2.5\text{ms}$ )

또, 액적사이의 충돌에 있어서는 그림5와 같이 액적과 액적이 정면으로 충돌하는 경우와 그림6과 같이 액적과 액적이 서로 쓰쳐가는 경우에는 완전히 충돌하는 경우와 같이 액막은 형성되지 않고, 마치 올챙이 꼬리와 같은 실을 끌고 있다 그러나 이 실은 시간이 지남에 따라 옆으로 넓어져가고, 더나아가 적은 액적으로 분산되어간다.

### 3.2액막의 분열시간

충돌에 의하여 형성된 액막이 시간이 지남에 따라 적은 액적군으로 분열되어지는 현상을 사진에 의하여 측정하였다.

여기서 액막분열시간의 정의는 분무가 충돌하는 시간으로 부터 액막의 형성 되면서 올챙이 꼬리부와 같은 가는실이 보이는데, 이실이 완전히 보이지 않을 때 까지의 시간을 액막분열시간 이라한다.

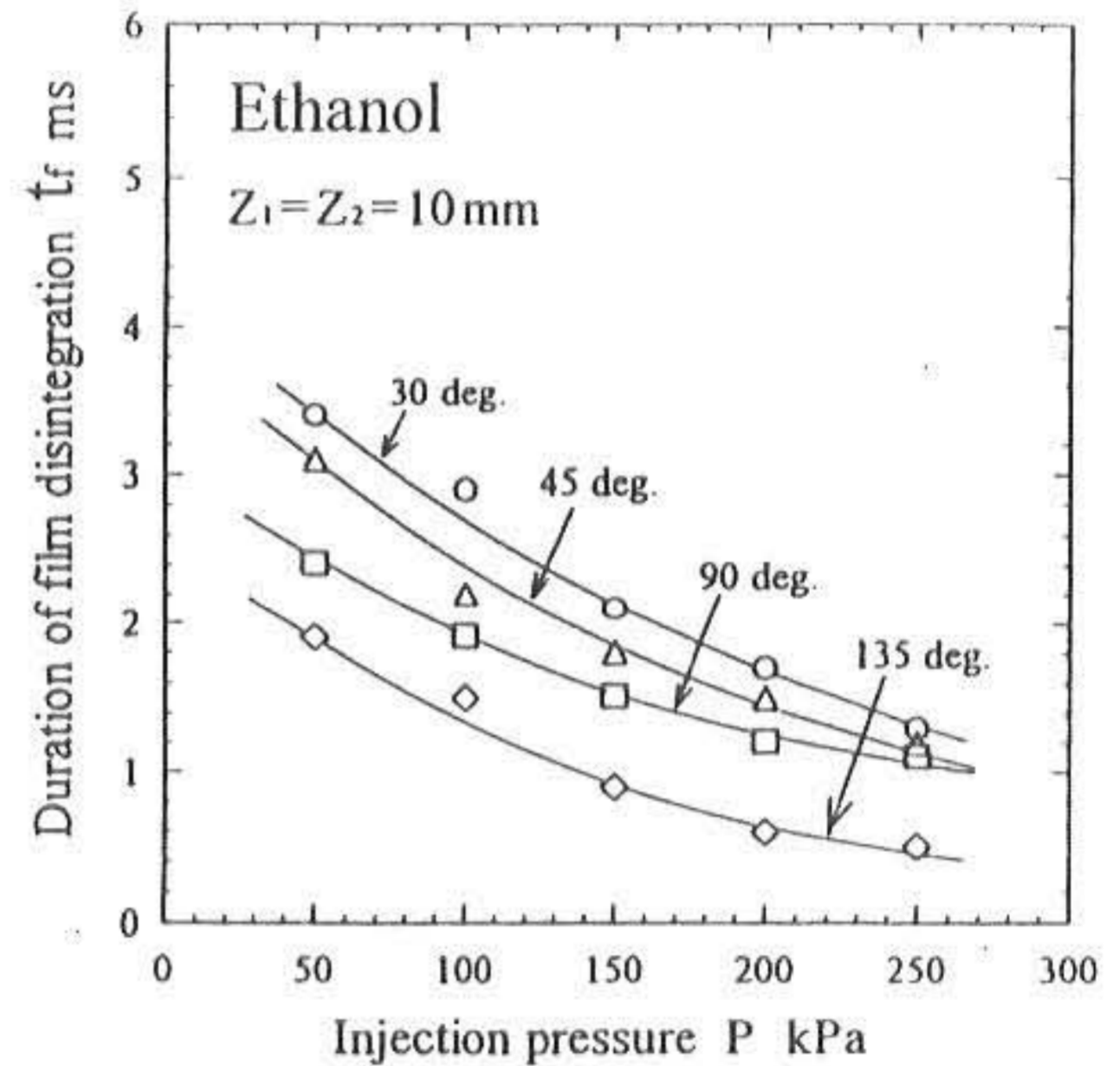


Fig.7 Duration of film disintegration for jet-to-jet impingement

그림7은 에타놀(ethanol)를 시료연료로하여 충돌거리  $Z_1=Z_2=10\text{mm}$ 의 분류-분류에서 충돌시켰을 경우 분사압력과 액막 분열시간과의 관계를 나타낸 것이다

가로축은 분사압력이고, 세로축은 액막분열시간이며,  $\bigcirc$ 는  $\theta=30^\circ$ ,  $\triangle$ 는  $\theta=45^\circ$ ,  $\square$ 는  $\theta=90^\circ$ ,  $\diamond$ 는  $\theta=135^\circ$  의 충돌각도를 나타낸 것이다.충돌각도를 변화시켜 액막분열시간을 조사하여보면 압력의 상승에 반비례하여 액막분

열시간은 짧아진다 이는 압력이 높을수록 분출 속도가 빨라서 충돌력(衝突力)이 크기 때문에 액막분열에도 영향을 미치는 것으로 생각된다. 또 충돌각도가 클수록 액막분열시간이 짧다. 이는 충돌각도가 클수록 충돌에 의한 분류혹은 분무의 상대속도가 크기때문인 것으로 생각된다.

그림8은 에타놀(ethanol)를 시료 연료로 하여  $Z_1=Z_2=50\text{mm}$  인 분무-분무에서 충돌 시켰을 경우 분사압력과 액막분열 시간과의 관계를 나타낸 것이다. 이 경우도 분류-분류의 경우와 같이 압력상승에 반비례하여 액막분열시간이 짧아진다. 분무-분무는 분류-분류에 비하여 미소하지만 액막분열시간이 짧다. 분무-분무의 충돌은 분류-분류의 충돌때보다 액피가 적기 때문이다 또한 분류-분류의 충돌에서는 분류-분류의 충돌각도가 클수록 액막분열시간이 짧다.

그림9는 증류수(distilled water)를 시료연료로하여 분류-분류를 충돌시켰을 경우이다. 그림 7의 에타놀 경우와 비교하면 전체적으로 액막 분열시간이 길다. 이것은 에타놀과 증류수의 표면장력의 차이에 의한 것이라 생각된다. 즉, 에타놀의 표면장력은  $0.0223\text{N/m}$ 이고, 증류수의 표면장력은  $0.0728\text{N/m}$ 이다. 따라서 에타놀의 경우 충돌에 의하여 형성되는 액막은 증류수의 경우에 비하여 분열되기 쉽기 때문에 액막 분열시간도 짧게 됨을 알 수 있다. 그림10은 증류수에 의한 분무-분무의 충돌을 나타낸 것이다.

에타놀의 경우와 비교해보면 전체적으로 액막의 존재시간이 길다. 그리고 압력의 증가와

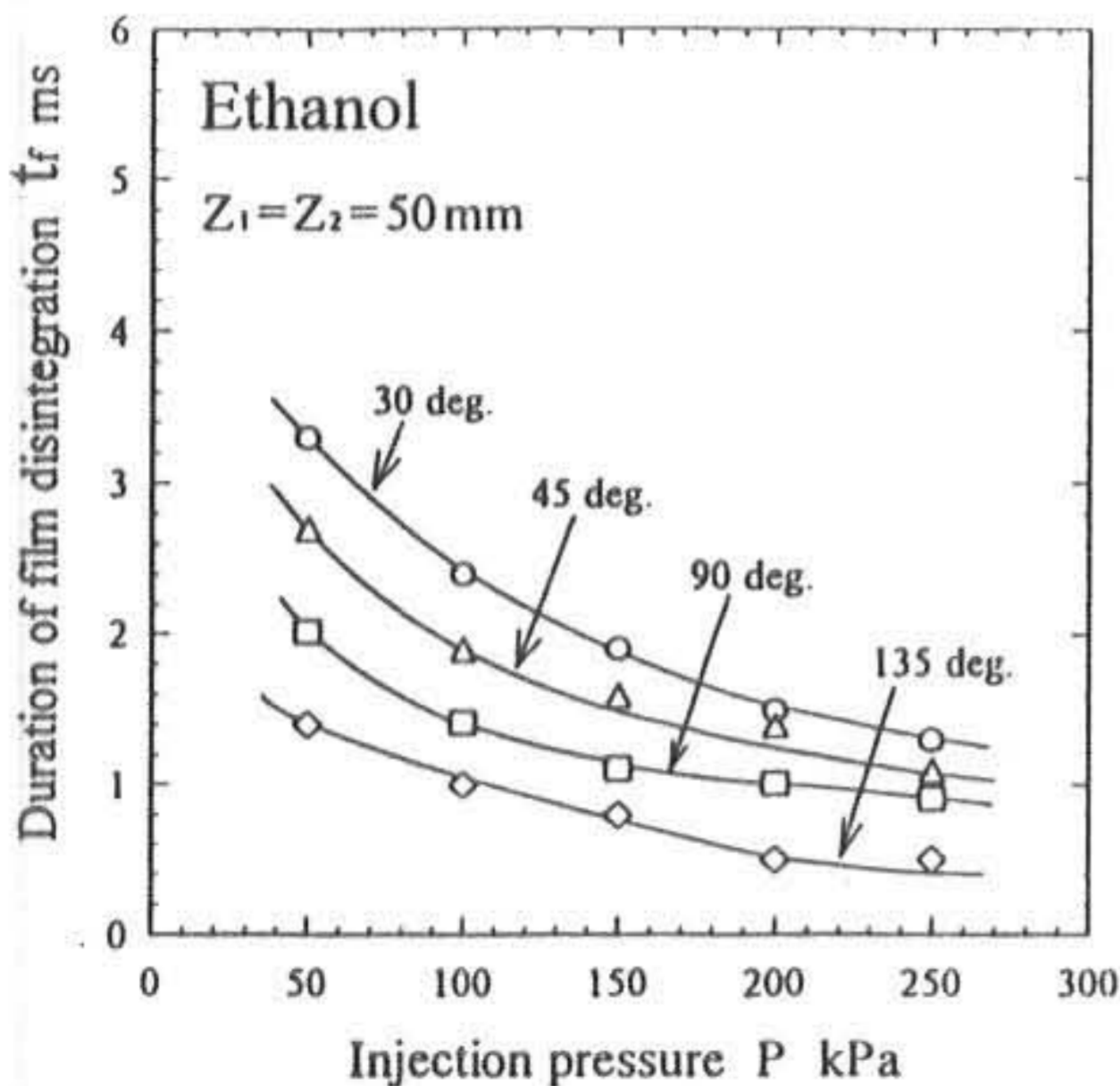


Fig.8 Duration of film disintegration for spray-to-spray impingement

함께 에타놀의 경우와 같이 액막분열시간이 짧아지지만, 분출각도가 클수록 액막분열시간의 변화는 거의 없다. 따라서 액막분열시간은 충돌 위치에 대한 영향은 거의 없다는 것을 알 수 있다.

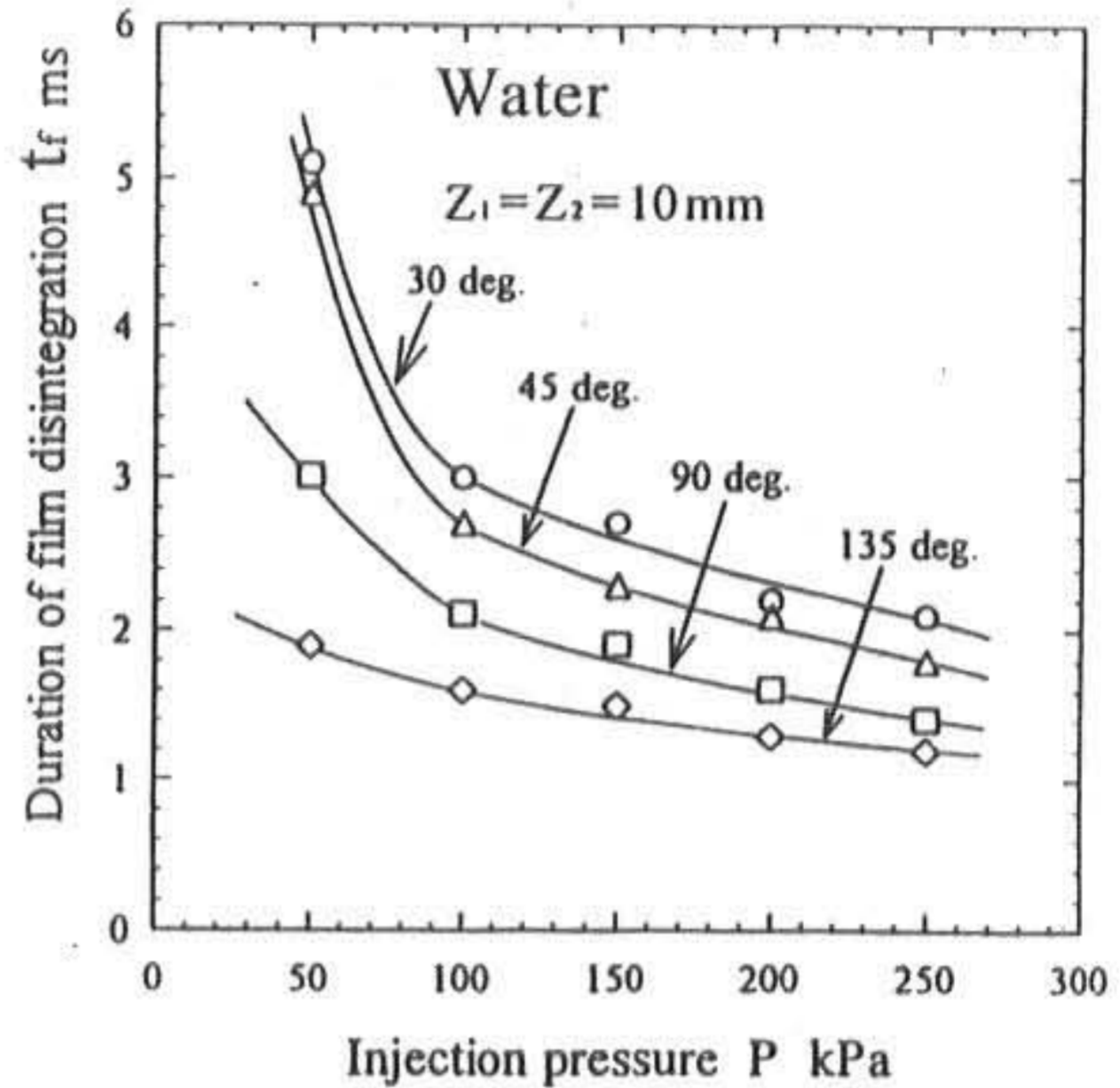


Fig.9 Duration of film disintegration for jet-to-jet impingement

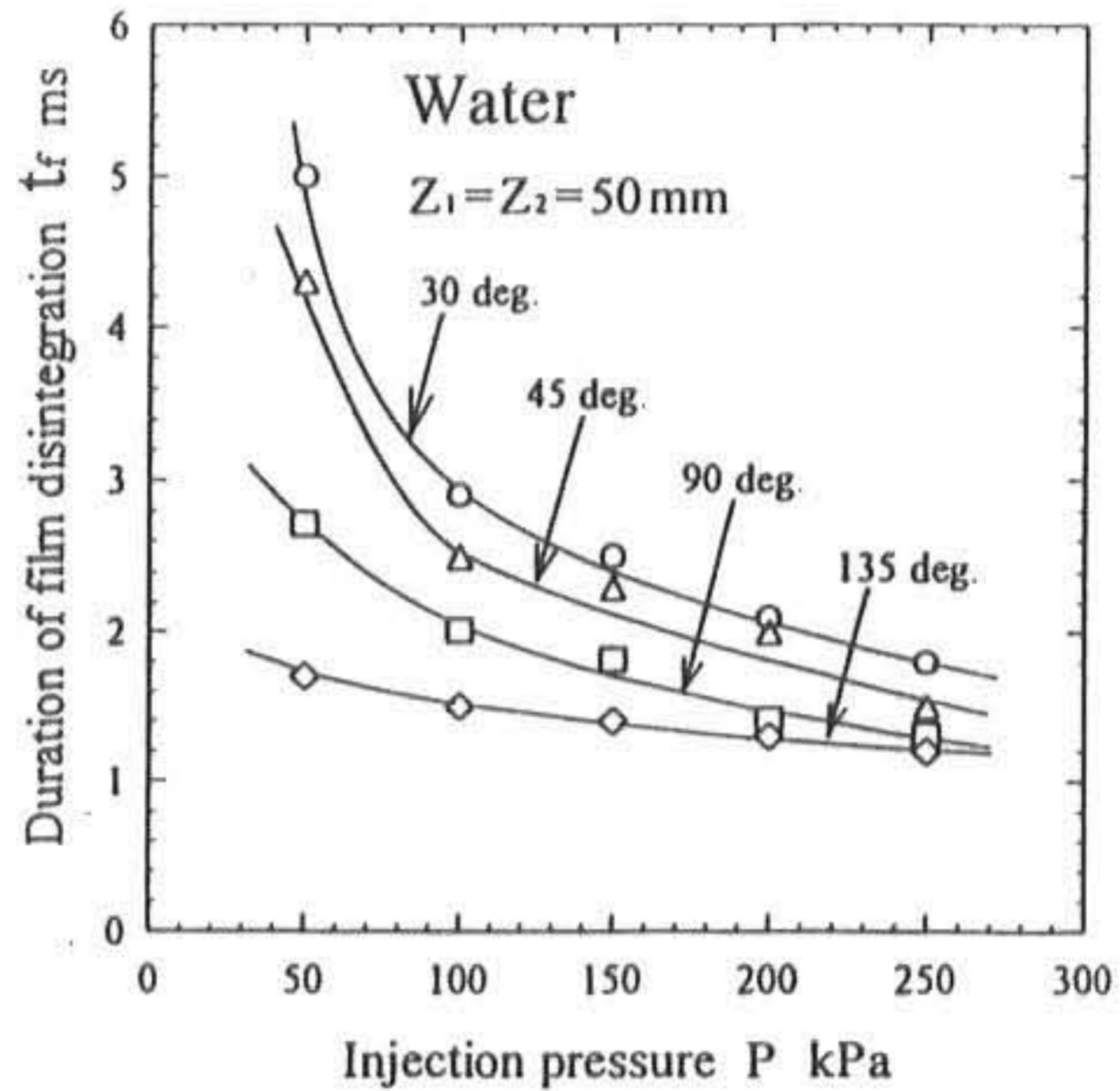


Fig.10 Duration of film disintegration for spray-to-spray impingement

### 3.3 충돌후의 분무입경

여기서 분무상호충돌에 의한 분무의 Sauter 평균입경  $D_{32}$ 를 입경해석장치에 의해 측정된 결과를 나타내었다. 실험에서 분사압력  $P=250\text{kPa}$ , 평균입경이 측정위치  $Z_m=100\text{mm}$ 로 일정하게 하였으며, 시료액체는 증류수로 하였다.

분류-분류, 분무-분무의 충돌에 의한 Sauter

평균입경 $D_{32}$ 을 측정하여 충돌에 의한 Sauter 평균 입경 $D_{32}$ 와 비교하여 보았다. 그림11은 자유분무에 대하여 나타낸 그림이다. 그림에서 가로축은 시간이고, 세로축은 Sauter 평균입경이다. 먼저 자유분무(free spray)에서 시간 $t < 6.5\text{ms}$ 의 영역에서는 분무의 선단이 입경측정위치( $Z_m = 100\text{mm}$ )에 도달하지 않았기 때문에 대기중에 떠있는 작은 분무만 측정되었다. 시간이 경과후, 분무의 선단이 입경측정위치에 도달하면( $t = 7\text{ms}$ ) 입경의 값이 급격히 상승하여 최고값이  $370\mu\text{m}$ 에 도달한다. 그후 분무끝부분이 측정위치를 통과함에 따라서 입경은 감소된다.

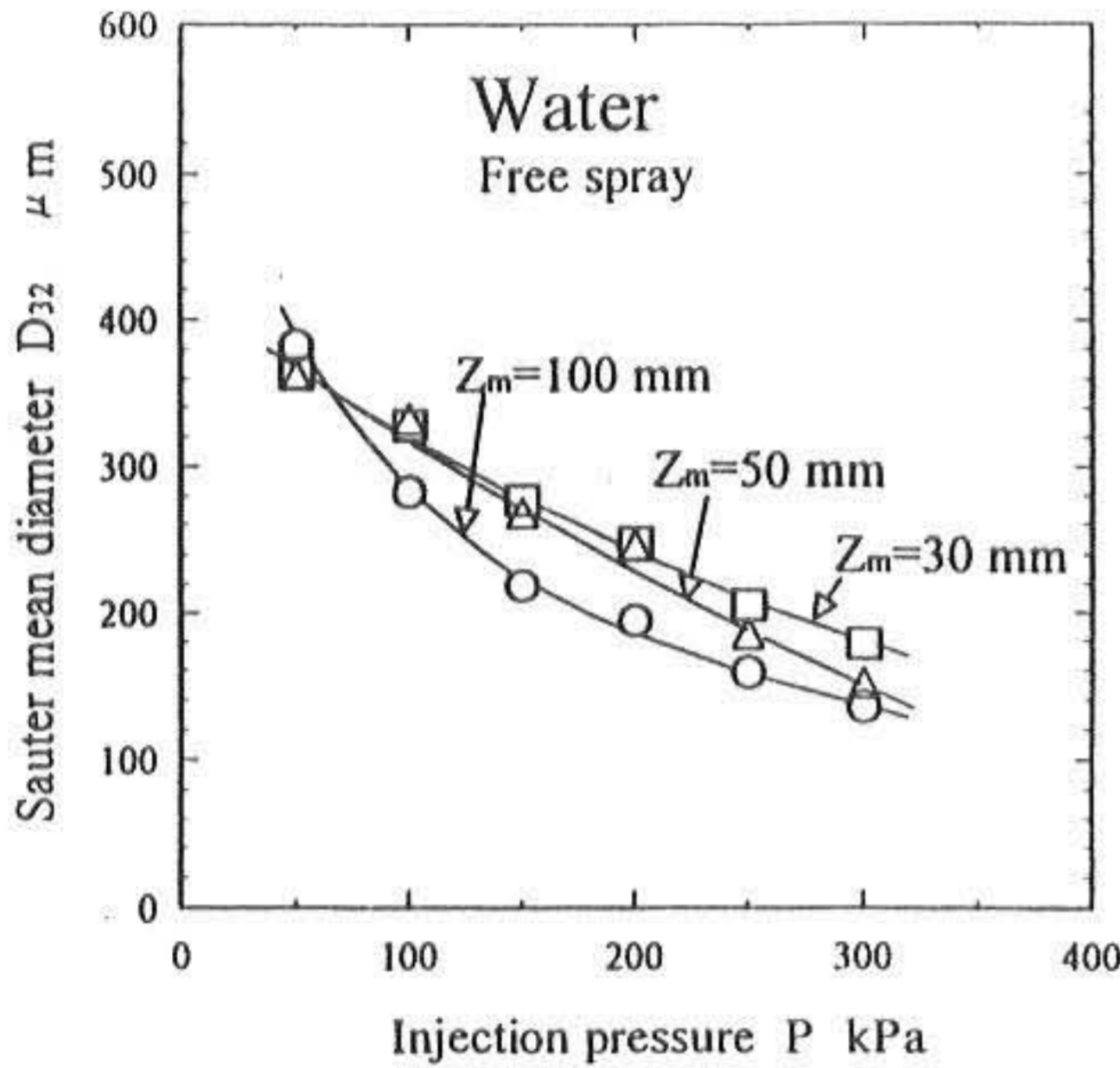


Fig.11 The relation between injection pressure and sauter mean diameter

그림12는 증류수에 있어서 분류-분류의 충돌에 의한 Sauter 평균입경 $D_{32}$ 을 나타낸 그림이다. 그림에서  $\circ$ 는 자유분무  $\triangle$ 는 충돌각도  $\theta = 45^\circ$ ,  $\square$ 는  $\theta = 90^\circ$ ,  $\diamond$ 는  $\theta = 135^\circ$ 일 때 Sauter 평균입경  $D_{32}$ 를 나타낸 것이다. 분무충돌의 경우는 자유분무에 비하여  $D_{32}$ 의 최대값은 감소한다, 이것은 분류상호간의 충돌에 의하여 분열한것이라 생각된다. 최대값은 자유분무의 경우 Sauter 평균입경 $D_{32}$ 의 최대값보다 늦게 나타난다. 이는 충돌에 의하여 운동량의 교환이 이루어 지면서 분무입자가 측정위치에 도달하기 때문이다. 그리고 충돌각이 클수록 Sauter 평균입경 $D_{32}$ 의 최대값이 적게되고, 그 최대값이 나타나는 시간도 늦게된다.

그림13은 분무-분무 충돌의 경우이다. 분류-

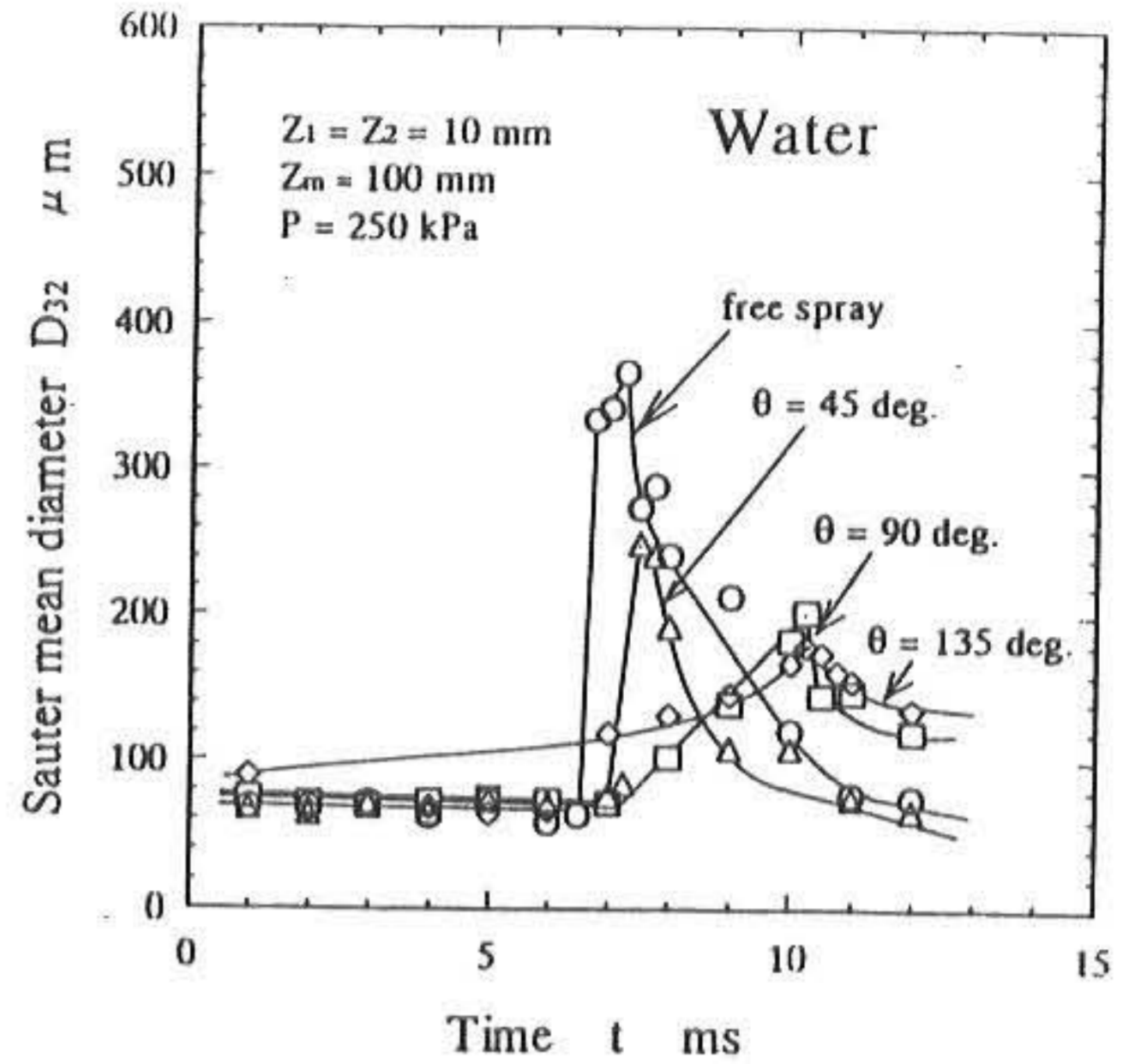


Fig.12 Comparison of Sauter mean diameter with and without impingement

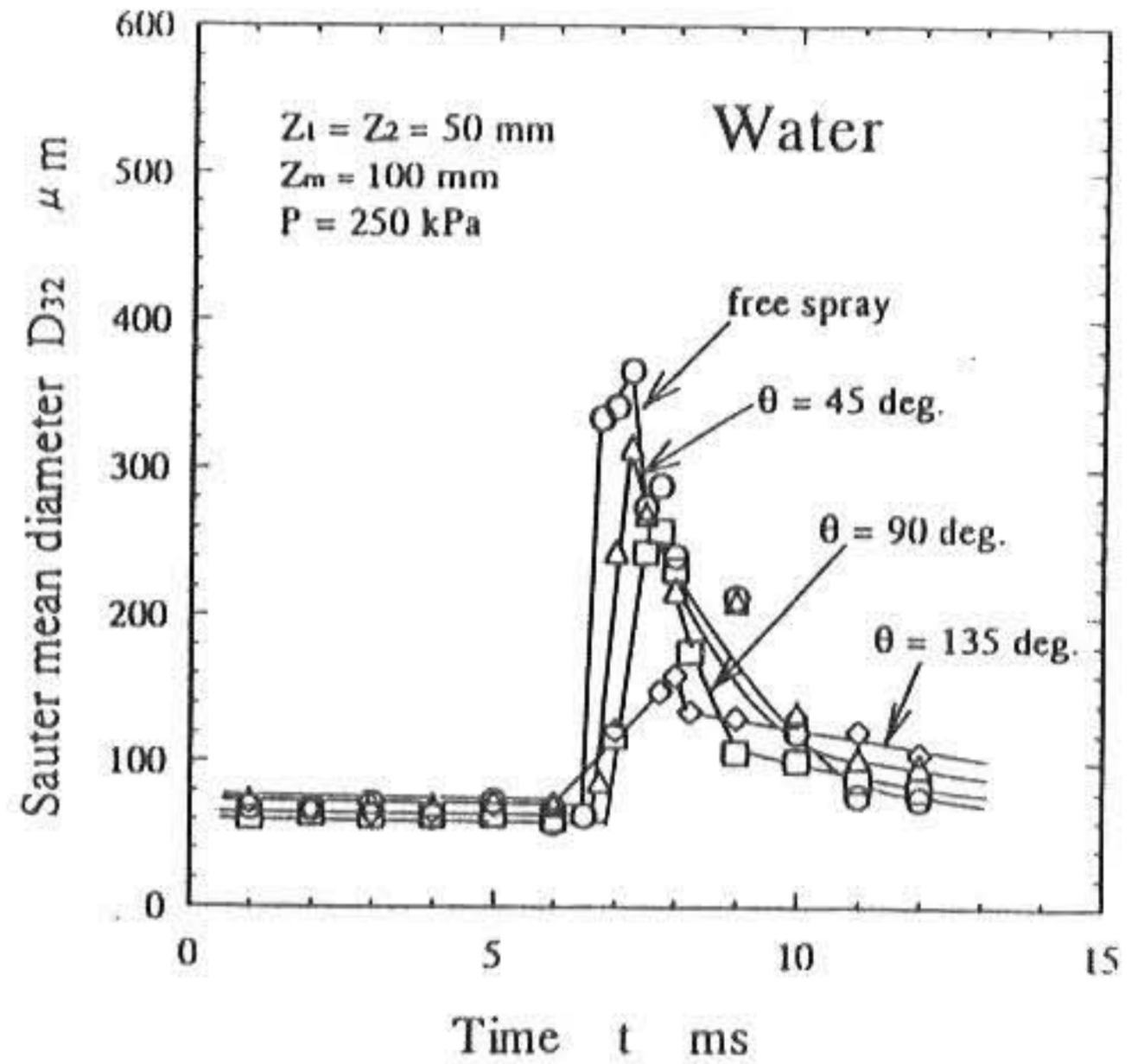


Fig.13 Comparison of Sauter mean diameter with and without impingement

분류충돌의 경우와 비교하면 Sauter 평균입경 $D_{32}$ 은 분무-분무의 경우가 크다. 그리고 Sauter 평균입경 $D_{32}$ 의 최고값이 나타나는 시간도 분무-분무의 경우가 빠르다. 이것은 분류-분류 충돌의 경우가 분무-분무 충돌의 경우보다 충돌에 의한 운동량의 교환이 크기때문인 것으로 생각된다 또 자유분무의 경우에 비하여 Sauter 평균입경 $D_{32}$ 의 최고값은 감소하나, 최고값이 나타나는 시간은 거의 같다. 이는 분류-분류의 경우에는 액주와 액주의 충돌이 일어나므로 운동량의 교환도 많으며 액막의 분열도 쉽게 일어나지만, 분무-분무의 경우에는 액적과 액적의 충

들이 일어나서 운동량의 교환이 적으므로 액막 분열이 쉽게 일어나지 않고 분무의 속도도 그대로 유지되면서 측정위치를 통과하므로 Sauter평균입경 $D_{32}$ 의 최대값이 분류-분류충돌에 비하여 커지며, 최고값이 나타나는 시간은 자유분무의 경우와 거의 같다고 생각된다.

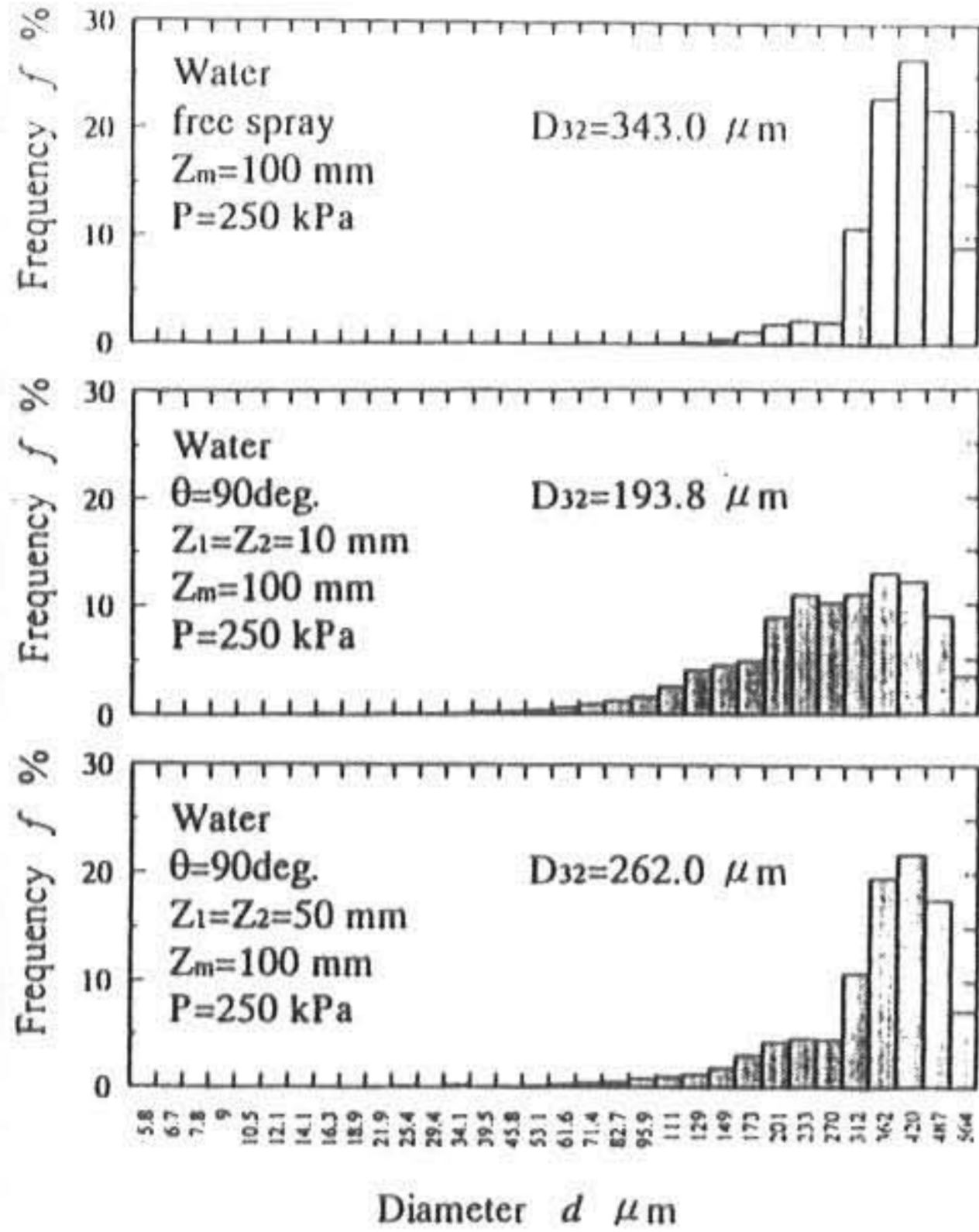


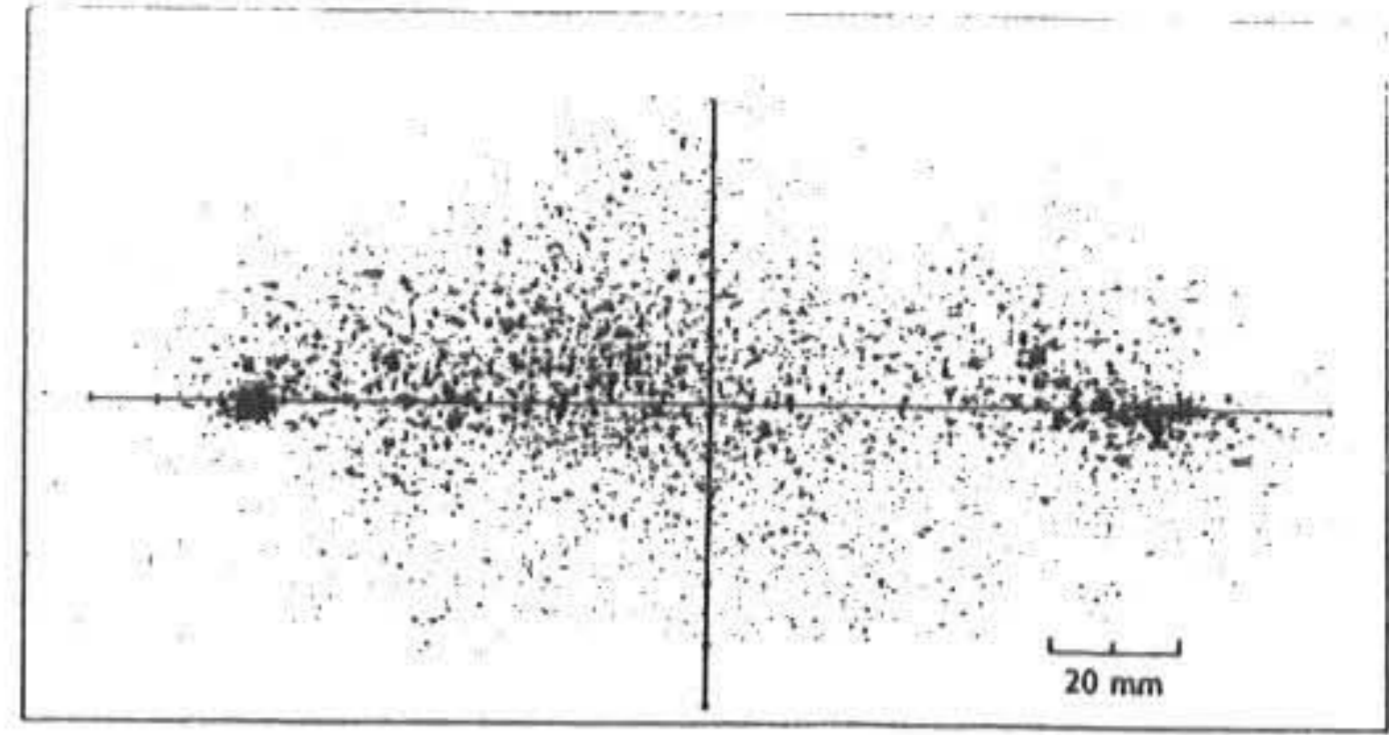
Fig.14 Size distributions after impingement

3.4 충돌형태에 의한 입도분포의 변화

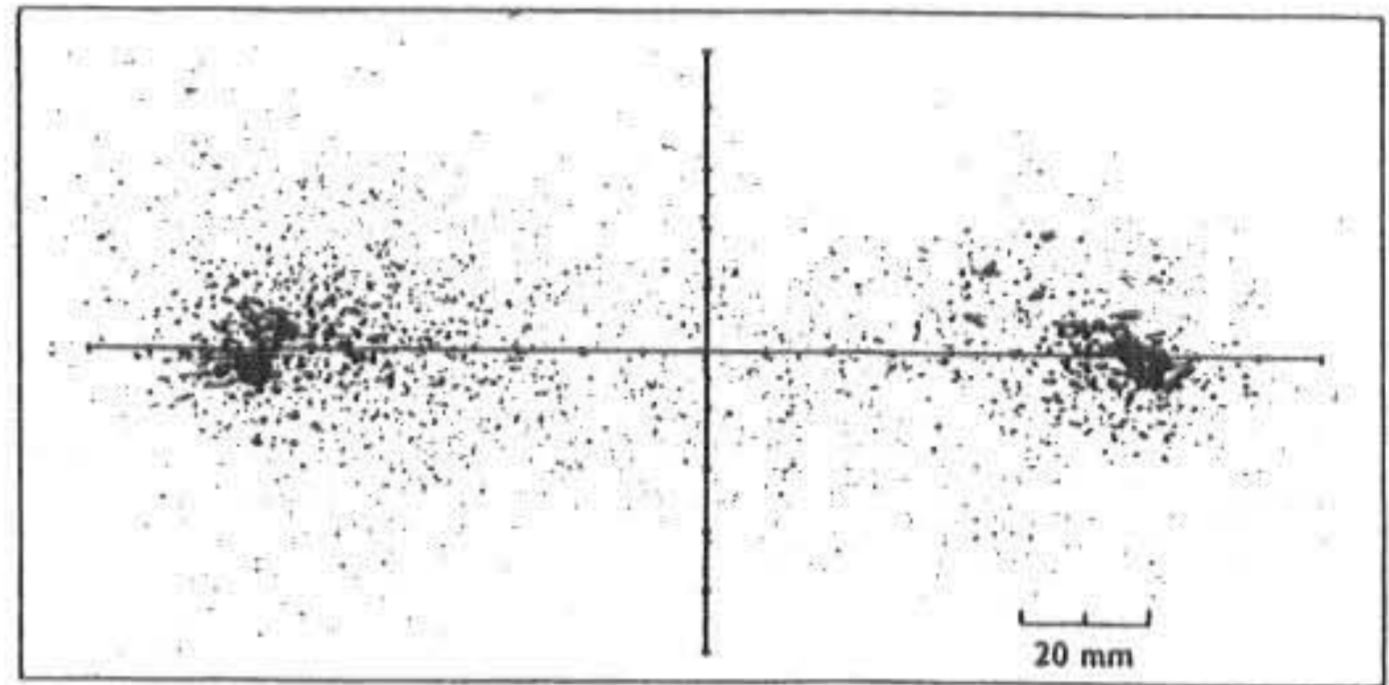
그림14는 자유분무의 경우와 충돌각도  $\theta=90^\circ$  분사압력 $P=250\text{kPa}$ , 측정위치 $Z=100\text{mm}$ 에서 분류-분류, 분무-분무의 경우를 나타낸 것이다. 그림14에서 분류-분류의 경우는 자유분무에 비하여 큰 입경의 액적(liquid ligament)수가 감소하고, 작은 입경의 액적수가 증가 하였다. 그러나 분무-분무의 경우는 자유분무에 비하여 입경의 크기는 거의 변화가 없다 이것은 완전한 분무끼리의 상호충돌에서는 운동량의 교환이 적기 때문에 충돌후 입경의 크기에는 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다

3.5 충돌후의 분산도 측정

여기서 분출된 분무의 분산형태를 조사하기 위하여 water sensitive-paper(CIBA-GEIGY)



(a) EFI nozzle,  $\theta=90\text{deg.}$ ,  $Z_1=Z_2=10\text{mm}$



(b) EFI nozzle,  $\theta=90\text{deg.}$ ,  $Z_1=Z_2=50\text{mm}$

Fig.15 Dispersion of spray at 100mm after impingement

을 이용하여 충돌각도  $\theta=90^\circ$ , 측정위치  $Z_m=100\text{mm}$ 로 일정하게 한후 5회 물을 분사시켜 액적의 혼적으로 분산도를 측정하였다.

그림 15의 a)는 분류-분류의 경우이고, b)는 분무-분무의 경우이다. a)와 b)를 비교하면 a) 쪽의 분산도가 좋은 것을 알수있다. 이는 분무-분무충돌의 경우보다 분류-분류충돌의 경우가 충돌에 의한 운동량이 크기 때문에 충돌후에 분무의 분산도가 좋다고 생각된다

4. 결론

가솔린 기관용EFI 노즐을 사용하여 분류-분류와 분무-분무의 경우에 대한 상호충돌시험을 하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 분무의 상호충돌에 의한 미립자모양을 촬영하므로써 분류-분류충돌과 분무-분무충돌의 경우 모두 충돌직후에 액막을 형성하고, 그 액막이 분열하므로써 분무의 미립화 현상이 일어나는 것으로 관찰되었다

2. EIF용 인젝터의 경우 충돌후 Sauter평균

입경 $D_{32}$ 은 분류-분류의 경우에는 자유분무에 비하여 30%정도, 분무-분무의 경우에는 약20% 정도 감소하였다. 또, 충돌후 입도분포는 분류-분류, 분무-분무어느경우에서도 자유분무에 비하여 입경의 최대값은 적게되고, 큰입경의 액적수는 감소하였고 적은 입경의 액적수는 증가하였다

3. 충돌각도가 증가할수록 충돌후의 Sauter평균입경 $D_{32}$ 은 감소한다. 그리고 충돌에 의하여 형성된 액막의 분열시간은 에타놀에서는 약 0.5~3.5ms, 증류수에서는 약 1.2~5.2ms정도이다.

### 참고문헌

- 1) 玉本伸茂 : 液体噴流 の微粒化 過程におけるぼす噴孔内流の影響.微粒化. Vol5-2,No10. 1996. pp56-63.
- 2) 齋藤正浩: 噴霧-噴霧系衝突における舉動微粒化.Vol 6, No14. 1997. pp29-35.
- 3) 山本弘: 噴流衝突型ノズルの噴霧特性. 第2回微粒化 シンポジウム. 1993. pp. 111-114
- 4) 稻垣智久: 噴霧の相互衝突による二次微粒化 特性. 群馬大學卒業論文.1998. 4.
- 5) A. H. Lefebvre: Atomization and sprays Hemisphere publishing Co. 1989. p. 87
- 6) P. Vassallo and Ashgriz: Effect of flow Rate on the spray characteristics of Impinging water jet.Journal of propulsion and power. Vol. 8. 1992. pp. 980-986
- 7) Heidmann, M. F: Effect of Impingement Angle on Drop Size Distribution and spray pattern of Two Impinging WaterJet. NASA TN D-872. 1961.

---

(1998년 6월15일 접수, 1998년 9월 15일 채택)