

## 액체연료의 미립화 기술(4)

### Atomization Technology of Liquid Fuels

류 정 인  
J. I. Ryu



류 정 인  
 • 1945년 3월생  
 • 충남대학교 기계공학과 교수  
 • 기존연료 및 대체연료용 왕복  
 형기관의 성능향상책 및 공해  
 저감책

#### 5.2 음속 및 파장 측정

매질중에서 음파의 속도  $c$ , 파장  $\lambda$  및 주파수  $f$  사이에는  $c = \lambda f$ 인 관계가 있다.

##### 5.2.1 초음파 간섭계

Pierce, G.W.는 고주파수의 압전 진동자를 이용하여 공기중 및 탄산가스중의 음속이나 파장을 정밀하게 측정하는 초음파 간섭계를 고안했다.

간섭계의 원리는 그림 53과 같이 고주파수(수백 KHz 이상)의 진동자가 매질중에 평행 평면파를 방사하는 음원면의 앞쪽에 완전 평행 방사판을  $l$  거리에 두면 방사판에서 반사파가 다시 음원에 작용하기 때문에 반파장의 정수배마다 정상파가 되어 음원 자신의 동입피던스가 변화한다.

이 변화는  $l$ 을 바꾸면 반파장( $\lambda/2$ )마다 주기적으로 바뀐다. 예를 들면 방사판을 plate와 grid사이에 접속해서 이용하면 plate전류는 초음파 반파장마다 변화하지만 방사판의 이동량으로 반파장이 정밀하게 구해진다.

이와 같은 주기적 변화를 전기적으로 검출해서 매질중의 음속  $c$ 나 파장  $\lambda$  또는 흡수계수  $\alpha$ 를 측정하는것이 가능하다.

반사판은 충분히 단단하고 완전 평면 금속판이므로 진동면과 완전 평면 이동이 가능하도록  $l$ 은  $1\mu\text{m}$  정도까지 이동될 수 있도록 micrometer 나사로 이동한다. 매질이나 용기의 온도도  $-1/100^\circ\text{C}$  정도로 유지한다. 진동자의 직경은 이 요구된다.

간섭계에서는 음파는 방사판에서의 반사파에 의한 영향으로 정상파가 되나  $\lambda/2$ 마다 주기적 변화가 일어나 plate전류의  $l$ 에 의한 변화는 매질 공기중에서는 그림 54와 같이 산파 산 거리가  $\lambda/2$ 로 된다.

또 고압 용기속에서 매질중의 파장을 측정하도록 방사판의 거리  $l$ 을 쉽게 바꾸지 않는 경우에는  $l$ 을 일정하게 하여 주파수를 맞춘다. 여기서는 매질은 기체 및 고체의 경우이므로, 주파수  $f$ 를 변화해서 액체의 음속  $c$ 를 측정할 예이다.

$$c = 2lf / \left( \frac{\theta}{\pi} + n \right)$$

여기서  $n$ 은 공진차수(정현수),  $\theta$ 는 반사패 위상변화이다.  $\theta$ 가  $l$ 에 의하지 않다고 가정하면  $c \approx 2l(f_2 - f_1)$ 가 얻어지므로 매질음속  $c$ 가 구해진다.

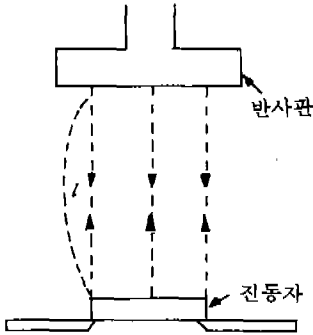


그림 53 간섭계의 원리

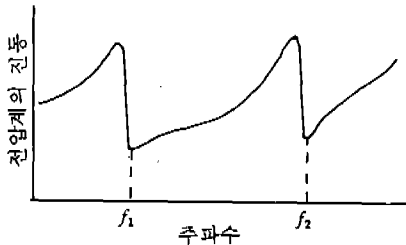


그림 54 주파수와 전압계의 진동 관계

5.2.2 기체 및 액체의 직접 측정

음속  $c$ 를 직접 측정하는 방법은 펄스파를 이용한다.

송파기와 수파기를 거리  $\Delta l$ 만큼 떨어지게 평행하게 설치하면 그 사이를 초음파 펄스가 통과하는 시간  $\Delta t$ 가 측정되므로 음속  $c$ 를 구할수 있다.

$$c = \Delta l / \Delta t$$

5.2.3 공의 회절

그림 55에서 보는 바와 같이 광원에서 나온 단색광은 Slit  $S_p$ 에서 집광시켜 렌즈  $O_1$ 에 의해 평행광선으로 된다. 렌즈  $O_1$ 과  $O_2$  사이에 수정진동자  $Q$ 에 의해서 매질중에 초음파를 빛과 직각 방향으로 방사한다.

초음파의 루프(loop)와 노드(node)에서는 광에 대한 굴절율이 다르므로 스크린상에 빛의 회절상이 영상된다. 광의 파장을  $\lambda$ , 초음파의 파장을  $\lambda_0$ 라고 하면  $n$ 차 회절각  $\theta_n$ 은  $\sin \theta_n = n\lambda_0 / \lambda$ 로 되어

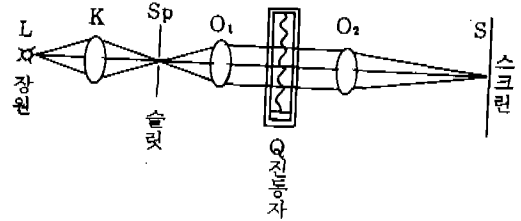


그림 55 광의 회절을 이용한 파장의 측정법

매질중의 초음파 파장  $\lambda_0$ 가 구해진다.

그러나 기계속에는 굴절변화가 작으므로 사용되지 않는다.

5.2.4 초음파 영상

초음파를 눈으로 보는 영상으로서 여러가지 방법이 있다.

영상의 방법에 따라 쉬리렌 방법(Schlieren method), 위상차법, 편광법, 기하 광학법 등이 있다. 여기서는 쉬리렌법에 대하여 소개한다.

초음파가 투명한 매질중을 전파해 가면 매질중에 밀도차를 일으켜 매질의 굴절율이 변화한다. 이것을 적당한 광학계를 사용하여 음파면의 영상을 만들어 이것에서 직접 음파장  $\lambda$ , 음속도  $c$ 를 구할수 있다.

그림은 쉬리렌 영상장치로서 광원  $L$ 은 고압수은등이고 렌즈  $c$ 에서 0.1~0.3mm의 폭의 slit  $S$ 위에 빛이 모아진다. 필터  $F$ 에 의해 단색광으로 된다. 렌즈  $K$ 에서 평행광선으로 초음파조  $T$ 를 통과해서 대물렌즈  $O$ 에 의해 초점된  $F$ 위에 슬릿상을 만들고 더우기 렌즈  $O_1$ 에 의해  $T$ 의 상이 전판이나 필름  $P$ 위에 영상된다.  $T$ 는 20cm가 평면초자판창을 갖는 폭 5~10cm수조로서 하단에 수정진동자를 둔다. 상단은 흡수재를 두고, 음의 반사를 막는다.

5.3 음파 흡수의 측정

매질속을 전파하는 초음파의 흡수율을 측정하려면 흡수계수  $\alpha$ 를 구해서 본 학회지 Vol.15, No.5, p31에 있는식에 넣는다.

그림 56은 펄스 초음파에 의한 흡수계수의 측정장치 예이다. 수파기를 이동하면 브라운관 위의 시간축상을 수신 펄스가 이동하며 그 강도도 변

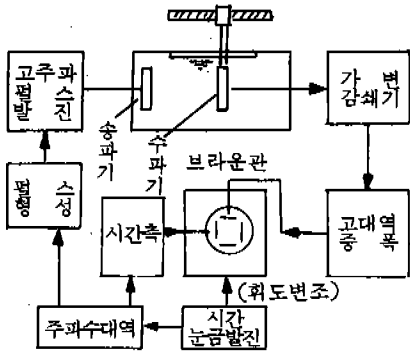


그림 56 펄스 초음파 장치

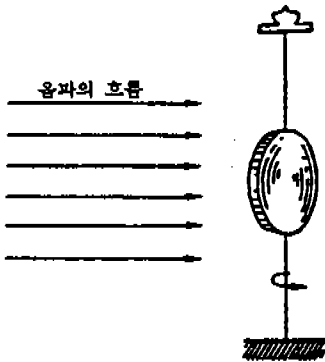


그림 57 레이레이 원판

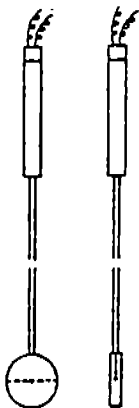


그림 58 초음파 강도 측정용 열전대 폴리에틸렌 프로브

화한다. 그 강도  $I$ 의 변화에서 흡수 계수  $\alpha$ 가 구해진다.

또한 펄스의 이동량에서 매질중의 음속  $c$ 가 구해진다.

#### 5.4 음 강도의 측정

##### 5.4.1 음 강도와 음 강도 레벨

음 강도와 음 강도 레벨은 본 학회지 Vol.15, No.4 p62-64에 있는 식으로 구할수 있다.

##### 5.4.2 레이 레이(Rayleigh)원판에 의한 측정

그림 57과 같은 탄력이 있는 면사에 매달은 평원판을 음파가 진행하는 통로에 설치하면 이 원판에 음파의 측에서 방사압  $P$ 에 의해 우력이 작용하여 그 모멘트가 음의 전파방향과 직각으로 되며 원판을 회전시키게 된다. 원판을 회전시키는 힘의 모멘트  $N$ 은 음의 강도  $I$ 에 비례하므로 회전력을 측정하여 회전력의 모멘트  $N$ 이나 방사압  $P$ 가 얻어지므로 본 학회지 Vol.15, No.4 p64-65에서 음의 강도, 강도 레벨을 구한다.

##### 5.4.3 열전대에 의한 측정

초음파가 방사되고 있는 액체중에 음을 흡수하기 쉬운 물질을 넣어서 그 물질에 흡수시켜 생기는 열출력(단위시간당 열량)을 측정해서 액체중의 음 강도를 측정할 수 있다.

Fry는 그림 58과 같이 동-콘스탄탄 세선을 납땀한 열전대를 얇은 원판 모양 용기속에 넣고 용기의 양면은 폴리에틸렌 박막을 씌우고 내부에 흡음 매질로서 피마자유를 넣었다. 액중의 음 강도를 구하려는 위치에 이 프로브의 막면을 입사 방향과 직각으로 설치한다. 피마자유는 초음파를 흡수하면 온도가 상승하여 열전대에 열기전력 변화를 얻을 수 있다.

이 프로브에 의한 초음파의 조사시간  $t$ 에 대해서 초음파 흡수에 의한 피마자유의 발열에 의한 직선적 온도상승율로 음 강도를 구한다.

##### 5.4.4 더미스터에 의한 측정

더미스터는 온도장에서 전기저항이 크게 변하는 반도체이므로 전기 저항  $R$ 과 절대온도  $T$ 사이 에  $R=Ae^{BT}$  관계가 있다.  $A, B$ 는 정수이다.

작은 흡음 물질의 구를 만들어 그 중앙부에 작은 더미스터를 심고 초음파 음장에 넣는다. 그러면 더미스터의 전기음장이 변하므로 음 강

도를 측정할 수 있다.

5.4.5 광띠역 센서에 의한 측정

액중에서 강력 초음파의 음 강도 $I(W/m^2)$  또는 음압 $P(Pa)$ 를 측정하려면 광띠역 센서가 이용된다. 강력 초음파의 경우 액중내부의 음장은 액면이나 벽면에서 음의 반사때문에 완전 차음하지 않는한 복잡한 정상파 음장으로 되어 정확한 측정이 어렵게 된다. 또 캐비테이션 때문에 일반 수파기는 파괴된다. 따라서 강력음장에서 안정되고 고정도로 측정되는 음압측정용 마이크가 요구되며, 그 예를 그림 59에 나타낸다.

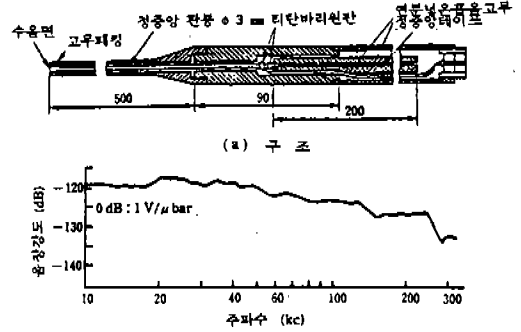


그림 59 광띠역 진행파 센서

5.5 음압 측정

음압 및 음압 레벨은 본 학회지 Vol.15, No.4에서 소개한 식으로 계산된다.

강력 초음파에 의한 액중음압을 측정하려면 캐비테이션 부식(cavitation erosion)에 견디며 주파수나 음압에 고감도를 가지고 음장을 교란하지 않도록 소형이며, 내구성이 크며 안정되는 마이크로폰이 요구된다.

이 요구에 근접한 소형 수중 수파기(miniature hydrophone)의 예를 그림 60에 나타낸다. 검출부는 압전 ceramic소자이고 음향을 전기로 변환한다. 하이드로폰의 검출선단부는 물과 거의 똑같은 음향 임피던스를 갖는 네오프렌 고무(neoprene rubber)에 밀봉하여 캐비테이션에 견디도록 하였고 검출부에서 뽑아져 나온 도선은 이중절연의 저노이즈선이다.

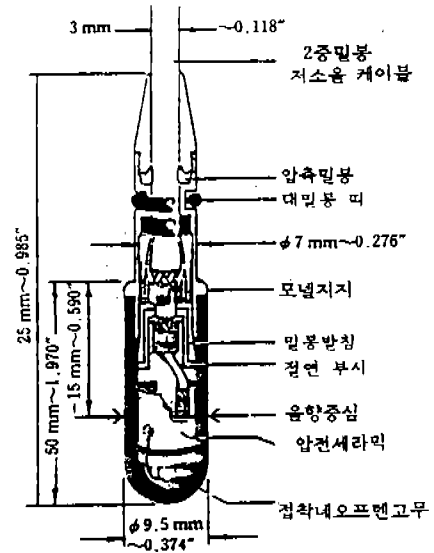


그림 60 소형 하이드로 폰

5.6 초음파 전력의 측정

초음파 전력은 초음파 전력계에 의해서 측정한다. 이것은 고주파용 전력계로서 진동자의 전기입력을 측정하는 것이다. 진동자는 일반적인 순저항이 아니고 큰 리액턴스를 가지고 있으므로 그 위상각은 일반적으로 주파수의 변화중에 따라 변화한다. 따라서 진동자의 입력전력을 구하려면 단지 전압  $V$ 나 전류  $I$ 만으로 측정하는 것이 아니라 역율이 있기 때문에 위상각  $\phi$ 를 측정하여  $Vicos\phi$ 를 구하여 전력을 직접읽는 초음파 전력계(ultrasonic watt meter)가 있다.

5.6.1 열전대식 전력계

열전대식 전력계(thermo couple watt meter)는 구조가 간단하나 표피효과가 있어 안정성이 나쁘고 또 와전류에 약하여 오차가 있어 측정정도에는 전기적 교정이 필요하다.

그림 61은 열전대식 전력계의 구성도이다.

5.6.2 홀 효과 전력계

전압이 전류의 2승에 비례하는 열전대를 이용하지 않는 전력계로서 반도체의 홀 효과(hall effect)를 이용한 것이다.

홀 효과는 그림 62와 같이 전류  $I$ 가 흐르는 두께  $d$ 의 반도체 판을 자속밀도  $\phi$ 의 저장속에 설치하면 이것과 직각방향에 기전력이 생기는 현상이다.

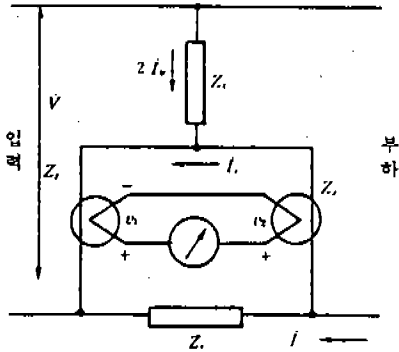


그림 61 전력계의 구성

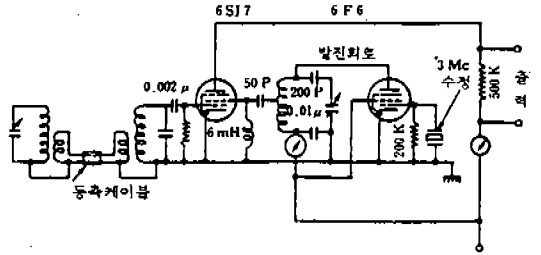


그림 65 용량변화에 의한 변위 검출회로의 1 예

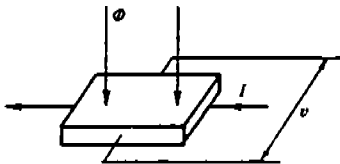


그림 62 홀 효과

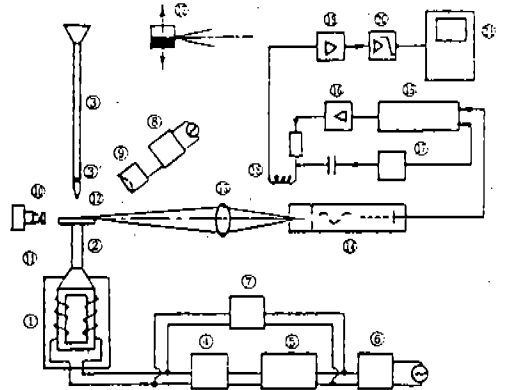


그림 66 비접촉형 전자광학 변위계에 의한 진폭 측정에

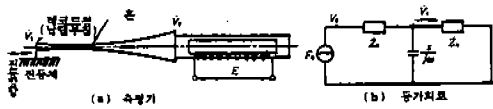


그림 63 면에 평행한 진동변위 측정기의 원리도와 등가회로

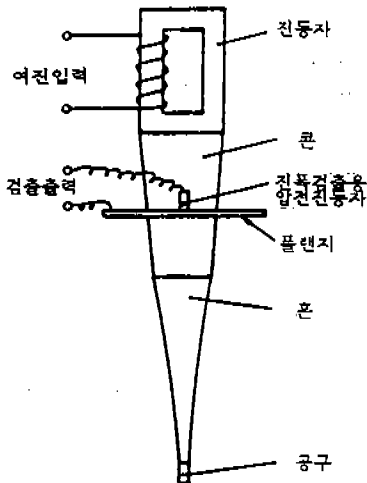


그림 64 전왜진동자를 이용한 진폭검출

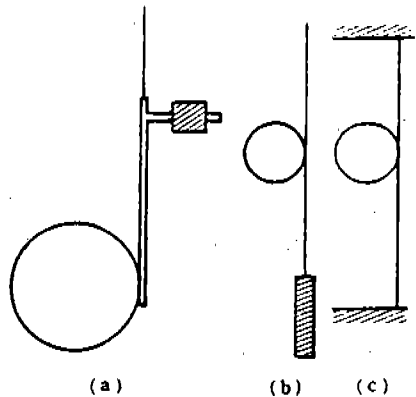


그림 67 단익형 베인

## 5.7 진폭의 측정

### 5.7.1 현미경

진동자나 혼의 선단에 빛을 비추고 그 한점의 진동 변위를 금속현미경으로 직접 관찰해서 측정하거나 사진촬영으로 측정한다.

이때 진동하지 않는 경우 금속표면의 작은 흠집이 빛을 발하는 점으로 보이거나 진동하면 진동 방향에 휘선이 보이므로 휘선의 길이를 측정하면 그 길이가 진폭의 2배이다.

### 5.7.2 전기적 방법

#### 1) Pick up식

기계적 진동을 픽업해서 전기적 진동으로 변환하는 것으로서 픽업의 방법에 따라 여러가지가 있다.

그림 63은 면에 평행한 변위를 측정하는 방법으로서 자왜진동자의 혼 선단에 레코드니들을 그림과 같이 납땜하여 니들이 혼과 일체로 진동하도록 하고 또 니들 앞부가 진동체와 함께 진동하도록 적당하게 누른다. 니들 압부에 강성(stiffness)을 끼어 진동을 픽업한다.

그림 64는 전왜진동자를 픽업해서 이용한 것으로서 전왜진동자를 혼이나 콘의 진동절점, 즉 진동에 의한 응력최대점에 정착해서 기계적 변형에 비례한 전압을 얻도록 한 것이다.

#### 2) 용광 변화식

그림 65는 진동면에 전극을 붙여서 그 사이에 전기용량을 변화시켜 이것에서 면의 직각진동의 진폭을 측정하는 것이다. 이것은 매우 고감도이므로 비접촉에 변위가 측정가능하다.

### 5.7.3 광학적 방법

이 방법은 비접촉으로 기계적 진동을 그대로 검출하는것이 가능하나 주파수 특성은 6에서 다루는 방법보다 떨어진다.

그림 66은 비접촉형 전자 광학 변위계를 설치한 광학적 방법이다. 하반부는 자왜진동자 ①의 발진출력 및 주파수 측정 장치부이다.

상반부의 변위계에 대해서 광학 변위계는 카메라와 본체로 이루어지고 카메라는 렌즈계와 전자계로 이루어져 있다. 진동면상에 백과 흑명암이 얻어지도록 대상 ②를 만든다. 대상은 혼 ②의 선단 진동면위에, 측정하려는 점에 앞을

뾰족하게 한 직경 1mm(c0.9% 담금질 강)의 편을 깊이 약 2mm로 심어 편이 진동면과 동일 진동을 하도록 한다.

대상의 상하진동상을 렌즈 ⑬에 의해 ⑭이미지 컨버터(image converter)의 선단부 핫 캐소드(hot cathode)에 넣어 광량을 전기량으로 변환한다. 이것이 전자 증배관을 지나 위상차를 일으키는 방형파가 ⑮의 위상차 검출회로에 의해 아날로그 전압으로 나타난다. ⑯은 증폭기, ⑰은 발진회로이다. 대상의 변위에 비례한 수정전류가 ⑱편위 요크에 흐른다. 이것은 ⑲전압 컨버터에서 출력 전압으로 한다. 변위에 비례한 신호환 ⑳싱크로 스톱프에 비추어 촬영한다.

## 6. 초음파 분무특성 측정

### 6.1 방사압의 측정

음의 방사압은 본보 Vol.15, No.4 p6에서 설명하였으며, 방사압은 음의 강도에 비례하므로 음의 강도측정에 이용되며 이것을 방사압계라 한다.

#### 6.1.1 레이레이 원판

본보를 참조하십시오.

#### 6.1.2 토션 베인

초음파가 수평으로 방사하는 경우 그림 67(a)와 같이 토션 베인을 사용하여 방사압을 받는 베인을 탄성줄의 한쪽에 붙이고 균형을 맞추기 위해 다른쪽에 추를 붙이고 그림 67(c)와 같이 선 상하를 고정시킨다. 판은 직경 약 30mm의 얇은 금속판 또는 금속축에 얇은 운모를 입힌다.

베인을 처음에 음파방향에 수직으로 향하게 하고 음파 방사에 의해 줄의 회전각  $\phi$ 를 지침이나 거울에 의해 측정한다.

### 6.2 캐피리리파의 측정

#### 6.2.1 캐피리리파의 거동

그림 68은 진동면상의 얇은 박막에서 캐피리리파 형성 및 분열의 모델도이다. 진동면의 상하진동은 (A)→(B)→(C)로 크게되고, (1)→...→(5)로 캐피리리파의 형성과정을 갖는다. (D)는 정면에서 본 캐피리리파이고, (E)는 적분열이 진폭 최대를 약간 넘겨 발생하는 것을

나타낸다.

액막두께 및 진동진폭에서 액막두께가 진동진폭보다 커야 한다.

표면파의 파장이 작은 캐피리파에 대해서 파의 주파수는 발진주파수의 1/2이므로 파장은 파의 주파수의 2/3승에 비례한다. 즉 주파수가 높은 만큼 파장이 작아 캐피리파가 미세하게 되어 분열하는 액립도 작게 된다.

액립의 직경은 파의 파장에 비례하므로 정확한 캐피리파의 파장을 구할 필요가 있다. 그렇기 때문에 고체 진동면상에 매우 작은 액체를 얇은 액막모양으로 하여 우선 출력을 작게 해서 서서히 캐피리파를 형성하고 출력(진동면의 진폭)을 높이면 캐피리파의 파두에서 그림 68의 (3), (4)같이 액적으로 분열하게 된다.

### 6.2.2 확대 사진

액면의 캐피리파에서 분열이 일어나는 것을 촬영하여 확대 사진화하는 방법은 접사에 의한 방법과 망원렌즈에 의한 방법이 있다.

그림 69은 액면에 직각으로 현미경을 놓고 이것에 입사각  $\alpha$ 로 광을 받아 캐피리파를 촬영하는 방법이다.

### 6.2.3 고속도 카메라

그림 70은 액체속의 표면요동을 현미경 고속도 카메라를 이용하는 예를 나타낸다.

### 6.2.4 레이저 홀로그래피

그림 71은 펄스 레이저에 의한 인라인 홀로그래피법(inline holography method)으로 증류수의 미립화 모양을 직접사진 촬영하는 미립화 기구를 해명하는 예이다.

## 6.3 캐비테이션의 측정

캐비테이션은 저주파수에서도 발생하나 일반적으로 캐비테이션 에너지와 큰 고주파수에서 얻는다. 고주파수 초음파에서는 진동진폭이 매우 작으나 주파수가 높으면 파장이 매우 작고, 진동의 입자가속도가 매우 큰 에너지가 얻어진다.

그러나 주파수가 매우 높으면 진폭이 매우 작아 캐비테이션이 일어나기 어렵다.

이러한 캐비테이션을 측정하기 위한 방법으로

①고속도 확대 및 쉬리렌 사진 촬영법, ②레이저 홀로그래피법, ③음압 변화에 의한 법 및 ④캐비테이션 에로전법 등이 있다.

## 6.4 분무 입군

실제 분무상태에서는 최소 입경부터 최대 입경까지 넓은 범위에 걸쳐 분포되고 있다. 이 분무입경이 부분적으로는 불규칙적으로 흩어져 모여있으나 전체적으로는 어떤 규칙성이 있는 경우가 많아 분무입군의 크기는 통계학적으로 취급하는 것이 합리적이다.

### 6.4.1 입군의 대표값

입군의 대표값으로서의 평균입경  $D$ 와 각각의 입경  $X_i$ 가  $D$ 로부터 어느정도 산란하고 있는가를 나타내는 기준상대편차  $\theta$ 나 표준상대편차  $\delta$ 라는 산란도(degree of dispersion)가 이용된다. 그러나 실제에는 산란도를 빠르게 이해하기 쉽도록 나타내기 위하여 입경  $X_i$ 에 대한 도수(필요에 따라 입수  $\Delta N_i$ , 표면적, 체적 및 질량의 어떤것)의 관계를 나타내는 빈도 분포(또는 여기에서는 입도분포라고 부르며 통계학에서도 도수분포, 곡선 또는 식)이 많이 이용된다.

#### 1) 사우터 평균입경

여러가지 크기의 분무입의 평균입경을 단지 직경  $X_i$ 의 평균으로 나타내면

$$D = \frac{\sum(X_i \cdot \sum \Delta N_i)}{\sum \Delta N_i} = D_{10}$$

여기서  $\Delta N_i$ 는 직경  $X_i$ 의 입수이다.

이 방법에서는 단지 직경이나 수만의  $D$ 이므로 분무목적에 의한 현상을 나타내는데는 알맞지 않다. 왜냐하면 분무의 증발, 건조, 연소등에서는 현상이 입자의 표면적에서 일어나므로 직경보다 표면적을 중요시한다.

따라서 사우터 평균입경(sauter mean diameter)은 분무입군의 직경의 대표값으로 표면적에 기초한 평균입경  $D_{32}$ 는 체적/표면적 관계로 다음과 같이 나타낸다.

$$D = \frac{\sum(X_i^3 \Delta N_i)}{\sum(X_i^2 \Delta N_i)} = D_{32}$$

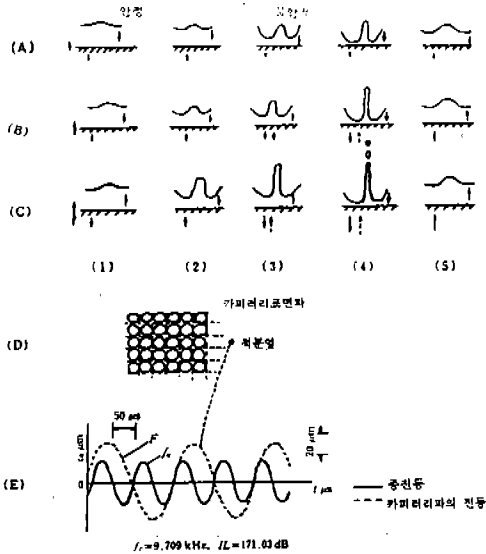


그림 68 캐피러리파에 의한 분열의 모델

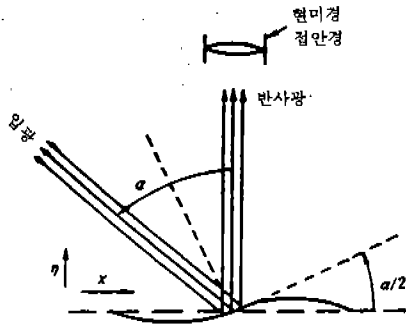


그림 69 캐피러리파 진폭의 광학적 측정

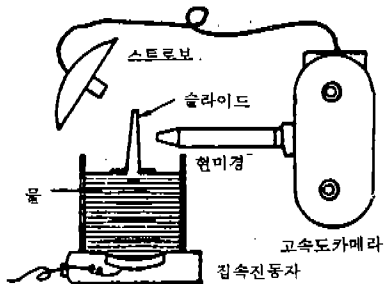


그림 70 큰 액 두께의 액면을 조사하는 장치

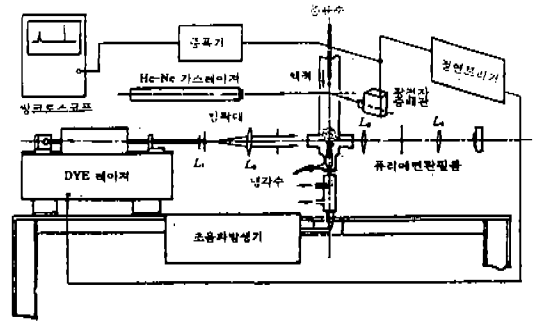


그림 71 인라인 레이저 홀로그래피법에 의한 분무촬영

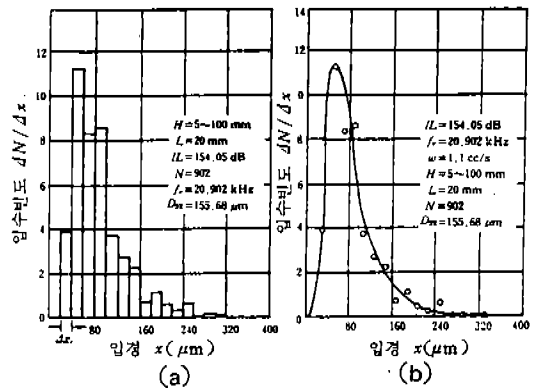


그림 72 입도 분포 분포 예.

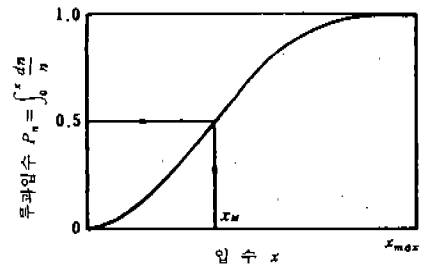


그림 73 통과입수 분포곡선

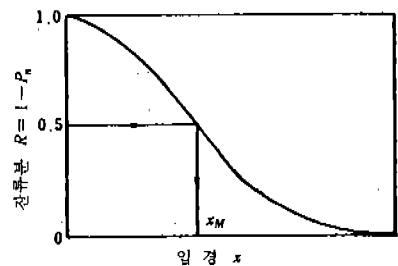


그림 74 누적분포곡선



또  $N_{32}$  를 입균을  $D_{32}$  로 대표한 때의 입수로 나타낸다.

$$N_{32} = [\sum (X_i^3 \Delta N_i)^3 / \sum (X_i^3 \Delta N_i)^2]^{1/3}$$

2) 상대편차

산란도를 나타내려면은 확률론이나 통계학의 기법 또는 상대편차(relative deviation)가 널리 이용된다.

$D_{10}$  의 경우 총입수를  $N$ 이라 하면

$$\text{기준 상대편차 } \theta = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{X_i - D_{10}}{D_{10}} \right| \Delta N_i$$

$$\text{표준 상대편차 } \delta = \left[ \frac{1}{N} \sum \left( \frac{X_i - D_{10}}{D_{10}} \right)^2 \Delta N_i \right]^{1/2}$$

$D_{32}$  의 경우

$$\text{기준 상대편차 } \theta = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{X_i^3 - D_{32}^3}{D_{32}^3} \right| \Delta N_i$$

$$\text{표준 상대편차 } \delta = \left[ \frac{1}{N} \sum \left( \frac{X_i^3 - D_{32}^3}{D_{32}^3} \right)^2 \Delta N_i \right]^{1/2}$$

여기서 상대라는 것은 편차값을 평균입경에 대한 비율로 나타냄을 의미한다. 산란도를 이와 같이 단독수치로 나타내도 모순은 없으나 직감적으로 느끼기가 어렵다. 따라서 보통, 편차보다도 여러가지 입도분포가 널리 사용된다.

3) 입도분포

입경변화  $dX$ 에 대한 입수  $dN$ , 표면적  $dS$ , 체적  $dV$ , 및 질량  $dM$ 의 변화율은  $dN/dX$ ,  $dS/dX$ ,  $dV/dX$  및  $dM/dX$ 이다. 지금 횡축에 입경  $X$ 를, 종축에 이 빈도를 놓고 나타낸 분포곡선을 각각 입수빈도분포(frequency distribution), 표면적 빈도분포, 체적 빈도분포 및 질량 빈도분포 곡선 등으로 부르며 이것을 총칭해서 입도 분포곡선(drop size distribution curve)이라 부른다.

(1) 빈도분포의 표시법

그림 72는 입경  $X_{\mu m}$ 에 대한 입경빈도  $\Delta N/\Delta X$ 를 나타낸 입수빈도 분포를 나타내며 (a)는

그 막대그림(histogram), (b)는 띠 그림을 나타낸다. 입수  $N$ 을 무한히 많이 하는 만큼 매끄러운 곡선이 얻어진다.

그림 (a)에서 입직경  $X_i$ 에서  $(X_i + \Delta X_i)$ 의 사이에 있는 입수를  $\Delta N_i$  개로 하면 직경이  $X_i \sim (X_i + \Delta X_i)$ 의 범위속에 있는 미소 막대 면적은  $(\Delta N_i / \Delta X_i) \cdot \Delta X_i$ 로 된다.

$$\text{따라서 총입수 } N = \sum \Delta N_i = \sum \left( \frac{\Delta N_i}{\Delta X_i} \Delta X_i \right)$$

이것은 막대의 전면적을 나타낸다. 따라서 종축에  $\Delta N_i / (N \cdot \Delta X_i)$ 를 넣으면 전면적은 1로 된다. 이 분포곡선의 피크, 즉 입수가 가장 많게 되는 때의 입경(최빈값)은 모드직경(mode diameter)  $X_{mode}$ 라 부른다.

또 입경  $X$ 를 횡축에 놓고 그 입경  $X$ 까지 통과한 입수비율  $P_n$ 을 종축으로 놓으면 그림 73과 같은 통과입수 분포곡선이 얻어진다.

$$P_n = \int_0^x (dN/N)$$

전체입자가 통과한때의 통과분, 즉 총입수가 1로 나타낸다. 이렇게 하면 각각의 입경에서 통과입수 비율을 즉시 알수 있다.  $P_n$ 은 누적 입자수(cumulative number)라고 부른다.

$P_n = 0.5$  즉, 입자수를 대, 소로 2등분할때 그 입경( $X_M$ )<sub>n</sub>을 메디언 입경(number median diameter, 중앙값)이라고 부르고, 입균의 크기를 나타내는 대표값의 하나이다.

똑같이 그림 72의 종축의 종축에 통과입수 비율  $P_n$  대신에 통과질량 비율  $P_m$ 을 놓으면  $P_m = \int_0^x (dM/M)$ 로 나타내고 적분통과 질량곡선이 얻어지고,  $P_m = 0.5$  즉, 질량통과분과 잔류분이 똑같이 되는 질량비율 중앙값일때 입경 ( $X_M$ )<sub>m</sub>을 질량 메디언 직경(mass median diameter)라고 부른다.

단지 메디언 직경  $X_{0.5}$ 이라하면 직경의 중앙값으로 된다. 이외 표면적, 체적등의 메디언 입경 ( $X_M$ )<sub>s</sub>, ( $X_M$ )<sub>v</sub>, 등이 표시법이 있다.

통과 비율분  $P_m$ 은 침강탑에서 입도를 분류하는 경우에 큰 입이 낙하하고 그 후 점차 작은입이 누적된다. 이 때 낙하입수, 즉 누적입수의 변화

R은 메쉬에 남아있는 입자수 즉 잔류분  $R=1-P_m=1-\int_0^m (dM/M)=\int_m^1 (dM/M)$ 으로 나타내어 그 변화는 그림 74와 같게 된다.

통과분 P나 잔류분 R을 나타내는 곡선을 누적분포곡선(cumulative distribution curve)이다.

6.4.2 입경측정

액체의 분열현상은 고속이고, 비정상이며 공간 널리 퍼지고, 대소 입자가 혼재하여 입의 직접 촬영으로는 초점 맞추기가 어려워 입경을 정확하게 측정할 수가 없다.

여기에서는 지금까지 널리 사용되고 있는 액침법, 고화법 및 광학적 방법에 대하여 설명한다.

1) 액침법

액침법(immersion liquid method)은 물, 그리세린, 그리세린 수용액 등의 표면장력이 큰 액 입은 표면장력이 작은 어떤 기름속에 빠뜨려 그 현미경 사진으로 측정하므로 제법 정확한 입의 크기를 구할 수 있다.

그림 75는 시료액중에 빠뜨린 입의 형태를 나타낸다. a)는 水粒이 기름속에 들어 있으므로 작은 水粒이 眞球로 되는 상태이나 b)는 표면장력이 큰 그리세린에 표면장력이 작은 油粒을 빠뜨린때 油粒은 가라앉지 않고 표면에 편평하게 되는 예를 나타낸다.

2) 흔적법

흔적법(impression method)은 유리판에 점명이나 신화 마그네슘을 도포해서 그 위에 油滴을 떨어뜨려 그 흔적의 크기로 입경을 구한다.

3) 고화법

고화법(solidifying method)은 분무입을 固化시켜, 이것을 분류 또는 사진 촬영하는 방법으로서, 상온 고화법과 저온 고화법이 있다.

상온 고화법은 상온에서 고화하는 왁스, 송진을 가열 용화해서 노즐에서 분사하여 상온에서 냉각시켜 입경을 구한다.

저온 고화법은 드라이 아이스, 알콜, 액체질소 등의 저온 분위기에 액입을 넣어 동결시켜 입경을 구한다.

4) 광학적 방법

분무에 광을 비추면 광의 산란이 일어난다. 이런 원리를 이용한 방법이 그림 76과 같다. 그

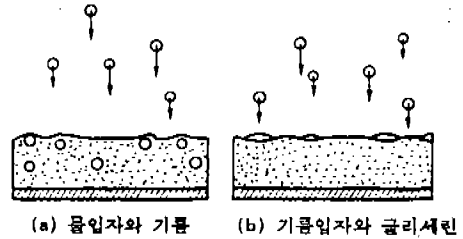


그림 75 시료액속의 입자형태

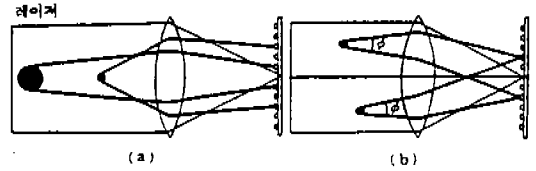


그림 76 프란호퍼 회절

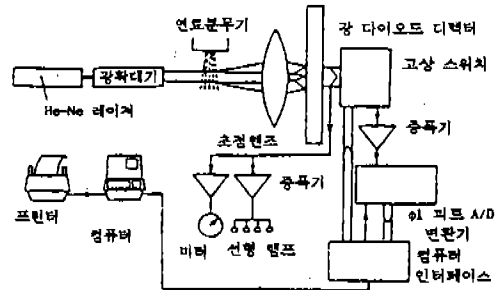


그림 77 레이저 회절에 의한 측정장치

림에서 레이저 빔의 광로에 렌즈를 배치하면 레이저 빔은 광축상에서 초점을 모은다. 광로중에 입자가 존재하면 레이저 빔의 일부는 회절된다. 이것은 프란호퍼 회절(Franhofer refraction)이라 부른다. 원추 모양으로 편광시킨 빛은 렌즈를 통과한후 광축의 주위에 초점을 모은다. 이 광축에서 어긋남은 입자의 크기의 함수로 된다. 큰 입자 만큼 중심에 가까운 곳에 작은 입자일수록 중심에서 먼곳에 초점을 모은다. 입자의 크기가 똑같으면 그림 (b)와 같이 그 위치에 관계없이 똑같은 장소에 초점을 모은다. 따라서 입자가 운동중에 있어도 똑같다.

### 7. 주파수와 평균입경의 관계

초음파 분무에서는 무화특성의 기본은 저주파수에서도 고주파수에서도 무화기구에 따라 결정된다.

저주파수에서는 완전 미립화를 고려하여 고유주파수에 의해 캐피리파가 결정되고 액입의 평균입경  $D_{32}$ 가 파장에 비례한다.

고주파수에서도 똑같은 완전 미립화를 고려하여 고유주파수에 의해 캐비테이션 기포가 결정되고 액입 평균입경  $D_{32}$ 가 기포주파수 또는 기포반경의 함수로 구해진다.

기포주파수는 고유주파수에 의해 결정되나 평균입경  $D_{32}$ 는 고유주파수만으로 결정된다. 따라서 고주파수에서도 완전미립화에서는 액입은 캐피리파의 파장에 비례한다.

고주파수 초음파에서는 매우 미세한 분무입이 얻어지므로 미소입경을 측정하는 정도가 뛰어나야 한다.

고주파수 초음파 분무는 저주파수의 경우와 달리 진동면의 액 두께가 그만큼 잘 분무된다. 진동면의 진폭은 매우 작으나 주파수가 매우 크므로 액입이 매우 작다. 입군속의 최대입경  $D_{max}$ 와 평균입경  $D$ 의 관계는 어떤 주파수에서도  $D_{max} / D = 1.5 \sim 1.8$ 에 속한다.

그림 78은 상온물에서 초음파 분무실험으로 공진주파수와 SMD의 관계를 나타낸다.

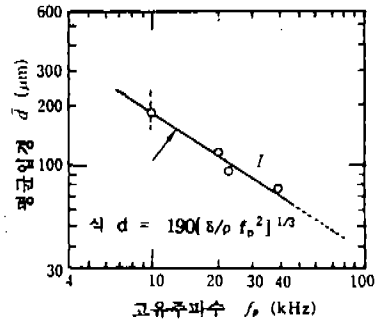


그림 78 평균입경과 고유주파수의 관계

### 8. 결 어

본 강좌는 액체연료를 미립화시키는 방법중 주로 전기적인 방법을 가능한 세세하게 다루려 노력 하였으나 지식이 일천하여 충분히 다루지 못하여 아쉽습니다.

그러나 이 강좌를 통하여 독자들이 액체연료의 미립화기술에 대하여 이해와 관심을 가지므로서 이 분야의 개발·연구가 활발해질것을 기대합니다.

특히 내연기관 분야에 관계하는 전문가들은 기관의 출력향상은 물론 대기오염을 저감하기 위한 미립화기술에 더욱 관심을 가져야 할 것입니다.