

스프링클라관개 방법에 관한 연구

A study on methods of Sprinkler Irrigation

*민 병 섭
Byung Sup Min

I. 시험연구의 개요

(1) 시험연구의 목적

농업의 근대화와 농민의 소득증대사업의 추진에 수반하여 앞으로 전작물(田作物)에 대한 관개의 필요성이 점차 절실해질 것인바 전작물에 대한 관개방법중 가장 적용범위가 넓고 다목적이용이 가능한 "스프링클라 관개방법"에 관한 이론적인 해석(解析)과 효율적인 살수방법을 위한 기초적인 시험연구를 하므로써 합리적이고 효율적인 스프링클라에 의한 관개계획의 수립과 그 실시에 기여코자 한다.

(2) 시험연구기관 및 시험연구기간

본 시험연구는 1970년5월10일부터 12월10일까지 7개월에 걸쳐 실시한 것이다.

(3) 시험연구대상 및 범위

본 시험연구사업은 소기의 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 시설을 대상으로 하였다.

가. 시험구 : 1구면적 30m×30m 로 평탄구, 15°경사구, 30°경사구의 3개구 설정.

나. 스프링클라 : 중간압식 살수기, 살수압력 2.0 kg/cm², 3.0 kg/cm², 4.0 kg/cm²의 3종, 노즐의 지름은 2.4mm, 4.0mm, 4.9mm, 5.4mm의 4종을 사용한다. 살포량조사시설 : 구경 70mm의 캔 144개

라. 물방울의 입경측정장치 : 8×11cm의 유리판, 1/20mm 눈금의 50배율 확대경

시험연구 범위는

가. 살수물방울의 입경(粒徑) 측정

나. 공기의 저항을 고려한 경우의 물방울의 운동방정식

다. 물방울이 비산하는 동안의 증발을 고려한 경우의 물방울의 운동방정식

라. 물방울의 운동피적과 그 도달거리

마. 단일 스프링클라에 의한 평탄지에서의 살포도형에 관한 시험

바. 상한함수에 의한 살포도형 및 물방울의 운동방정식과 입도분포의 확인

사. 경사면(15°, 30°)에서의 살수분포형에 관한

연구 등을 실시하였다.

(4) 시험연구방법

본 시험연구에 있어서는 시험구로서 평탄지, 15° 및 30°의 3개구(1구 면적 30m×30m)를 각각 조성하여 상기한 시설을 이용하여

가. 물방울의 지름 측정, 물방울을 지름과 그 도달거리간의 관계, 물방울의 지름과 살수량과의 관계를 해석 규명하는 한편 물방울의 운동방정식을 바탕으로 그 운동피적을 구하여 살수분포형을 추정하는 기초를 마련하는 동시에,

나. 평탄지에서의 살수분포를 측정하기 위하여 캔 144개를 이용 그 수수량(受水量)을 조사하고

다. 15° 및 30°경사지에 대한 살수분포상황을 추정 규명하였다.

II. 목적과 방법

우리나라는 그동안 논에 대한 관개용수원의 개발에 주력하여 큰 성과를 올렸으며 멀지않은 논에 대한 관개시설은 완성단계에 도달할 것이다. 그러나 농업의 근대화와 농민의 소득증대를 위하여서는 밭의 고도이용과 자본집약적이고 보다 기술적인 원예작물을 비롯한 각종 특용작물의 확대보급이 요청되며 낙농의 진흥과 농지의 확대를 위한 능운 경사지의 개발에 의한 초지조성 및 과수원등의 조성이 요청될 것이다. 그런데 이러한 전지(田地)의 이용에 있어 안전성있는 계획생산을 성취하는때는 반드시 관개시설이 뒷받침되어야 할 것이므로 앞으로 우리나라에서도 전작물에 대한 관개문제가 크로즈업 될 것이다.

이 전작물에 대한 관개방법에서 가장 적용범위가 넓고 효과적인 것이 스프링클라에 의한 살수관개라는 것은 널리 알려져 있는 사실이다.

그러나 우리나라에서는 아직 이에 대한 시험연구가 별로 실시된바 없다. 따라서 필자는 스프링클라 관개의 기초적인 몇가지 사항을 규명코저 본 시험연구를 실시하였다.

물은 스프링클라 관개에 관한 기초적 또는 실질적인 연구는 외국에서는 상당히 진척되어 있는 것이 사실이다.

* 필자 충남대학교 농과대학

측 살수되는 물방울의 측정에 관해서는 Niederd-Orfer⁽¹¹⁾(1932)를 비롯하여 여러 사람들에 의하여 분말법(粉末法), 흡수법⁽¹⁸⁾, 흔적법(痕跡法)⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽²²⁾, 응고법(凝固法)⁽²⁶⁾, Immersion Cell 법⁽¹⁷⁾, 직접촬영법(直接撮影法)⁽²⁵⁾, Electronic 법⁽⁸⁾ 등이 개발 보고되고 있으며, 스프링클라에 의한 살수의 이론적인 고찰에 관한 시험연구에는 Sugi⁽²³⁾등(1958)의 “枝條架における 落水水量分布”를 비롯하여 Woodward, G.O.⁽²⁸⁾(1959)의 “Sprinkler Irrigation,” Shirai⁽²¹⁾(1959)의 “散水かんがいにおける 損失水量”, Sugi⁽²⁴⁾(1960)의 “Sprinklerの研究” Okawa⁽¹⁶⁾등(1962)의 “枝條架内の液滴の形状について”, Inoue⁽¹¹⁾⁽²⁾⁽³⁾(1962~1963)의 “Stains produced by water drops on sheets of filter paper”, “on drop size distribution in spray emitted by a sprinkler under different conditions”, “On size distribution and evaporation losses from spray droplets emitted by a sprinkler”, Okamura⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾(1968)의 “スプリンクラー散水の理論的考察” 등이 있으며 우리나라에서는 농촌진흥청 농공이용연구소⁽¹²⁾(1968)에서 스프링클라의 성능 및 구조를 파악하기 위하여 초보적인 시험을 실시한 것이 있을 뿐이다. 본 연구에서는 이들의 연구 결과를 참고로하여 시험을 실시하고 그 결과를 고찰 해석하였다.

III. 시험연구 내용

(1) 살수물방울의 입경에 관한 시험

스프링클라로부터의 살수분포상황을 실측을 통하여 파악코저 하는 경우에는 물방울의 지름별 분포를 직접적으로 필요로 하지는 않지만 이를 해석적으로 얻고자 할 때에는 반드시 지름의 조성상황(組成狀況)과 그 분포량을 정량적으로 파악하여야 한다.

1) 재료 및 방법

스프링클라의 종류: 중간압식, 사용압력 2,3,4kg/cm², 양각은 주노즐 23°, 부노즐은 17°이고 노즐지름은 4.0, 4.9, 5.4mm의 3종.

대략 지름 2mm 이하의 것은 다음 방법으로 측정하였다. 즉 얇은 파라핀막으로 덮은 몇장의 유리판(8×11cm)과 1/20mm 눈금을 한 배율 50의 확대경을 준비하고 유리판위에 떨어진 물방울 중에서 20~30개를 임의로 선정하여 빨리 그 지름을 측정하였다.

측정값은 그림-1과 같은 단면형을 갖는것의 지름이니까 물방울을 구형(球形)으로 가정할 때에는 다음과 같은 계산으로 그 참지름을 산정하여야 한다.

여기에서 유리판위의 물방울의 최대지름을 d , 물방울과 유리판과의 접촉각을 θ 라 하면 유리판 위부분의 물방울의 부피 V 는 (1)식으로 계산할 수 있다.

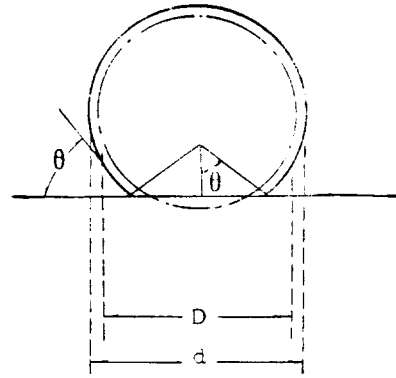


그림-1. 유리판위의 물방울

$$V = \frac{\pi d^3}{12} (1 + \cos \theta)^2 \left(1 - \frac{\cos \theta}{2}\right) \dots \dots \dots (1)$$

따라서 이것과 부피가 같은 구(球)의 지름 D 는 다음과 같이 된다.

$$D = d^3 \frac{1}{2} (1 + \cos \theta)^2 \left(1 - \frac{\cos \theta}{2}\right) \dots \dots \dots (2)$$

따라서 θ 를 알면 d 로부터 D 를 구할 수 있다.

Shirai가 측정한바에 의하면 파라핀막위의 물방울은 $\cos \theta = 0.56$ 이고

$$D \approx 0.81d \dots \dots \dots (3)$$

의 관계를 제시하고 있는데 본 시험에서는 D 의 환산에는 (3)식을 이용하였다.

물방울의 지름이 2mm 이상인 큰 것은 중력의 영향을 받게 되고 유리판위의 물방울의 곡면은 완전한 구면을 유지할 수 없게 되니까 (3)식을 적용할 수는 없는 것이며 또한 물방울이 유리판에 충돌할 때에 바사지고 비산하게 되니까 측정의 정도가 크게 저하하게 된다. 따라서 본 시험에서는 큰 물방울은 흡수지로 직접 받아 그 수요를 빨리 헤아린 다음 평량병에 밀봉하여 그 무게를 측정함으로써 물방울의 평균부피와 물방울을 구형으로 가정할 경우의 평균지름을 계산하였다.

2) 결과 및 고찰

① 물방울의 지름과 도달거리간의 관계

노즐의 위치로부터 물방울의 최대도달거리 사이에 있어 2m 간격으로 측정된 각 위치에서의 물방울의 평균지름은 그림-2에서 보는 바와같이 거리가 증대함에 따라 커지고 가장 먼 곳에 가장 큰 지름의 것이 낙하한다는 것이 분명하다.

본 실험에서 얻은 도달 거리상에서의 물방울지름의 분포상황은 거리를 제공근 눈금으로 취하고 지름을 대수눈금으로 취하여 표시하면 그림-2에서 보는바와 같이 직선적관계가 있음을 알수 있다. 이는 Shirai⁽²¹⁾나 Mizunoe⁽⁹⁾(水之江)가 보고한 바와도 일치한다.

노즐지름의 차이에 의하여 물방울이 어떻게 달라지는가 하는 것을 파악하기 위하여 4.0, 4.9, 5.4mm 노

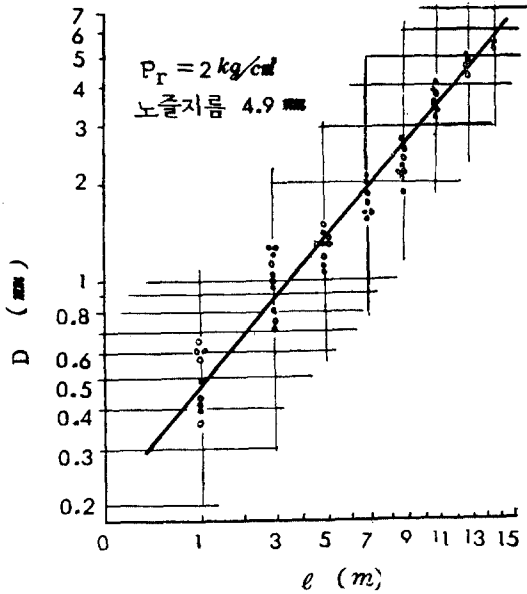


그림-2. 물방울의 지름과 도달거리

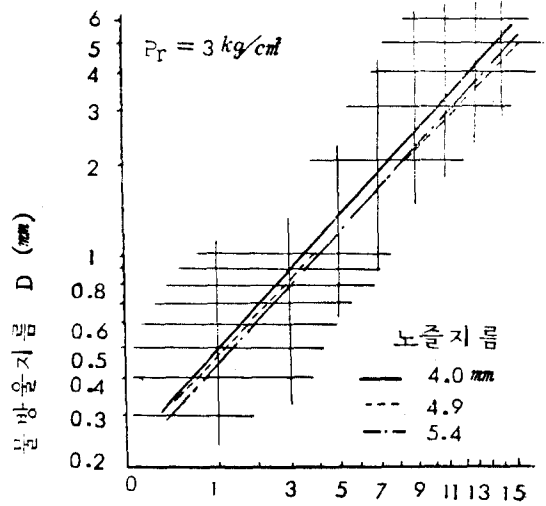
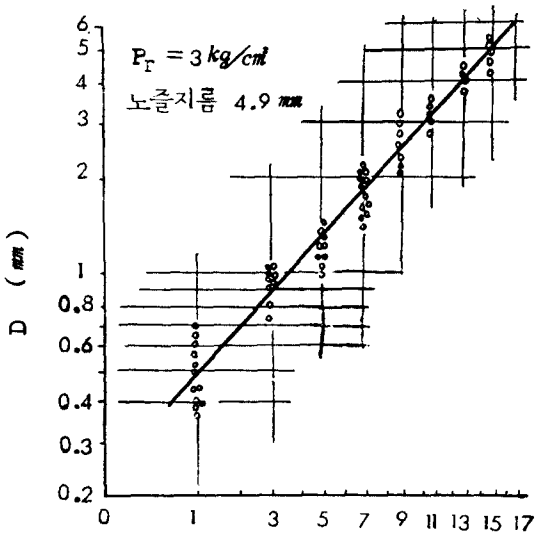


그림-3. 노즐지름별 물방울의 지름과 도달거리

예에 대한 시험결과를 비교한 것이 그림-3인데 그림에서 보는 바와 같이 확연한 차이를 인정하기 어렵다. 노즐 4.0mm와 5.4mm의 지름의 비는 1.35배인데 그 차이는 겨우 1.4mm에 불과한데 기인하지 않는가 여겨진다.

따라서 물방울의 생성차이를 확인하기 위해서는 중간압식 스프링클라 보다는 노즐지름의 변화범위가 넓은 대형의 고압스프링클라를 사용하는 것이 적당하다고 여겨진다.

② 물방울의 지름과 살수량의 관계

분사방향에 1m 간격에 배치한 물을 받는 캔으로 받은 수량을 노즐로부터 측정위치까지를 반지름으로 하는 원둘레로 나누면 살수량에 상당하는 근사적인 살수 심을 얻을 수 있다. 이와같이 하여 측정한 살수심 h는 표-1과 같다.

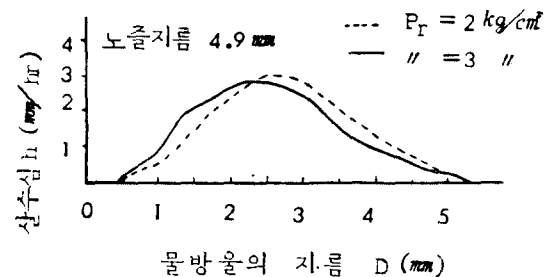


그림-4. 물방울의 지름과 살수심의 관계

표-1. 거리별살수심(mm/hr)

거리(m)	2	4	6	8	10	12	14	16
살수심 kg/cm ² Pr=2	0.210	0.701	0.592	0.822	0.801	0.300	0.210	0.10
살수심 kg/cm ² Pr=3	0.201	0.212	0.182	0.712	0.621	0.610	0.390	0.11

이 h를 ①에서 얻은 그림-2의 살수된 물방울의 지름 D에 대응시켜 표시하면 그림-4와 같은 곡선으로 된다. 그림-4는 노즐의 지름 4.9mm, 압력 2kg/cm² 및 3kg/cm²의 것인데 압력이 높아지며 큰물방울의 양은 감소하고 작은 물방울이 많아지며 최대수량을 나타내는 물방울의 지름은 작어진다는 것을 분명히 알 수 있다.

D~h 곡선에 의하여 얻어지는 물방울의 지름의 계급별 살수심의 적산비율(積算比率)을 Y축으로 하고 Dm을 최대 물방울의 지름으로 하였을 때의 D/(Dm-D)을 X축으로 하여 대수확률지에 표시하면 그림-5와 같이 대략 완전한 직선으로 된다.

이와 같이 살수현상에 있어서는 물방울지름별의 고유수량과 물방울지름의 상한해석값(上限解析價)사이에는 완전한 정규분포의 관계가 있음을 알 수 있으며 이것이 살수되는 물방울이 갖는 뚜렷한 특성으로 인정되는바 이 점은 Mizunoe가 인정하고 있는바와도 일치한다.

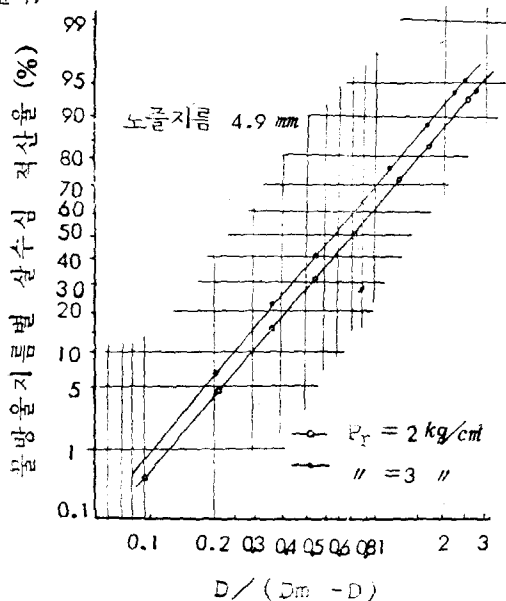


그림-5. 상한 해석도

(2) 물방울의 운동에 관한 해석

① 공기의 저항을 고려한 경우의 물방울의 운동 방정식

1) 운동하는 물방울이 받는 저항

물방울의 운동은 역학적인 조건의 설정이 적절하면

해석적으로 근사한 피적을 구할 수 있다. 여기에서 말하는 역학적 조건이란 대기중을 날아가므로 받는 공기저항과 아울러 물방울에 주어지는 운동에너지이다.

저항의 크기는 물방울의 지름과 속도에 따라 달라진다. Kuwano⁽¹⁵⁾등과 Umda⁽²⁷⁾가 물방울의 도달거리를 구하는데 있어 적용한 운동방정식은 탄도식(彈導式)으로부터 유도한 것인데 여기에서 취급한 저항은 평균적이고 단일적인 것으로 취급하고 있을뿐이며 속도 및 입경의 함수로서의 고려는 하고있지 않다.

일반적으로 점성액체중을 물체가 이동할 때 그 상대속도의 Reynold's number가 작은 경우에는 주위의 유체는 점성에 의하여 진달되는 변위를 받을 뿐이고 그 힘은 속도에 비례한다고 한다⁽⁴⁾. 이 힘은 점성저항이라 일컫으며 물체를 구체(球體)로 하였을 때에는 Stokes의 법칙에 따라 다음과 같이 표시된다.

$$F_s = 6\pi \mu r v \dots\dots\dots(4)$$

식에서 F_s : 점성저항 r : 구체의 반지름

μ : 액체의 점성계수 V : 구체의 상대속도

한편 Reynold's number가 커지면 후류영역(後流領域)이 발달하여 후류내에 소용돌이가 생기므로서 미치는 힘이 작용한다. 이 힘은 속도의 제곱에 비례하는고로 관성저항이라 일컫으며 다음과 같은 Newton의 저항법칙으로 표시된다.

$$F_n = \frac{1}{2} C_D \pi r^2 \rho V^2 \dots\dots\dots(5)$$

식에서 F_n : 관성저항 C_D : 저항계수

ρ : 유체의 밀도

Stokes의 법칙은 Reynold's number $Re < 1$ 의 범위에서 실험치와 잘 일치한다는 것이 알려져 있다⁽¹³⁾.

지금 물방울을 구체로 가정하고 $Re = 1$ 로 되는 운동속도를 산정하면 표-2과 같이 된다.

표-2. $Re = 1$ 의 운동속도

물방울의 반지름(mm)	0.25	1.0	3.0
운동속도(m/sec)	0.025	0.006	0.002

그런데 스프링클라로부터 분사되는 대부분의 물방울의 운동속도는 표-2의 속도보다는 매우 크다. 이 경우의 Reynold's number는 표-3에서 보는바와 같이 $10^2 \sim 10^4$ 의 값이다. 따라서 살수되는 물방울의 운동에 관계있는 저항은 Newton의 법칙 즉 관성저항만이 작용하는 것으로 취급하면 된다.

(5)식의 저항계수 C_D 는 Re 에 따라 값이 달라진다. Rouse⁽¹⁹⁾의 실험에 의하면 $10 < Re < 10^2$ 의 범위에서 대략 $1 < C_D < 4$, $10^2 < Re < 10^3$ 에서 $0.45 < C_D < 1$, $10^3 < Re < 10^4$ 에서는 $C_D \approx 0.45$ 라고 한다.

스프링클라 살수에서는 압력 2.0kg/cm²의 경우에는

표-3. 물방울과 Reynold's number

압력 (kg/cm ²)	초속도 (m/sec)	Re			비 고
		지름 0.5 mm	3 mm	6 mm	
2	18.8	5.92×10 ²	3.55×10 ³	7.09×10 ³	30°C, 1 기압하의 공기 의 저항계수 V=0.159
3	23.0	7.23×10 ²	4.34×10 ³	8.68×10 ³	
4	26.7	8.37×10 ²	5.02×10 ³	1.00×10 ⁴	

물방울의 지름 0.9mm 이상의 것이, 압력 4.0kg/cm²에서는 지름 0.7mm 이상의 것이 Re<10³로 되어 CD=0.45로 주어진다.

이에 관해 Seginer⁽²⁰⁾는 물방울은 고속운동의 경우에는 구형을 유지하기 어려우며 따라서 저항계수의 개념만으로 운동저항을 규정한다는 것은 무리라는 것을 지적하고 CD에 상당하는 항을 지수로 하는 함수로서 저항력을 취급할 것을 제창하고 있다.

Seginer는 이 지수를 Constant drag coefficient라고 칭하였는데 이 값의 결정방법에 대하여서는 아직 검토한 여지가 많다.

따라서 여기에서는 저항계수를 사용한 Newton의 저항법칙에 따르는 물방울의 운동에 대하여 고찰키로 한다.

2) 물방울의 운동방정식

Newton의 법칙을 적용할 수 있는 물방울의 운동에 관한 해석에는 다음과 같은 Sirai⁽²¹⁾의 이론적 고찰이 있다. 즉 스프링클라로부터의 분사는 Reynold's number가 큰 경우에 상당하거나 물방울이 받는 저항은 Newton의 저항법칙 즉 관성저항만이 작용하는 것으로 하고 X축방향의 물방울의 운동에 대하여 고찰하면 다음과 같다. 즉

X축(수평) 방향

$$\rho_w \cdot V \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{1}{2} C_D \cdot \rho_a \cdot q^2 \cdot s \cdot \frac{dx}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$$

$$\rho_w \cdot V \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{C_D}{2} \cdot \rho_a \cdot q^2 \cdot s \cdot \frac{qx}{q}$$

$$\therefore \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{C_D}{2} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{s}{V} \cdot q \cdot qx \dots (6.1)$$

여기에서 $\rho_w = \frac{r_w}{g}$: 물방울의 밀도

g : 중력의 가속도

V : 물방울의 부피

ρ_a : 공기의 밀도

r_w : 물방울의 비중량

s : 기준면에 대한 물방울의 투영면적

CD : 저항계수

q : 물방울의 운동속도

qx, qy : q의 X, Y축방향의 분속도

한가지로 Y축(수직)방향의 운동은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{C_D}{2} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{s}{V} \cdot q \cdot qy \dots (6.2)$$

(6.1), (6.2)식은 공기의 저항을 고려한 경우의 물방울의 운동방정식이다.

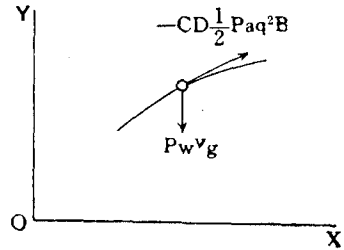


그림-6. 공기중에서 비산하는 물방울에 작용하는 힘

또한 물방울이 비산하는 동안 구체를 유지하는 것으로 하면

X축방향 :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -C_D \cdot \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{3}{4D} \cdot q \cdot qx \dots (6.1)'$$

Y축방향 :

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -C_D \cdot \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{3}{4D} \cdot q \cdot qy \dots (6.2)'$$

단, D는 물방울의 지름

② 물방울이 비산하는 동안의 증발을 고려한 경우의 운동방정식

정지상태에 있는 물방울의 증발에 관해서는 이론적으로나 실험적인 연구결과가 많지만 스프링클라로부터 비산하는 물방울의 증발손실에 관한 연구결과는 별로 없다.

이에 관하여 Inoue⁽²²⁾는 열량평형(Heat balance)의 원리를 적용하여 (7)식을 유도하였다.

$$D_0 - D^2 = 2C(1-H)t \dots (7)$$

식에서 D₀ : t(시간)=0에 있어서의 물방울의 지름(cm)

D : t(시간)후의 물방울의 지름(cm)

$$100H : \text{상대습도 } C = \frac{4Di k \rho_0}{\rho_w [k + DiL(d\rho_0/d\theta)]}$$

단, k : 공기의 열전도율(Cal/cms²c)

L : 물의 증발잠열(Cal/g)

θ : 공기의 온도(°c)

Di : 확산계수(cm²/s)

ρ₀ : 온도 0에서의 포화증기밀도(gs²/cm⁴)

여기에서 여러가지 공기조건에서의 2C(1-H)의 값은 그림-7과 같다.

(8)식으로부터 비산중의 물방울에서의 증발에 의한 입도의 변화를 고려하여 (6.1)', (6.2)'의 운동방정식을 수정하면 다음과 같다.

X 축방향 :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -C_D \cdot \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{3}{4\sqrt{D_0^2 - 2C(1-H)t}} \cdot q \cdot q_x \dots\dots\dots(6.1)''$$

Y 축방향 :

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -C_D \cdot \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{3}{4\sqrt{D_0^2 - 2C(1-H)t}} \cdot q \cdot q_y - g \dots\dots\dots(6.2)''$$

정지상태의 공기중에서의 물방울의 운동과적을 대상으로 하는 경우 증발량이 크게 영향을 미치는 것으로 여겨지는 30°C에서 상대습도 50%, 80%, 90%의 경우에 대하여 비산시간과 물방울 입경의 변화를 (7)식으로 계산한 결과는 표-4와 같다.

표-4. 비산시간과 물방울의 증발손실
t=30°C H=90%

T (sec)	D ₀ mm					
	0.15	0.25	0.50	2.00	4.00	6.00
0.9	0.14952	0.24971	0.49986	1.99996	3.99998	5.99998
1.0	0.14947	0.24968	0.49984	1.99996	3.99997	5.99998
1.5	0.14920	0.24956	0.49975	1.99994	3.99996	5.99997
2.0	0.14893	0.24936	0.49968	1.99992	3.99995	5.99997
2.5	0.14866	0.24930	0.49960	1.99990	3.99994	5.99996
5.0	0.14731	0.24839	0.49920	1.99980	3.99990	5.99993

t=30°C H=80%

T	D ₀ mm					
	0.15	0.25	0.50	2.00	4.00	6.00
0.9	0.14904	0.24924	0.49971	1.99992	3.99996	5.99997
1.0	0.14893	0.24936	0.49968	1.99991	3.99995	5.99997
1.5	0.14839	0.24904	0.49952	1.99987	3.99993	5.99995
2.0	0.14785	0.24872	0.49936	1.99980	3.99991	5.99994
2.5	0.14731	0.24839	0.49920	1.99970	3.99989	5.99993
5.0	0.14457	0.24678	0.49840	1.99960	3.99980	5.99987

t=30°C H=50%

T	D ₀ mm					
	0.15	0.25	0.50	2.00	4.00	6.00
0.9	0.14758	0.24859	0.49928	1.99981	3.99990	5.99993
1.0	0.14731	0.24839	0.49920	1.99979	3.99989	5.99993
1.5	0.14595	0.24759	0.49880	1.99969	3.99984	5.99989
2.0	0.14457	0.24678	0.49840	1.99959	3.99979	5.99986
2.5	0.14318	0.24957	0.49800	1.99949	3.99974	5.99983
5.0	0.13601	0.24187	0.49598	1.99900	3.99950	5.99967

그런데 보통 평지에서서의 비산시간은 2.5초로 넘을 일 없으며 45°의 급경사지의 아래편에 대하여도 약 5초 전 도달한다. 표-4에서 분명한 바와같이 물방울의 증발손실이 입경의 변화에 미치는 영향은 보통의 경우

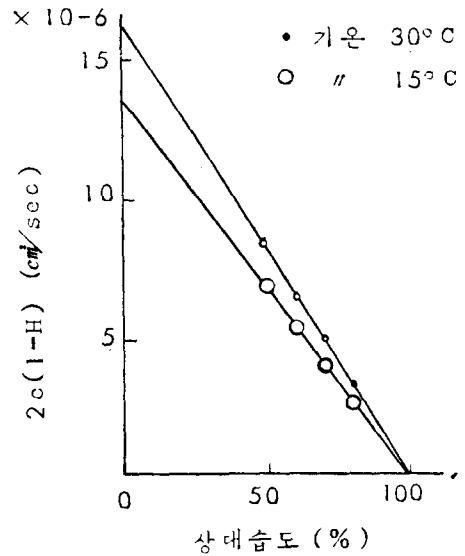


그림-7. 각종 기상조건하에서의 2C(1-H)의 계산값

극히 작으며 입경 0.5mm 이상의 물방울의 운동을 대상으로 하는 경우에는 증발손실의 영향을 무시하고 (6.1)' (6.2)'의 운동방정식을 적용하여도 충분하다고 인정된다.

(3) 물방울 운동의 궤적과 그 도달거리의 결정

노즐의 분사각도, 분사수압 및 물방울의 크기등이 주어지면 (6.1)', (6.2)'식에 의하여 그 물방울의 비산운동의 궤적좌표를 계산할 수 있다. 이 좌표를 연결한 곡선에 대상으로 되는 지형단면을 적용하면 그 물방울의 도달지점을 구할 수 있다. 동일지형에서도 분사각도나 Riser의 높이가 달라지면 물방울의 지표도달거리의 달라진다. 이와같은 여러가지 조건에 대하여 그 궤적을 구하여 놓으면 스프링클러의 종류에 따른 낙하도달지점의 차이나 나아가서는 살수분포의 차이도 분명해진다. 이 계산에서 설정한 초기조건과 결과는 다음과 같다.

① 초기조건(初期條件)의 설정

1) 스프링클러는 중간압식이고 노즐구경과 분사양각은 표-5와 같다.

표-5. 노즐구경과 분사양각

노	즐	종	구	영	각
주	부	별	경(mm)		
		줄	4.9		23°
		줄	2.4		17°

2) 분사수압은 2, 3, 4 kg/cm²의 3종이며 압력별 조속과 유량은 표-6과 같다.

3) 공기의 밀도는 30°에서 ρ=0.001165g/cm³, 물의 밀도는 ρ_w≃1.0

4) 저항계수는 물방울을 구체로 가정하고 Wie.

표-6. 초속과 유량

압 력(kg/cm ²)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
초 속(m/sec)	18.80	21.05	23.05	24.90	26.60	
유량(l/min)	주노즐	19.70	22.00	24.30	26.20	28.10
	부노즐	5.00	5.50	6.15	6.70	7.20

selsberger 의 $Re-C_D$ 실험곡선⁽³⁴⁾을 이용하여 다음과 같이 정함.

물방울의 지름 $D < 0.0015m$ 인 때 $C_D = 0.5 \sim 0.6$

물방울의 지름 $D \geq 0.0015m$ 인 때 $C_D = 0.45$

5) 계산에 사용한 물방울의 지름 D 는 다음의 10종으로 함.

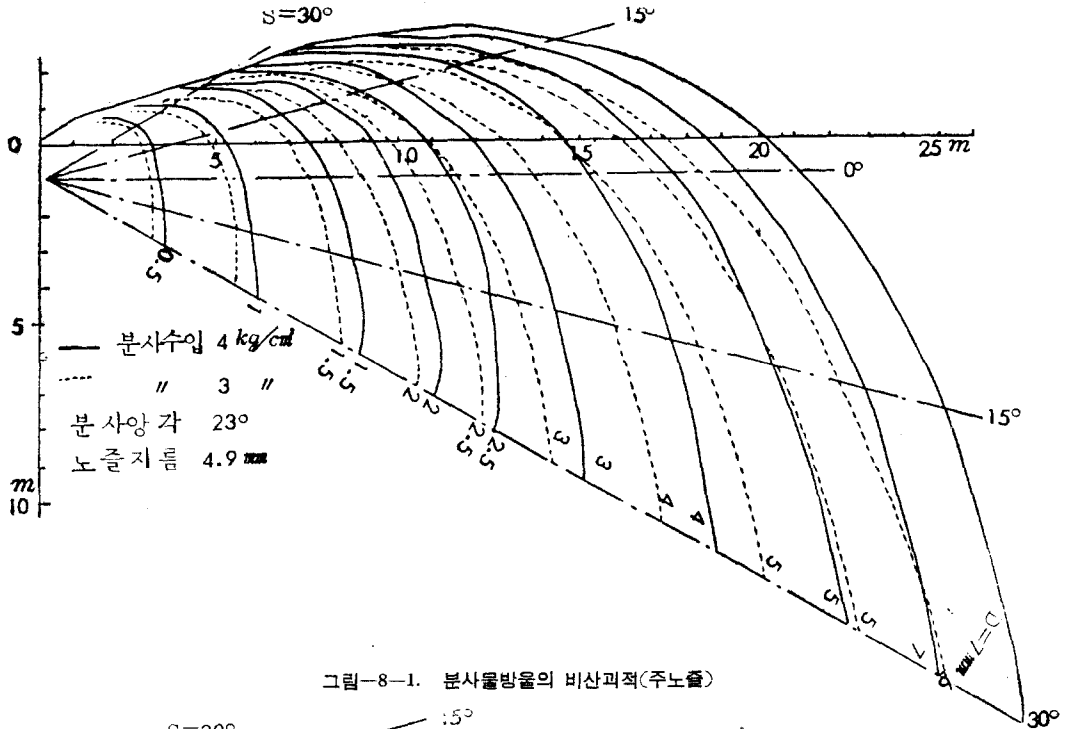


그림-8-1. 분사물방울의 비산곡적(주노즐)

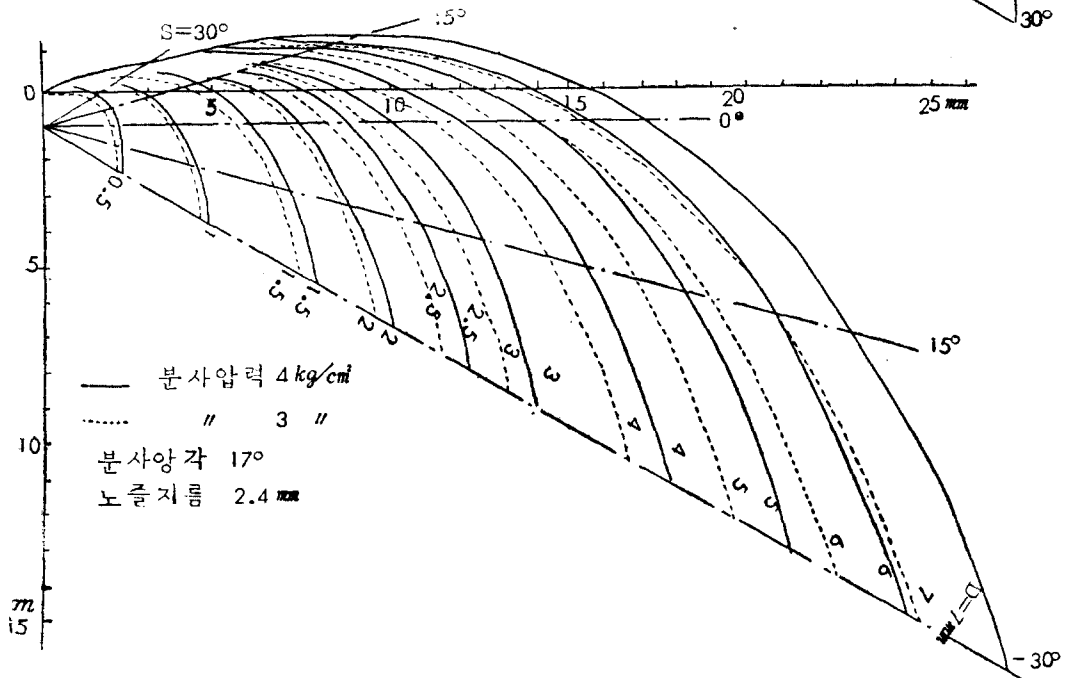


그림-8-2. 분사물방울의 비산곡적(부노즐)

0.5, 1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0,

그러나 물방울의 크기를 실측한 결과 이 스프링클러의 최장도달거리에서 평균 최다지름이 주노즐에서는 6.0mm, 부노즐에서는 약 3.0mm였으므로 물방울분포의 해석에 사용한 물방울의 운동피적은 실측최대물방울의 지름을 가지고 상한으로 하였다.

6) 지표에서의 살수량분포의 해석에 있어서는 지형을 단순한 1면경사의 경우를 상정하고 경사각은 15°, 30°로 하고 비교 대조하기 위하여 평탄지(0°)를 합한 3종으로 하였음.

② 물방울의 운동피적

바람이 없는 조건하에서의 스프링클러로 살수되는 물방울의 비산피적을 전기한 조건에 따라 물방울의 지름별, 분사수압별로 계산하여 그린 것이 그림-8이다. 그림-8.1은 주노즐의 물방울의 비산피적이고 그림-8.2는 부노즐의 물방울의 비산피적이다. 주노즐과 부노즐의 물방울의 운동형이 다른 것은 분사양각의 차이에 기인한다.

③ 물방울의 지름과 도달거리

위의 계산결과와 그림-8로부터 물방울의 크기와 지상에의 도달거리의 관계를 구하면 그림-9와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 압력이 클수록, 물방울이 클수록 도달거리가 큰 것을 알수 있으며 동일압력, 동일크기의 물방울도 경사가 (+)의 경우와 (-)의 경우와는 도달거리에 현격한 차이가 있음도 알 수 있다.

평지에서 실측을 통하여 얻은 물방울의 도달거리와 물방울 운동의 피적곡선을 통하여 구한 도달거리와는 그림-10에서 보는 바와같이 큰 물방울에 있어서는 거

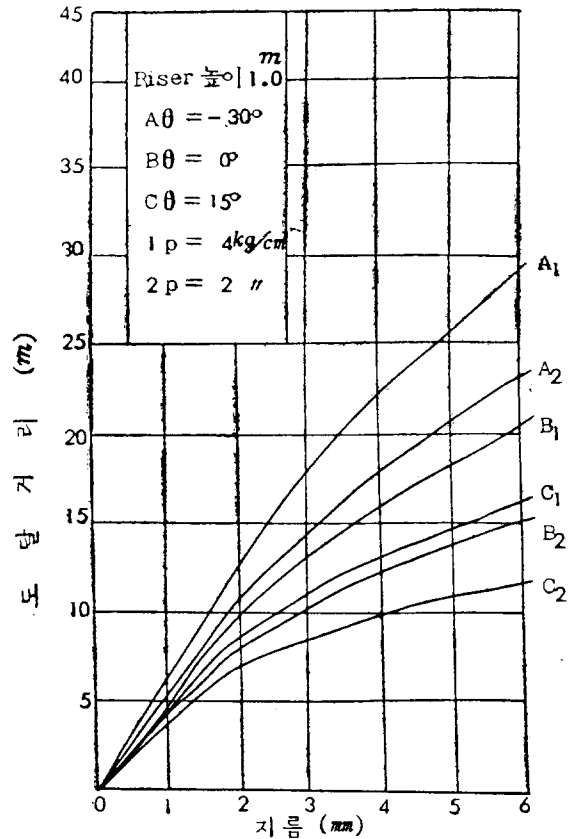


그림-9 물방울의지름과 도달거리의 관계

그림-9. 물방울의 지름과 도달거리의 관계

의 일치하지만 작은 물방울에 있어서는 양자간에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 같은지름의 물방울

○ $P_r = 2 \text{ kg/cm}^2$

• 3 "

x 4 "

--- 2 "

— 3 "

- - - 4 "

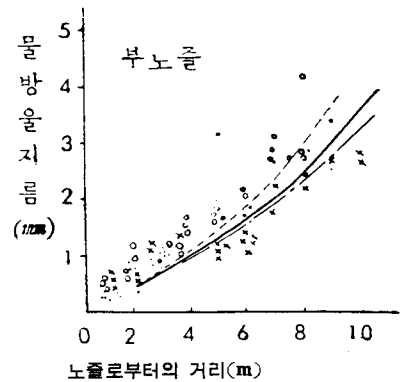
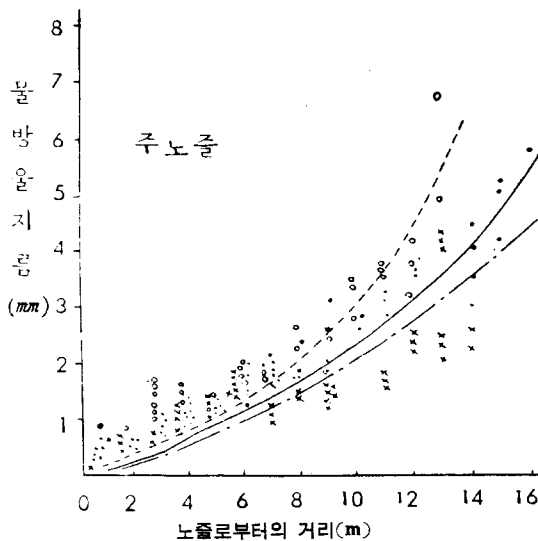


그림-10. 물방울의 도달거리

에 있어 계산값이 실측값보다 크게 되는 경향이 있음을 알 수 있다. 이는 물방울이 받는 저항을 Newton의 저항법칙에 의한 관성저항만을 받는 것으로 전제하여 계산을 한 결과라고 생각되며 실제로 있어서 작은 물방울이 받는 저항은 Stokes의 점성저항의 영향도 있는 것으로 여겨진다. 따라서 큰 C_D 의 값을 취하는 Stokes의 식을 사용하던가 또는 Newton의 식을 적용하되 C_D 의 값을 더 크게 취하면 실측값과 보다 잘 일치할 것으로 추정된다.

(4) 단일스프링클라에 의한 평탄지에서의 살포도형에 관한 시험

① 재료 및 방법

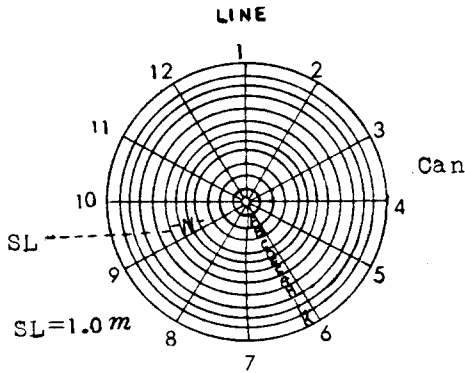


그림-11. 캔 배치 도

그림-11에 표시한바와 같이 12등분한 방사선상에서 1.0m 간격으로 12개, 합계 144개의 캔을 배치하였다. 살수기의 압력은 2.0, 3.0, 4.0kg/cm²의 3종이며 스프링클라의 조작은 최초에는 주노즐과 부노즐을 동시에 작동시키고 다음에 부노즐은 닫고 주노즐만으로 살수하였다.

② 결과 및 고찰

측정결과를 표시한 것이 그림-12이다. 그림은 스프링클라를 중심으로 4방향에 대하여 측정하고 그 평균값을 취하므로써 바람의 영향으로 생긴 근소한 오차를 상쇄하여 작성한 것이다. 그림-12에서 ①은 주노즐만의 살수량이고 ②는 부노즐만의 살수량이며 ③은 반동간(反動程)에 의한 반발수량이다. ④는 주노즐에 의한 살수량과 반발수량의 합계이며 ⑤는 주, 부노즐의 살수량과 반발수량의 합계이다. 그림의 부노즐의 살수심은 전체노즐의 측정값에서 주노즐의 측정값을 뺀 값이다.

한편 물방울의 운동과적을 결정함으로서 물방울의 평균지름별의 도달거리를 구할 수가 있으니 이 관계와 위의 실험결과를 조합하므로써 물방울의 평균지름과 살수량을 대응시킬 수 있다. 그림-13이 그 예이다.

이를 통하여 알 수 있는 특질의 하나는 극대살수심을 갖는 물방울의 지름은 주, 부노즐 다같이 압력이 높

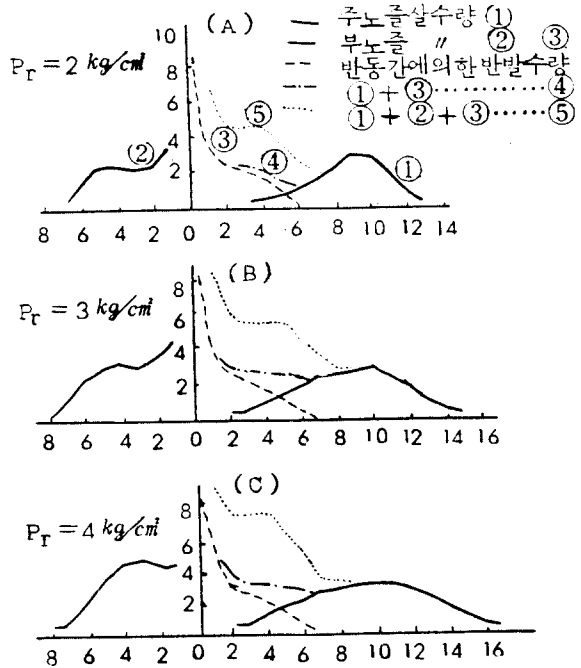


그림-12. 1개의 스프링클라의 살수심단면

은 것일수록 적게 되는 경향이 있다는 점이다. 노즐로부터 분산되는 물방울의 크기에 관하여는 인자에는 노즐의 지름, 압력, 점성등이 있으며 노즐의 지름이 작고 압력이 높을 때에 형성되는 물방울은 비교적 작은

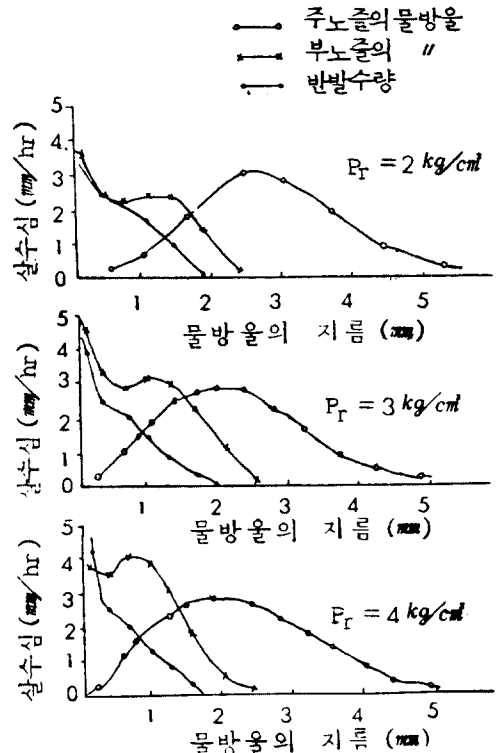


그림-13. 살수심과 물방울지름의 관계

물방울이 찾아하는 비율이 많아진다는 일반적인⁽²⁸⁾ 설명과도 합치한다.

(5) 상한함수에 의한 살수수분포도형 및 물방울의 운동방정식과 입도분포의 확인

노즐로부터 분사되는 많은 물방울중에서 같은 크기의 물방울은 전부 같은 속도, 분사각으로 되고, 같은 피적으로 낙하한다면 스프링클러를 회전시킬때 지표에 나타나는 물방울의 낙하평면분포형은 바람이 없는 조건인 평탄지에서는 물방울의 지름별로 도달거리를 반지름으로 하는 동심원(同心圓)으로 된다.

한편 (6.1)', (6.2)', 식으로 물방울의 비산피적을 결정할 수 있으니까 물방울의 평균지름별의 도달거리도 구할 수 있다. 이 관계와 전항의 실측관계를 조합하므로써 물방울의 지름과 살수량과를 대응시킬 수 있다 (그림-13).

또 물방울의 지름별로 고유의 살수량을 갖는 것이니까 살수분포에서 한 선상의 살수심은 전부 같으며 물방울의 지름의 변화가 직선적으로 연속되는 것으로 하면 물방울지름의 변화와 비례관계가 성립하는 것으로 취급할 수 있고 따라서 그 위치에 낙하할 물방울의 지름을 추측할 수 있다. 이와같이 하여 결정된 물방울의 지름에 그림-13의 관계를 적용하면 그 위치에 있을 살수심의 값을 얻을 수 있다.

한편 대수확율지상에 중축에는 적산수량백분율(積算水量百分率)을, 횡축에는 입경 D 와 최대입경 D_m 와의 편차(D_m-D)와의 비 즉 $D/(D_m-D)$ 를 취하여 표시하면 그림-14에서 보는 바와 같이 대략 직선으로 된다.

이는 스프링클러 살수에 의한 물방울의 입도분포가

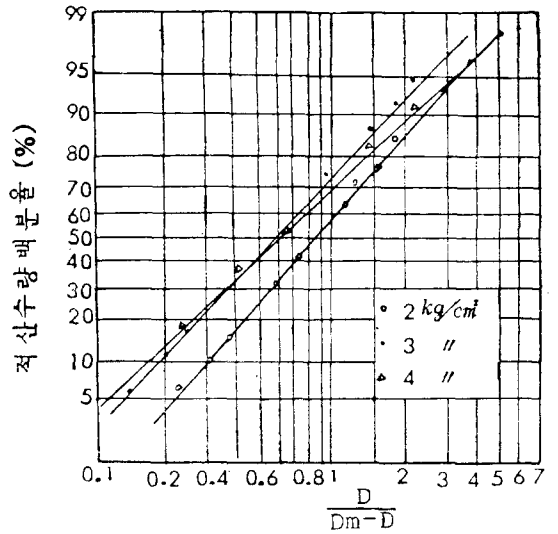


그림-14. 상한 해석

Mugele와 Evans⁽¹⁰⁾에 의하여 제창된 상한함수에 따른다는 것을 의미한다. 또 이 상한함수는 실지의 실험 데이터와 정확히 일치한다는 것이 확인되어 있는 사실로부터 본 연구에 사용한 이론적인 물방울의 운동방정식과 그 해석도 실지와 잘 일치한다고 여겨진다.

(6) 경사면에서의 살수분포

① 경사도와 물방울의 도달거리

경사면에서의 물방울의 도달거리를 구할려면 그림-8이 기초가 된다. 분사위치를 기준으로 하고 이것으로부터 수직하방에 취한 Riser의 높이에 상당하는 위치를 원점으로 한다. 이 원점을 통하여 임의의 경사선을 그리고 꼭선과의 교차점까지의 거리를 측정함으로써 얻을 수 있다. 그림-8은 하방 경사면 30°까지의 경우

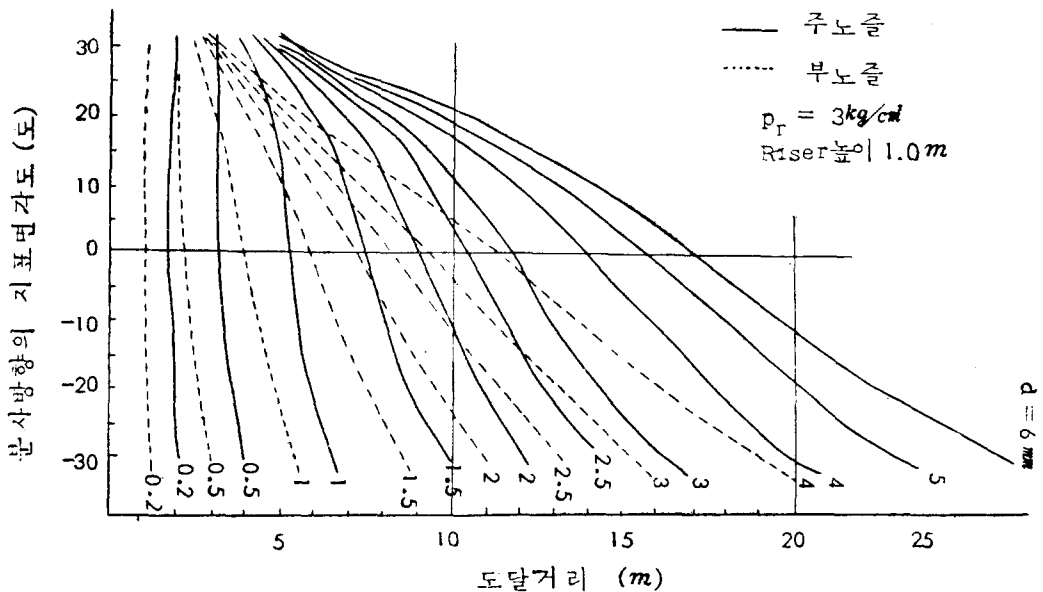


그림-15. 지표면의 각도와 물방울의 도달거리

에 적용할 수 있다.

지표면의 경사각도별로 각 물방울의 도달거리를 표시한 것이 그림-15이다. 그림-15에서 보는 바와같이 경사각이 커질 수록 스프링클라의 하방에서는 물방울 사이의 도달거리의 차이가 넓어지는데 대하여 상방

에서는 축소되고 40°전후의 경사 특히 45°이상으로 되면 Riser의 높이 1.0m의 경우에는 어느 물방울이건 한정된 좁은 범위에 집중하게 된다.

한편 경사방향의 상방과 하방의 도달거리를 평탄지의 경우에 대한 비로 비교한 것이 그림-16이다.

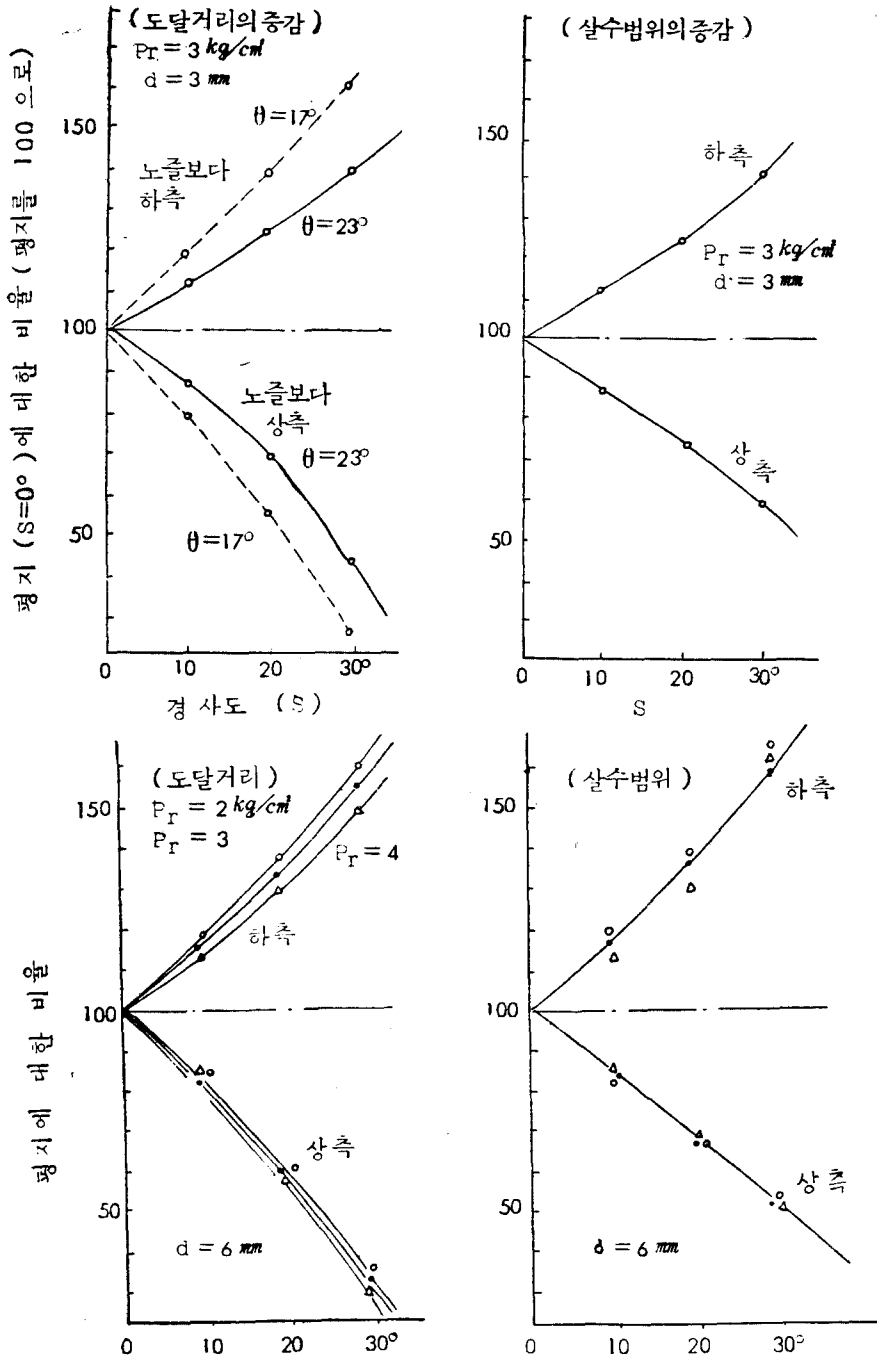


그림-16. 경사도와 도달거리 및 살수범위의 증감관계

주, 부노즐 다 같이 하방도달거리의 연장율은 상방의 축소율에 비하여 약간 작는데 상대적인 살수직경의 변화나 또는 살수면적의 증감은 근소한 것으로 보아도 무방하다. 그러나 앞서 말한바와같이 Riser의 높이 1.0m 에서는 경사도 40° 정도이면 비탈면 상방에서의 축소율의 변화는 없었지니까 하방에서의 확대만이 주되는 살수면적으로 된다. 따라서 이와 같은 경우에는 상방에서의 살수강도가 대단히 크게 되고 관개효율의 저하와 토양침식을 초래하게 되어 좋지 못한 결과를 가져오는 것이니까 40° 이상의 급경사지에서는 그 관개방법과 아울러 기구에 대해서도 대폭적으로 개량할 필요가 있다고 본다.

② 경사면에서의 살수분포도의 추정

이미 (2)의 그림-8에 표시한 각종압력 및 물방울의 운동과적을 이용하고 전항에서 설명한 바에 의하여 모든 경사각에 대한 물방울의 도달위치를 결정할 수 있다. 즉 경사면에 1개의 스프링클러를 통과하는 방사선상의 물방울의 도달저점을 결정할 수 있다. 그림-17, 18의 하부는 압력 3.4 kg/cm²에서의 경사각 15°, 및 30°의 비탈면 위의 물방울의 도달선도이다. 한편 (4)에서 설명한 바와같이 스프링클러의 압력과 노즐의 지름별로 노즐로부터의 거리에 대한 살수분포량을 얻을 수 있다.

또는 이 각 지점에서의 살수심은 전항 (1)에서 논급한바와 같은 방법으로도 구할 수 있다. 이와같이 하여 구한 스프링클러로부터의 거리에 상당하는 살수심을 경사면상의 스프링클러를 통과하는 방사선상에 옮기고

그 등수점(等水點)을 연결하므로써 경사면에 있어서의 살수분포를 추정할 수 있는 것이며 그림-17, 18의 위편 그림이 그 예이다.

이 그림을 통하여 특히 주목할 것은 경사도가 급할수록 경사면의 상류측에서는 분포가 과밀(過密)상태로 되고 반대로 하류측에서는 과소(過疎)상태로 된다는 점이다. 따라서 살수강도가 과대하게 되어 토양침식을 초래하게 될 우려가 있고 지표유거수가 많아져서 살수효율의 저하를 가져올 가능성이 있으니 살수량의 조절이나 살수기의 구조개선 등의 문제도 고려할 필요가 있다.

IV. 적 요

본 시험연구는 스프링클러관개의 합리화와 효율의 제고를 위하여 스프링클러살수의 기초적인 사항인 물방울의 운동과 살수량의 분포상황을 규명하기 위하여 이론적인 해석과 실측실험을 농림부의 연구조성비로서 실시한 것인데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 노즐로부터 방사되는 물방울의 각 도달지점에서의 평균지름은 거리가 멀어짐에 따라 커지고 가장 먼 곳에 가장 큰 지름의 것이 낙하한다. 그리고 지름별 물방울의 분포상황은 거리를 제곱근 눈금으로 취하고 지름을 대수눈금으로 취하여 표시하면 그림-2에서 보는 바와같이 직선적인 관계가 성립한다.

(2) 살수현상에 있어서는 물방울 지름별의 고유수량과 물방울지름의 상한해석값 사이에는 완전한 정규분포의 관계가 성립하는 것이며 이 점이 바로 살수되는

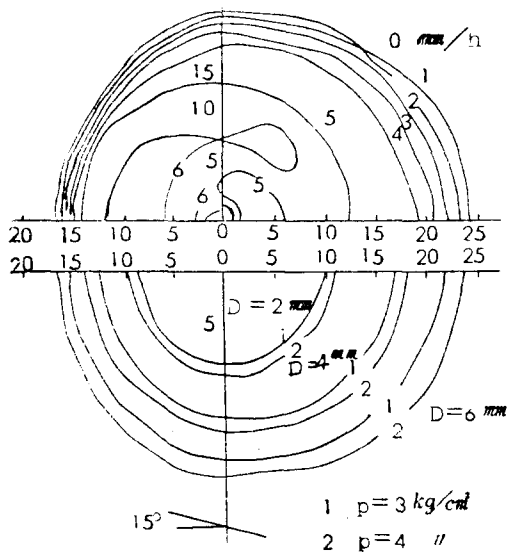


그림-17. 15°경사면에서의 살수입도의 분포 (1개의 스프링클러)

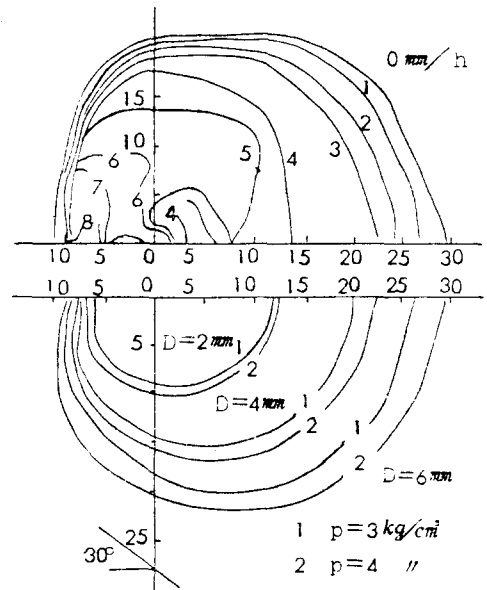


그림-18. 30°경사면에서의 살수입도의 분포

물방울이 갖는 특성이다.

(3) 공기의 저항을 고려한 경우의 물방울의 운동과적을 구하는대는 Newton의 저항법칙 즉 관성저항만이 작용하는 것으로 하여 유도한 (6.1)', (6.2)'식을 이용하면 된다.

(4) 물방울의 증발손실이 입경의 변화에 미치는 영향은 보통의 경우 극히 작은 것이니까 입경 0.5mm 이상의 물방울의 운동을 대상으로 하는 경우에는 증발손실의 영향은 무시하고 (6.1)', (6.2)'의 운동방정식을 그대로 적용하여도 무방하다고 인정된다.

(5) 노즐의 분사각도, 분사수압 및 물방울의 크기등이 주어지면 바람이 없는 조건하에서의 스프링클러로 살수되는 물방울의 운동과적을 (6.1)', (6.2)'식에 의하여 그릴 수 있으며 그 1에는 그림-8과 같다.

(6) 물방울의 운동과적곡선과 그 계산결과로부터 물방울의 크기와 지상에서의 도달거리 사이의 관계를 파악할 수 있다. (그림-9) 일반적으로 물방울의 지표도달거리는 분사수압, 물방울의 크기, Riser의 높이, 토지의 경사도, 분사양각등에 따라 다르다.

(7) 평지에서 실측으로 얻은 물방울의 도달거리와 물방울운동의 과적곡선을 통하여 구한 도달거리와는 큰 물방울에 있어서는 거의 일치하나 작은 물방울에 있어서는 양자간에 상당한 차이가 있다. (그림-10) 따라서 작은 물방울이 받는 저항은 Stokes의 점성저항의 영향도 아울러 고려하여야 할 것으로 본다.

(8) 노즐로부터 분사되는 물방울의 크기에 관여하는 인자에는 노즐의 지름, 압력, 점성등이 있으며 노즐의 지름이 작고 압력이 높을때에 형성되는 물방울은 비교적 작은 물방울이 찾아하는 비율이 커진다. 또 극대살수심은 갖는 물방울의 지름은 주, 부노즐 다 같이 압력이 높은 것일수록 적게 되는 경향이 있다.

(9) 그림-5 및 그림-14로부터 스프링클러 살수에 의한 물방울의 입도분포는 Mugele와 Evans에 의하여 제창된 상한함수에 따른다는 것을 알 수 있다.

(10) 경사면에서의 물방울의 도달거리는 그림-8로부터 구할 수 있는 동시에 살수압력과 노즐의 지름별로 노즐로부터의 거리에 대한 살수분포량을 얻을 수 있으니까 이를 조합하여 경사면에서의 살수분포도를 추정할 수 있다. (그림-17, 18) 한편 경사도가 급할수록 특히 40° 이상이 되면 경사면의 상류층에서는 분포가 과밀상태로 되고 반대로 하류층에서는 과소상태로 된다.

참 고 문 헌

- 1) Inoue, H (1963) On drop size distribution in sprays emitted by a sprinkler under different conditions. 香川大農學部報告' 14 (2) 160
- 2) Inoue, H (1962) On size distribution and evaporation losses from spray droplets emitted by a sprinkler. 香川大農學部報告, 13 (2) 202

- 3) Inoue, H (1963) stains produced by water Drops on sheets of filter paper 香川大農學部報告, 14 (3) 161
- 4) Ishihara, F. Homma J. (1957) 應用水準學(上) 丸善發行
- 5) Kuwano, S., Fukujima, T. (1965) 斜面散水の均一化に關する研究. 畑地農業, No. 81 : 170
- 6) Liddell, H.F. and Wootten. N.W. (1957) Quart. J. Roy. Met. 83 : 263
- 7) Maruyama, H and Hama, k. (1954) Ibid. Ser., II. 32 : 167
- 8) Mason, B.J. and Ramand Ham, R. (1953) Quart. J. Roy, Met. Soc. 79 : 490
- 9) Mizunoe, M (1970) 傾斜地かんがいにおける水分分布の解析. 東海近畿農試研事報告 No. 19 : 150
- 10) Mugele, R.A., Evans, H.D (1951) Ind, Eng. Chem. 431 : 1317
- 11) Niederdorfer, E. (1932) Met.Z. 49 : 1
- 12) 농촌진흥청, 농공이용연구소 (1968) 1968년도시험연구보고서. 61~132
- 13) Okamura, T. (1968) スプリンクラー散水の理論的考察(I) 農土論文集 No. 26 : 49
- 14) Okamura, T. (1968) スプリンクラー散水の理論的考察(II) 農土論文集 No. 26 : 56
- 15) Okamura, T. (1968) スプリンクラー散水の理論的考察(III) 農土論文集 No. 26 : 62
- 16) Okawa, T., Funata, M. (1962) 枝條架内の液滴の形狀について. 日本鹽學會誌. 12 (4) 120
- 17) Pighord, R.L. and Pyle, C. (1951) Ind, Eng. Chem. 43 : 1649
- 18) Richardson, E.G. (1935) Flow properties of disperse systems. ed. by J. Jherman, Ams terdam; North-Holland Publishing Co.
- 19) Rouse, H (1938) Fluid mechanics for hydraulic engineers, McGraw-Hill Inc. 215
- 20) Seginer, I. (1965) Tangential velocity of sprinkler drops. Trans. Ame. Soc. Agr. Eng. 8 : 90
- 21) Shirai, K. (1959) 散水かんがいにおける損失水量. 三重大農報告 No. 20 : 61
- 22) Sivadjan, I. (1957) Quart. J. Roy. Met. Soc. 83 : 372
- 23) Sugi, J. (1958) 枝條架における落下水量分布. 日本學會誌. 12 (3) : 137
- 24) Sugi, J. (1960) Sprinkler の研究. PartI. 畑地かんがい. No. 35 : 4
- 25) Tanasawa, Y. (1960) 熱機關大系 6, デイゼル機關 1, 東京, 山海堂
- 26) Tylor, E.H., Harmon, D.B. (1954) Ind. Eng. Chem. 46 : 1455
- 27) Umita, Y., Fujioka, Y. (1966) スプリンクラー散水の實驗的考察. 農士大會講演要旨集
- 28) Woodward, G.O. (1959) Sprinkler Irrigation, 2nd ed. Sprinkler Irrigation Assoc.