물방울의 입도 측정법에 관한 고찰

Study on the Measuremeut of Drop Sizes of Water

閔 丙 燮
Byung Sup Min

머 리 말

일반적으로 물방울을 비롯한 액체 방울의 크기를 결정하는 문제는 광범위의 과학적 연구 영역에 있어 기본적인 중요성을 띄고 있다.

농학분야에 한정하여 보더라도 빗방울에 의한 토양의 침식, 이것의 작물에 대한 영향, 살수관개에 있어서의 물방울의 분포 및 살포의 파악, 환경조절장치의 분무가습, 자동관수, 분무기에 의한 약제 살포, 방조림의 효과등의 조사연구에 있어 액체방울의 입경의 측정문제는 실제상 기초적인 역할을 하고 있는 것이다. 특히 우리 토목학의 분야에 있어 앞으로 보급 실시될 전작물에 대한 스프링클라 관개에 수반하여 이에 관한 기초적 시험이 활발히 진행될 것이 예견 되는만큼 스프링클라로 살수되는 물방울의 입경 측정문제는 우리의 관심사가 아닐수 없다.

필자는 이러한 입장에서 각종 연구분야에 응용할 수있게끔 빗방울이나 살수관개에서 주로 문제가 될 비교적 큰알의 물방울을 비롯하여 분무가습 이나 약제살포의 대상이 될 가는 알의 방울에 이루기까지 적용할수 있는 각종 측정법을 조사한 결과를 요약하여 소개코저 한다.

1. 분 말 법

간단한 방법이기는 하지만 상당히 큰 액체방울의 측정에만 적용할수있는 방법이다. 그릇안에 고은 가루를 담어 평평히 한 다음 이것으로 액체방울을 받으면 그 부분이 환약(丸藥) 모양으로 뭉치게된다. 이 환약의 크기는 액체방울 지름과 함수관계가 있다 이 방법을 처음으로 이용한것은 Bentley(1904)이며 그후 Laws-parsons(1943)와 Chapman(1948)은 이 뭉친 한약과 같은 모양으로 된것을 분류하여 물방울의 입도분포를 측정한바 있다.

2. 흡 수 법

(1) 흡수지법

흡수지를 사용하는 방법은 가장 대표적인 액체방울의 지름을 측정하는 방법의 하나이며 비교적 굵은 분사액의 방울의 관측이나 빗방울의 크기를 결정하는데 널리 적용되고 있다. Winsner(1895)는 흡수지에 이방울을 받어 그것이 스며들어서 생긴 흔적의 윤관을 연필로 표시한다음 그 지름을 측정하였는데 Defant(1905)는 그 흔적을 고정시키기 위하여 미리 지면에 Eosine 가루를 허터 놓았다.

이 흡수지법은 값이 싸지만 큰 방울을 받을 때에는 지면에 충돌할때 생기는 비산문제(飛散問題), 흔적의 주위에 생기는 불규칙적인 돌기(突起)의 처리문제 또는 바람에 날여서 비스듬이 떨어지는 방울로 생기는 타원형상의 흔적등 때문에 정확한 흔적지름의 측정은 어렵다.

물방울의 스며든 흔적을 고정시키기 위해서는 eosine 가루와 활석(滑石) 가루를 혼합한것을 흡수지면에 엷게 바르던가 또는 water blue의 미세한 가루를 휘발유에 현탁(懸濁)시켜서 이것으로 흡수지면에 water blue를 균일하게 부착시키던가 한다.

또는 반대로 액체를 미리 meld ola's blue로 염색하여 놓는것도 특정한 문제에서도 유리한 경우도 있다. 그러나 기름성질의 액체의 경우에는 그러한 조작은 필요로 하지 않는다.

흡수지법으로 액체방울의 지름을 측정하는 경우에는 액체방울의 지름과 흡수지에 생기는 흔적의 지름과의 관계를 미리 알아 놓아야 한다.

Niederdorfer[20](1932)에 의하면 흔적의 번짐은 흡수지면에 충돌하는 물방울의 충돌속도에 따라 변화하는 것인데 이는 미세한 것에서는 없고 1 mg 이상의 물방울의 경우에 한하여 생긴다고 한다.

필자 : 충남대학교 농과대학

Takahashi[28](1943)는 건조속도가 흔적의 번짐에 영향을 미친다는 것을 지적한바 있으며 또 Courshee-Valentine[4](1959)는 습도조건이 번짐에 영향을 미친다고 말하고 있으며 상대습도 70% 이상의 습윤지에서는 노출을 신속하게 할 필요가 있다고 덧부치고 있다.

Richrdson[24](1935)은 각종의 액체방울을 Whatmen No. 1의 흡수지로 받어 조사한결과에 따라 (1) 스며든 흔적의 번짐은 액체의 종류에 따라 다르다. (2) 작은 액체방울을 제외하면 방울의 지름과 흔적의 지름의 관계는 직선적이다. (3) 실험한 몇개 종류의 액체방울에 관하여 말하면 물 이외의것은 출돌속도는 스며든 흔적의 번짐에 관계가 없다 라고 요약 보고하고 있다. 그림-1은 그 1예를 나타낸것이다. 흡수지면에 형성되는 흔적의 번짐이 물방울의 낙하속도나 흔적의 건조속도에 영향을 미치는 정도를 실험한 Inoue[9](1962)의 결과에 의하면 0.1m 낙하하는 경우 50°C로 oven에서 건조한 것은 실온에서 dessicator로 건조한 것에 비하여 흔적의 지름은 1.5% 감소한다고 한다. 또 실온에서 dessicator로 건조하는 경우 5.0m 낙하하는 물방울의 흔적의 지름은 0.1m 낙하의 경우에 비하여 3.7% 증가하였다고 한다. 건조속도의 영향은 비교적 적지만 낙하속도의 영향이 상당히 크다는 것을 알수있다.

이상을 총괄하면 흡수지면에 생기는 흔적의 번짐에 영향을 미치는 요인으로서는 (1) 액체방울의 지면과의 충돌속도 (2) 흔적의 건조속도 (3) 흡수지의 질과 액체의 성질 (4) 흡수지의 두께 및 액체방울의 크기등을 들수있다.

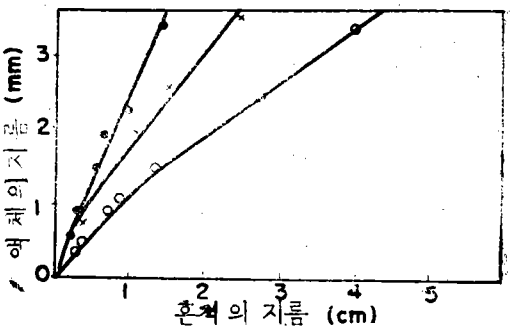


그림-1 whatman 흡수지 No. 1(Richardson)
· : methl salicylate
× : 물
○ : thiched methlsalicylate

한편 Fournier D'albe-Hidayetulla[5](1955)에 의하면 액체방울의 지름과 흡수지위에 생기는 흔적지름의 관계는 일반적으로 다음과 같은 관계들이 성립한다고 보고하고 있다.

$$\lambda = \gamma \phi^n$$

식에서 λ : 방울의 지름

ϕ : 흔적의 지름

표-1은 여러사람의 연구결과를 요약 정리한 것이다.

n의 값은 언제나 어느 경우나 일정한 정수가 아니며 첫째 액체와 흡수지의 질, 둘째 액체방울의 지름과 흡수지의 두께의비에 관계가 있는 것이다. 그러나 이 n의 값은 건조속도와 충돌속도에는 관계가 없는것 같다. (방울의 지름/흡수지의 두께)의 비가

표-1

Size range (mm)	n	Investigator	Notes
0.12~1.10	0.85	Courshee & Valentine's data 1959	Water; Absorbent filter paper.
0.13~2.00	0.84±0.02	Jarman 1956	25 to 28 hrs. after impact; Various liguids; Whatman No. 1 filter paper.
0.58~1.90	0.80	Inoue 1961	Impact velocity due to a fall of 3m; Dried in the open air; Water; Toyo Roshi No. 2 filter paper.
0.58~3.60	0.76	Inoue 1961	〃 〃
1.03~3.60	0.75	Niederdorfor's data 1932	Impact velocities due to each fall of 0.1 and 18.0m; water.
1.29~4.32	0.73	Takahashi's data 1943	Impact velocity due to fall of 0.1m; Dried in a dessicator; Water; Toyo Roshi No.1 filter paper.
2.1~4.5	0.71±0.02	Inoue 1961	Impact velocities due to each fall of 0.1, 0.5 and 5.0m; Dried in the open air, in an oven or in aldessicator; Water; Toyo Roshi No. 2 filter paper.
2.3~6.5	2/3	Fournier D'albe & Hidayetulla 1955	Terminal velocity; As soon as possible after impact; Water; Absorbent filter paper.
<6	2/3	Itoo et al. 1953	Zero impact velocity; Water; Toyo Roshi No. 1511 filter paper.(Thickness 0.11mm)

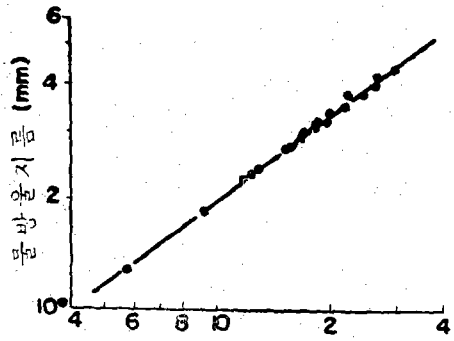
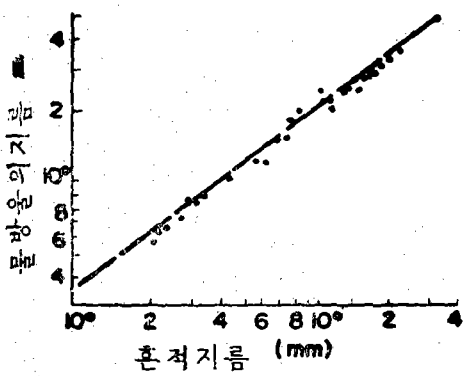


그림 2 혼적의지름 (mm)
Toyo 흡수 NO.1 에 eosine talc 를
중량비1:10 으로 혼합한것을 칠한것



그림—3 물방울지름과 혼적지름의 관계
$\lambda = 0.345\phi 0.76$

작을때 n은 1에 접근하고 반대로 그 비가 클 때에는 $\frac{2}{3}$로 된다는 것이 알려져있다. 그림—2는 Takahashi의 실험결과로 부터 얻은 것이다. 이는 Toyo Roshi No. 1을 사용하여 dessicator에서 건조하고 0.1 m에서 낙하시킨 경우이다.

그림—3은 Inoue의 실험결과이며 Toyo-Roshi No. 2를 사용하고 실내에서 자연건조시킨것이며 낙하거리는 3 m인 경우이다. 위의 것은 어느 것이나 앞처리로서 eosine: talc=1:10으로 한것을 칠한 것이다.

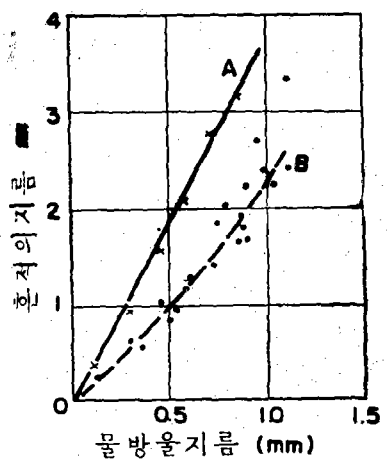
큰 물방울은 흡수지위에서 날라 흐터짐으로 이를 없애기 위하여 Mihara[19](1951)는 깨끗이 닦은 유리판 위에 한번 물방울을 받고 그 위에 eosine-talc의 혼합물로 앞처리를 한 흡수지를 대어서 명확한 원형의 혼적을 얻는데 성공하였다.

3. 석고 뿔럭법

앞에서 설명한 바와 같이 흡수지법에서는 비산상태가 생기고 혼적의 번짐이 물방울과 지면과의 충돌속도에 따라 변한다. 아울러 그림—4에서 보는바와 같이 실험결과의 분산도가 상당히 크다.

따라서 검정을 하기 위한 낙하속도는 실지시료(試料)를 채취하는 경우의 낙하속도와 같어야만 한다. 그러나 이는 곤난한 문제인 것이다. 그런데 두껍고 흡수성이 좋은 석고 뿔럭에 있어서는 위에 말한바와 같은 결함이 없을 뿐더러 방울의 지름과 혼적의 지름 사이에는 직선관계가 있다는 점이 유리한 점이기도 하다.

그러나 이 석고법(石膏法)에도 결점이 있는것이며 첫째 매끈한 표면이 먼지나 취급상의 부주의로 거칠게되면 혼적의 번짐이 변화하게 되고 둘째 사용하기에 거북스럽고 준비가 필요하다.



그림—4 물방울지름과 혼적지름의 관계
(A) 석고뿔럭
(B) 흡수지

석고법은 Furmidge(1954)에 의하여 비롯되었고 Cour-Shee-Valentine[4](1959)가 상세하게 조사 검토하였다.

석고뿔럭을 만드는 경우 혼합비율, 양생, 저장조건, 표면오염등에 따라 혼적의 번짐정도에 영향을 받으니까 특히 주의하여야 한다. Calcium Sulphate hemihydrate를 사용할때 석고 100에 대하여 물 33~35(중량비)의 비율로 혼합하는것이 좋다.

충분히 건조한 석고분말에서는 석고 100에 대하여 물 45~55의 비율로 하고, 7%의 과잉결정수를 함유하는 약간 수화(水和)한 석고분말의 경우에는 석고 100에 대하여 물 5~10의 비율로 혼합하는 것이 바람직하다. 이렇게 제조한 뿔럭은 20°C로 24시

간 양생을 한다.

이상과 같은 주의에 따르면 환산계수(물방울지름/흔적지름)는 0.263이며 일정한 값으로 된다(그림—4 참조)

그러나 이와같은 관계는 지름 200μ까지의 물방울에서는 충돌속도 5 m/sec 이하의 경우에, 지름 100μ까지의 것에 있어서는 30 m/sec 이하의 충돌속도에 있어 성립한다. 즉 석고몰럭의 경우에 있어서도 물방울의 지름이 상당히 크던가 또는 충돌속도가 너무 빠를 때에는 흔적지름에 대한 영향이 나타난다. 석고몰럭면 위에서는 흔적의 번짐이 크니까 그 중복에 주의 하여야한다.

이 석고법으로는 대략 7μ의 미세립까지 측정할 수 있다.

4. 흔적법(痕跡法)

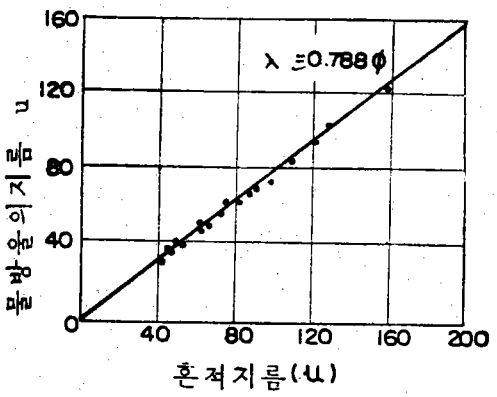
(1) MgO 법

Mg를 연소시키고 그 흰 연기로 유리·스라이드면을 끌린다. MgO에 물이 다으면 입자의 표면은 수산·마그네슘으로 되고 약간 물에 녹아서 연쇄상태는 망가지고 물방울 끝의 MgO 입자는 물이 증발함에 따라서 중앙에 몰이게 되어 MgO 입자가 없는 부분이 환상(環狀)으로 되고 물방울이 있었던 윤곽이 명확하게 나타난다. 이것을 현미경이나 또는 투영기를 사용하여 측정하는 것이다.

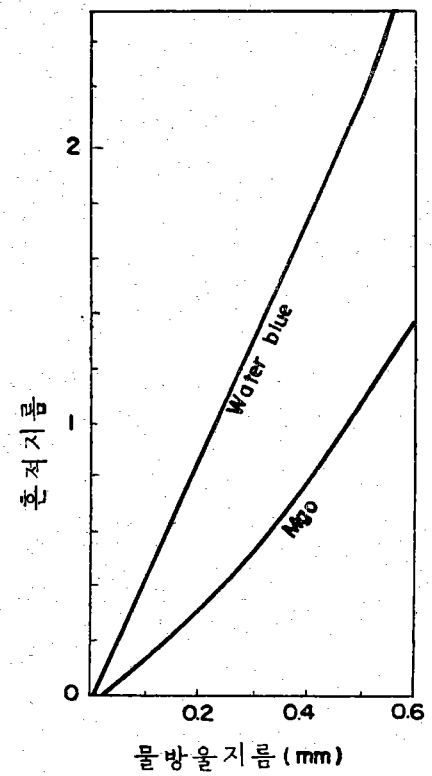
이 MgO 법은 물방울무리의 Massmedian diameter가 100μ 이하의 경우에 잘 이용되는데 물방울의 지름 약 10μ이하의 미세립은 정확히 측정할수 없다. 또 미세한 방울을 스라이드면에 충돌시켜서 채취하기 위한 공기의 흐름이 대단히 빠를 때에는 MgO 표면이 파괴될 위험이 있다.

May[18](1945)는 물방울의 지름과 MgO로 끌인 스라이드면위에 생기는 그 흔적의 지름 사이에는 직선적관계가 있고 환산계수는 0.86이라고 보고 하고 있다. 그리고 이는 충돌속도에는 관계가 없다고 한다.

한편 Maruyama-Hama[16](1954)는 1~2 % 코로지온의 초산아밀용액을 스라이드면에 방울 방울 떨어뜨려 건조시켜 막을 형성시키고 이것에 MgO의 연기를 부착시켰다. 유리의 민면이면 물방울은 그 둘레에 스며나와 그중의 원을 만들고 물방울이 크면 서로 연결되어 버린다. 따라서 유리판을 그대로 쓰는것보다 발수성(撥水性)이 풍부한 판을 쓰는편이 좋은 것이다. 자연낙하의 조건에서 지름 30~150μ의 물방울에 대한 실험결과 환산계수는 0.788을 얻었다고 하는데 이는 그림—5에서 보는바와 같다.



그림—5. MgO층 피복의 유리스라이드에 대한 시험 (Maruyama-Hama)



그림—6 Water blue film과 MgO film의 경우 (Okita)

그후 Okita[21](1958)는 물방울의 지름의 범위를 확장하여 실험하였는데 그 결과로부터 흔적의 지름과 물방울의 지름 사이에는 일반적으로 직선적관계는 없다고 보고하고 있다. 그러나 그림—6에서 보는 바와 같이 이 비직선성은 비교적 큰 물방울의 경우이며 지름 200~300μ까지의 작은 물방울의 범위에서는 Maruyama-Hama[16]가 제시한 직선관계가

있다고 보여진다.

이상 말한 것을 요약하면 결국 일반적으로는 물방울지름과 흔적지름의 비는 물방울의 지름 자체와 충돌속도에 따라 변화하는 것으로 여겨진다.

Huan Mei-Yuan(1962)은 이 영향에 관하여 교묘한 방법으로 상세하게 연구 보고하고 있다.

그 결과에 의하면 MgO 층으로 덮인 필림의 환산계수는 (1) 물방울의 크기 (2) 그 충돌속도 (3) MgO 층의 두께에 좌우됨이 분명하다. 그러나 일반적으로 물방울지름의 3영역에 따라 환산계수에 본질적인 차이를 인정할수 있다. 즉 그 영역이란 (A) MgO층의 두께보다 작은 물방울, (B) MgO 층의 두께보다 큰 물방울 (C) MgO 층의 두께에 맞먹는 물방울의 영역이다.

(A) 영역에 있어서는 환산계수는 물방울의 지름이나 충돌속도에는 관계가 없고 대략 0.8이다. (B) 영역에서는 환산계수는 물방울의 지름에는 관계가 없고 충돌속도에 따라 변한다. (C) 영역내에서는 계수는 물방울의 지름과 충돌속도의 두가지에 다 관계가 있다. 그림—7은 영역 (B)에 있어 환산계수(λ/ϕ)가 충돌속도에 따라 변화한다는 것을 보여주고 있다

이것으로 미루어 보건대 그동안 여러 연구자에 따라 여러 가지 다른 환산계수를 제시하고 있는 것이 당연한 일이라고 할수 있다. 따라서 이 방법을 쓸때에는 각각 그 조건에 따라 검정할 필요가 있다.

(2) 인화지법(印畫紙法)

인화지는 이를 감광할때 그 일부가 젖으면 그 부분은 딴 부분의 색과는 다른 색으로 변한다. 이 현상을 이용하여 인화지로 물방울을 받어 빛에 쪼이어 젖은 부분을 딴 색으로 변색시킴으로서 기록할 수가 있다. 현상이나 정착의 조작이 필요하지 않고 대단히 간단하기 때문에 야외작업에 적합하다.

Magono[15](1953)는 비방울의 연구에 이 방법을 채용하였다. 물방울이 인화지에 떨어지면 그 순간 일단 확대되었다가 다음에는 표면장력으로 수축한다 이 때문에 색이 두층으로 되는데 보통 바깥편의 지름을 측정한다. 이때 물방울이 인화지위에서 1단 확대되는 것은 그 운동의 에너지에 기인하는 것이며 흔적의 면적은 인화지의 종류에는 무관계이다.

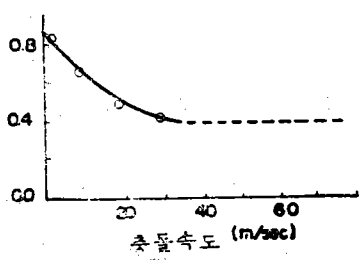
Magono는 지름 50~6,000 μ의 범위의 물방울을 인화지로 받아 시험한 결과로부터 다음 관계식을 제시하였다.

$\lambda = 0.464\,\phi^{2}/_{3}$ (단위 mm)

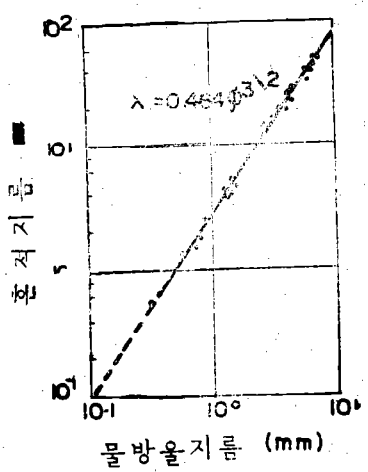
이식에서 λ가 φ의 $\frac{2}{3}$제곱에 비례하는 것은 이 양자의 관계가 부피와 넓이와의 관계에 있다는것을 뜻하는 것이며 물방울은 그 대, 소에 관계없이 인화지 위에서 같은 두께의 원판상으로 일단 번진다는 것을 나타내고 있다.

또 Sakagishi-Watanabe[25](1953)는 인화지로 받은 흔적을 더욱 선명하게 하기위하여 다음과 같은 처리법을 제안하고 있다. 즉 사진현상액을 조합하여 이를 잘 섞어서 뭉개놓는다. 물방울을 생 인화지에 받은 다음 위의 약품을 종이 위에 뿌리면 인화지위의 물방울은 그대로 현상액의 방울로 옮겨가기 때문에 그 부분이 까맣게된다. 그 다음에 물로 씻처 현상약을 없애고 정착, 수세, 건조한다. 미리 분말현상약을 뿌려 놓으면 흔적의 주위에 들기가 생기니까 좋지 않지만 미세한 물방울의 경우에는 증발할 우려가 있으니까 미리 뿌려놓는것이 좋다.

Kobayashi[13](1955)는 인화지를 사용하지 않은채로 정착액에 담은후 물로 씻고 염화코발트의 포화용액중에 담구었다가 이를 휘로타이프건조기에 걸어서 건조한 것을 사용하였다. 이것으로 물방울을 받으면 그 부분만이 백색으로 된다.



그림—7 MgO 법에 의한 환산계수(물방울지름/흔적지름)의 충돌속도에의 종성 (B)영역의 경우



그림—8 인화지면위의 물방울흔적(Magono)

(3) 사진필림법

사진용 필림을 암실내에서 현상액에 담고 이를 햇빛에 노출하여 충분히 현상한다. 이 현상한 필림을 하이포액으로 정착하고 다음에 충분히 물로 씻고 염화제2수은의 3% 용액중에 담는다. 다음에 다시 물로 씻은후 옥화카리의 0.5% 용액에 담으면 필림의 색갈은 천천히 황색으로 변한다. 전부가 꼭같이 황색으로 되었을때 끄내어 빨리 물로 씻은후 건조하는 것이다. 이와같이 하여 얻은것을 hydrophotographic film이라한다. 이 필림을 햇빛에 노출하면 그 색이 변하여 흑자색으로 되는데 이것에 물방울을 받으면 그 부분이 다시 황색의 혼적으로되어 나타나는 것이다. 이 방법으로하면 20~30μ의 미세한 물방울을 명확하게 기록할 수 있다. 100~200μ와 같이 다소 물방울이커지면 비산현상이 생기게되니까 이를 방지하기 위하여 햇빛에 노출하여 흑색으로 변한 필림위에 castor oil을 칠하여 물방울을 받는 것이 좋다. 이 castor oil이 콧슌의 역할을 하는 것이며 물방울은 castor oil의 밑으로 침강(沈降)하여 필림면에 달하고 깨끗한 원형의 혼적을 남기게된다. 다음에 기름을 씻어없애버리면 좋은데 위에 말한 방법은 Sivadjian[27](1957)이 보고한 것이다.

(4) 색소흔적법(色素痕跡法)

MgO법은 준비나 보존이 번거롭다. 따라서 물방울을 연속적으로 기록관측할 필요가 있는 경우까지도 고려하여 Okita[21](1958)는 물방울에 예민한 water blue를 칠한 cellulose nitrate film을 사용하였다. 이것은 기록의 장기보존이 가능하기도하고 준비도 쉽다. 두께 0.08 mm의 cellulose nitrate film을 농도 2.5%의 water blue수용액으로 덮고 건조시킨다. 필림위에 떨어지는 물방울은 번져감에 따라 색소가 용해하여 증발하면 깨끗한 윤곽을 남긴다. 이 윤곽을 현미경으로 측정하던가 그 사진을 찍어 확대 투영하여 측정하던가 한다. 그림—6은 Okita의 실험결과이며 2~600μ범위의 물방울의 지름에 대한 것이다. 이 방법은 필림에 낙하하는 물방울이 상당히 크더라도 비산현상이 별로 생기지 않는 것이 특징이다.

1~30μ정도의 대단히 작은 물방울의 크기를 정확히 측정하는데는 Liddell-Wootten[14](1967)에 의해 제창된 방법이 좋다. Gelatine의 극히 엷은 필림에 색소를 함유시킨다음 이를 스라이드면에 바른다. 여기에서 미세한 입자의 대부분은 1초이내에 필림으로부터 증발하는 것이니까 이 미세한 물방울에 매우 민감한 수용성 색소가 소망된다. 그리고 이경우 색소가 구비하여야할 조건은 다음과 같다.

(1) gelatine의 엷은 층중에서 색갈이 분명하게 나타날것

(2) 무기염류는 필림위에서 결정하니까 무기염류를 함유하지 말것

(3) gelatine의 엷은층 중에서 요청되는 농도에서 결정이 생기지 말것.

이러한 점에서 Naphtol Green B가 가장 적합하다. 1gr의 순수 Naphtol Green B를 20 ml의 따뜻한 증류수로 용해시켜 이를 여과 시킨다음 이것에 gelatine의 4% 수용액을 첨가한다. 이것을 데워서 스라이드에 바르는 것이다. 그러면 충돌한 미세한 물방울은 번져감에따라 색소가 용해하여 증발에따라 윤곽(고리모양의)을 남기게되니까 이 윤곽의 바깥지름을 측정한다. 이경우 약 0.8μ의 지름까지 측정이 가능하며 물방울의 지름에 대한 혼적지름의 환산계수는 0.4이다.

(5) 스크린법

특히 큰 물방울을 관측하는 경우 시료(試料) 채취면과의 접촉으로 비산현상이 생기거나 혼적에 불규칙적인 돌기가 생기는 것을 피하기 위하여 Blanchard[3](1953)는 soot로 끄슬린 50 meth, 100 meth의 쇠망을 사용하였다. 스크린을 통과하는 물방울은 soot를 원형상으로 제거하게되고 그 크기는 물방울 지름과 함수관계가 있다. 쇠망대신에 나이론제의 망을 사용하여도 된다.

5. 응고법(凝固法)

(1) 동결법(凍結法)

액체의 방울을 그 결빙점이하로 냉각시킨 한재에 증포집(捕集)하므로서 액체방울을 동결시키는 방법이며 이 특징은 (1) 전체의 분산된 방울을 측정할수 있고(이방법이외의 어느방법도 이점에서는 부적당함) (2) 개개의 액체방울을 검사할 수 있고 (3) 측정하는 전과정이 거의 자동적으로 신속하게 할수있는 점 등이다. 동결된 방울은 체로 치거나 침강법(沈降法)으로 쉽게 분류할수 있다.

Longwell(1943)은 냉각한 toluene중에서 물방울을 동결시켰으며 Tylor-Harmon[33](1954)은 dry ice로 −20°C로 냉각한 hexane을 사용하였다. 그러나 이경우 포집액의 표면에서 물방울이 깨지는 수가 있으니까 주의하여야 한다.

(2) 응고법(凝固法)

이 방법은 주로 노즐로 부터 분사되는 많은 물방울에 대한 조사에서 채용된다. 대상으로 되는 액체대신에 정적(靜的) 물리성이 비슷한 저융점액(低融點液)이나 유동왁크스를 사용하여 분사와 동시에 응

고시켜서 측정을 하는 방법이다. 그러나 액체방울층의 미세립의 형성은 분사액체의 역학적성질에 가장 많이 관계가 있는 것으로 생각되는데 이점에 대하여 아직 충분히 해명되어 있지 않기 때문에 의문이 남아 있다.

Joyce[12](1949)와 Turner-Moulton[32](1953)이 이 방법을 사용한바 있다.

6. Immersion Cell 법

(1) 저속액적(低速液滴)의 포집법(捕集法)

이는 액체의 방울을 불용성, 비휘발성의 분산제에 잡아놓아 현미경으로 측정하는 방법이다. 이경우 포집한 액체방울이 정확히 공모양으로 되어야 한다.

Tanasawa[29](1949)는 실험을 통하여 공모양으로 포집하기 위해서는 방울을 받는 액체의 표면장력이 방울로되는 액체보다 적어도 10 dyn/cm 이상 작어야 하며 방울을 받는 액체의 점성계수는 10 dyn.s/cm² 정도의 것이 적당하며 또한 여러가지 액체를 혼합한 것이 좋다고 말하고 있다. 이를테면 물방울을 기름으로 받는 경우 물의 표면장력은 73 dyn/cm 이고 기름은 약 30 dyn/cm 이니까 물방울위에 즉시 엷은 기름층이 생기고 물방울은 기름속에 부드럽게 들어가게 되어 완전한 공모양을 유지하게된다. 만일 끈기가 적당하지 않던가 혼합액이 아닌것을 들어간 방울이 촬영중에 응집 결합하게되는 경향이 있다. 물, 알콜, 그리세린계통의 미세립에 대하여서는 바르모린 윤활유를 충분히 끌인것을 쓰는것이 적당하다고 한다.

Adler-Marshall[1](1951)은 광학적으로 평평한 유리로 만들어진 cell의 바닥을 non-wetting agent로 하여 GE Dri-film 9987로 덮어서 이를 물방울을 받는 액체로서 사용하였는데 이렇게하면 cell의 바닥에서 물방울이 공모양으로 되어 정지한다고 말하고 있다. 또 castor oil을 방울을 받는 액체로 쓴 예도 있다.

(2) 고속액적(高速液滴)의 포집법

미세한 액체방울을 고속의 공기류에서 시료채취면에 충돌시켜 잡아놓으는 경우에는 스라이드위에 끈기있는 oil을 칠하여 액체방울을 포촉하는것이 좋다. 비휘발성의 액체방울의 경우에는 유리판위에 직접 포촉하고 이 액체방울에 의하여 형성되는 평凸렌즈의 지름(D)을 알면 액체방울의 지름(λ)을 구할수 있다. May[18](1945)는 이 렌즈의 초점거리 (f)를 채여 방울의 지름 (D)를 계산하는 식을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$f/D = \frac{1}{2}(\delta - 1)\sin\theta + \frac{1}{2}\tan\frac{\theta}{2}$$

식에서 δ: 액체의 굴절율 θ: 접촉각

물방울의 스라이드위에 끈기 있는 oil을 칠하여 포촉하고 그 물방울이 증발하기전에 같은 oil을 칠한 Cover-Slip로 덮는것도 한 방법이다. 또는 스라이드에 칠한 grease위에 물방울을 포촉하고 증발을 막기위하여 paraffin으로 덮은 예도있다.

Pigford-Pyle[23](1951)는 유리·스라이드에 평탄하고도 균일하게 Vaseline petroleum Jelly를 칠하고 안바닥에 충분히 적선흡수지를 깔은 얕은 그릇에 이 스라이드를 놓고서 포촉측정하였다. 이렇게하면 측정하는동안 포촉한 물방울로 부터의 증발을 어느정도 막을 수가 있다.

7. 직접촬영법

이는 고속순간 촬영법으로 입도를 직접 측정하는 방법이다. 사진을 방형(方形)으로 구획한 도면위에 투영하여서 측정한다. Tanasawa[30](1960)는 말크스회로(回路)를 사용하여 10^{-6}~10^{-7} sec의 노출로 순간촬영한 자신의 경험을 보고찰고 있다. 또 Green[7](1952), Schladerbusch-Czeratzki[26](1959)도 노즐로부터 분사되는 물방울을 그 방울의 지름과 속도를 사진촬영을 통하여 교묘하게 측정하였다. 그러나 한장의 사진에 찍히는 물방울의 수효는 적으니까 물방울의 수효가 극히 적을때만 가능하고 또 미세한 앞의 측정은 곤난하다.

8. Electronic 법

Sauter(1926)는 광학적방법으로 분사되는 많은 물방울을 측정하였다. 미세한 액체방울은 그 곡율반경이 작고 렌즈의 작용이 강하기 때문에 액체방울에 다은 광선은 세게 굴절한다. 따라서 이것에 평행광선을 대어 상을 스크린위에 투영하면 까맣게 나타나 마치 불투명한 액체가 있었던 경우와 한가지로된다. 이작용을 응용하여 미세한 액체방울이 있는 경우와 없는 경우의 스크린위의 조도(照度)를 광전관(光電管)등으로 비교하는 한편 딴 방법으로 전체 입자의 부피를 측정하면 비표면적(比表面積)을 주로한 평균입경을 구할수가 있다. 이 방법은 그 크기를 직접 읽을 수 있는 이점이 있지만 비표면적을 주로한 평균지름만을 구할 수 있을 뿐만이다.

Charged wire로 구성된 interceptor에 전도성(電導性)의 액체방울이 충돌하면 그 wire에 (−)의 전기적 pulse가 생긴다. 그런데 이 pulse는 액체방울의 크기에 따라 변화한다. 이 pulse를 증폭하여

변별기에 보내면 설정한 전압이상의 pulse만을 통과시키는데 이 통과된 pulse를 scaler로 계수(計數)하는 것이다. 이방식은 Geist-York-Brown[6](1951)이 채용하여 상당한 성과를 올린바 있다. 그외에 Hawksley[8](1952), Adler-Nark-Marshall-Parent[1](1954) 등이 보고한바도 있으니 참고로 할것이다.

한편 비방울의 연구용으로서 Maulard(1951)는 전화의 수화기의 막에 비방울을 받아 비방울 한개씩의 음의강도를 측정함과 아울러 그 수효를 헤아린바 있는데 이 방법은 지름 0.5mm 이상의 비방울에 한정하여 적용할수 있다고 한다.

그후 Bowen-Davidson(1951)은 비방울의 Spectrograph를, 또 Mason-Ramanadham[17](1953)은 비방울 측정용의 Spectrometer를 개발하였다. 이 Spectrometer의 원리는 비방울에 의하여 교란되는 빛의 량이 비방울의 지름과 관계가 있다는것을 이용한것이며, 이 방법으로는 지름 약 100μ이상의 물방울의 특증이 가능하다고 한다.

이상 액체방울의 지름을 측정하는 여러가지방법에 대하여 그 대략을 소개 비교고찰하였는데 스프링클리의 살수문제를 취함에 있어 이들 방법의 활용에 라소라도 도움이 된다면 더없는 다행으로 생각하는 바이다.

참 고 문 헌

(1) Adler, C.R., Mark, A. M., Marshall, W. R. and Parent, R. J. (1954) Chem, Eng. Progr. 50 : 14

(2) Adler, C.R., and Marshall, W.R. (1951) Ibid. 47 : 515

(3) Blanchard, D.C. (1953). J. Met. 10 : 6

(4) Courshee, R.J. and Valentiner, R.W. (1959) J. Agr. Zng. Res. 4 : 62

(5) Fournier D'albe, E.M and Hidayetulla, M.S. (1955) Quart, J. Roy. Met. Soc. 81 : 610

(6) Geist, J. M., York, J. L. and Brown, G.G. (1951) Ind. Eng. Chem. 43 : 1371

(7) Green, R.L. (1952) Agr. Eng. 33 : 563

(8) Hawksley, P.G.W. (1952) Nature 170 : 984

(9) Inoue, H. (1962) 春川大學 農學部 學術報告 14 : 75

(10) Itoo, Ko. Yano, T. and Hama, K. (1953) 氣象集誌 Ser. II. 31 : 219

(11) Jarman, R.T. (1956) Quart. J. Roy. Met. Soc. 82 : 352

(12) Joyce, J.R. (1949) J. Inst. Fuel. 22 : 150

(13) Kobayashi, T. (1955) 氣象集誌 Ser. II. 33 : 217

(14) Liddell, H. F. and Wootten, N. W. (1957) Quart, J. Roy. Met. Soc. 83 : 263

(15) Magono, C. (1953) 氣象集誌 Ser. II. 31 : 286

(16) Maruyama, H. and Hama, K. (1954) Ibid. Ser. II. 32 : 167

(17) Mason, B. J. and Ramanadham, R. (1953) Quart. J. Roy. Met. Soc. 78 : 490

(18) May, K.R. (1945) J. Sci. Instrum. 22 : 187

(19) Mihara, y. (1951) 農業技術研究報告 Ser. A. No. 1 : 1

(20) Niederdorfer, E. (1932) Met. Z. 49 : 1

(21) Okita, T. (1958) 氣象集誌 Ser. II. 36 : 164

(22) Ouchi, K. (1957) Ibid. Ser. II. 35 : 197

(23) Pigford, R.L. and Pyle, C. (1951) Ind. Fng. Chem. 43 : 1649

(24) Richardson, E.G. (1935) Flow Properties of Disperse Systems. ed. by J.J. Hermans. Amsterdam; North-Holland publshing Co.

(25) Sakagishi, S. and Watanabe, K. (1953) 氣象集誌 Ser. II. 31 : 323

(26) Schladerbusch, H. and Czeratzki, W. (1959) Land-technische Forschung 9 : 25

(27) Sivadjian, J. (1957) Quart. J. Roy. Met. Soc. 83 : 372

(28) Takahashi, Y. (1943) 氣象集誌 Ser. II 21 : 111

(29) Tanasawa, Y. (1949) 化學機械協會年報 7 : 84

(30) —— (1960) 熱機關大系 6, ディーゼル機關 1, 東京, 山海堂

(31) Tate, R.W. and and Marshall, W.R. (1953) Chem, Eng. progr. 49 : 161

(32) Turner, G.M. and Moulton, R.W. (1953) Ibid, 49 : 185

(33) Tylor, E.H. and Harmon, D.B. (1954) Ind. Eng. Chem. 46 : 1455