

# 스프링클라 관개방법에 관한 연구(Ⅱ)

## A Study on Methods of Sprinkler Irrigation(Ⅱ)

민	병	섭*
Byung	Sup	Min

### 제 1 장 총 편

#### 1. 시험연구의 목적

농촌근대화와 농민의 소득증대를 위하여 농업의 집중적 개발을 피하고저하는 제3차 경제개발 5개년 계획의 추진에 수반하여 앞으로 전작물에 대한 관개의 필요성이 점차 절실해 질것인바 전작물에 대한 관개방법중 가장 적용범위가 넓고 다목적 이용이 가능한 "스프링클라관개방법"에 대하여 전년도에 계속 시험으로서 합리적이고 효율적인 스프링클라에 의한 관개계획의 수립과 그 실시에 기여코저 한다.

#### 2. 시험연구기간 및 시험연구기관

본 시험연구는 1971년 8월부터 12월까지 5개월에 걸쳐 실시한 것이다.

그리고 시험연구업무는 농업진흥공사 농공연구소와 한국농공학회와의 역무계약하에 한국농공학회 회원인 충남대학교 농과대학의 민병섭교수가 담당 실시하게 되었는데 여기에는 농림부, 농업진흥공사 및 학회 이사회에 의한 연구방향 및 방법에 대한 지도가 있었다.

#### 3. 시험연구대상 및 범위

##### (1) 시험시설 및 기구

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

가. 시험구 : 1구면적 30m×30m로 평탄구, 10°경사구, 45°경사구의 3개구를 조성 설정함.

나. 스프링클라 : 중간압식 살수기(Rain Bird사 제품) 1조, 노즐의 지름은 4.0mm, 4.4, 4.8, 6.4, 7.2, 7.6mm의 6종을 제작 사용함.

\*충남대학교

다. 압력계 및 유량계 : 각 1개  
라. 살포량조사기구 : 구경 75mm 길이 15cm의 비카 130개 및 메스시린다 3개(용량 100cc)

마. 풍속계 : 大田식 Hand 풍속계 1대

바. 초시계 : Seiko 사제 초시계 1개

##### (2) 시험연구 범위

가. 바람의 영향을 고려할때의 살수 물방울의 운동 방정식의 유도

나. 스프링클라 살수분포에 관한 시험

다. 경사지(10°, 45°)에서의 비산하는 물방울의 운동과정에 대하여 이론적인 해석과 실지 시험을 실시함.

#### 4. 시험연구 방법

본 시험에 있어서는 시험구로서 평탄지 10° 및 45°경사의 3개구(1구면적 30m×30m)를 조성하는 한편 상기한 시설을 이용하고 압력은 밸브로서 조절함으로써

(1) 바람의 영향을 고려할때의 살수되는 물방울의 운동방정식을 전년도에 바람의 영향을 고려하지 않을때의 경우에 대한것과 같은 관점과 같은 방법으로 이론적 해석을 통하여 유도하고

(2) 평탄지에서 바람이 부를때와 안 부를때의 살수분포형을 비교하기 위하여 비카 128개를 사용하여 그 수수량(受水量)을 관측하고

(3) 10° 및 45° 경사지에 대하여 바람이 부를때와 안 부를때의 살수분포 상황을 이론적 해석과 실지 관측을 통하여 규명 추정하였다.

### 제 2 장 시험연구편

#### 제 1 절 머리말

우리나라는 그동안 농업용수개발사업을 강력히 추

진하여 왔는데 이는 전적으로 논을 대상으로 한 것이었으며 70년말 현재 전체논의 80% 해당이 수리 안전담화되었고 나머지 20%중 약 10%는 수리안전담화 할수없는 논으로서 이는 밭으로 전환하든가 전담작과재배로 활용할 계획이니 만큼 결국 10% 해당인 10여만ha만 수리시설을 하면 논에 대한 수리사업은 일단 완성되는 셈이다.

그러나 농촌의 근대화와 농민의 소득증대를 성취하려면 밭의 고도이용과 자본집약적이고 보다 기술적인 원예작품을 비롯한 각종 특용작물의 확대보급이 요청되며 낙농의 진흥과 농지확대를 위한 구릉경사지의 개발에 의한 초지나 파수원등의 조성이 불원한 절실히 요청될 것으로 여겨진다.

그런데 이러한 밭의 효율적인 이용에 있어 안전성있는 계획생산을 보장하는데는 반드시 관개시설이 뒷받침 되어야하며 합리적이고 효율적인 관개시설은 반듯이 이에관한 시험연구를 바탕으로 하여야만 한다. 따라서 우리나라에 있어서도 질작물 관개에 관한 각종 시험연구의 적극적인 수행이 절실한 과제로 제기되기에 이르렀다.

한편 전작물에 대한 각종 관개방법중 작물, 지형, 토양등의 제반조건의 제약을 가장 적게 받는 가장 적용범위가 넓고 효과적인 방법이 스프링클라에 의한 살수관개라는 것은 널리 알려져 있는 사실이다. 그럼에도 불구하고 우리나라에서는 이에 대한 시험연구가 별로 실시된바 없고 다만 수원 농공이용연구소에서<sup>(28)(29)</sup> 스프링클라관개의 효과와 스프링클라의 성능에 관한 시험이 실시되었을 뿐이다.

이러한 실정을 감안하여 필자는 1970년부터 이에 관한 시험에 착수하였으며<sup>(30)</sup> 금년도에는 제2차연도로서 작년에 하지못하였던 스프링클라관개에 관한 기초적인 몇가지 사항을 계속 규명코져 본 시험연구를 실시하였다.

물론 외국에서는 스프링클라 관개에 관한 각종 연구가 전부터 상당히 추진되어왔고 현재에도 진행중에 있거니와 그 대강을 살펴보기로 한다.

이 스프링클라에 관한 그간의 연구는 이물 그 내용에 따라 살수관개와 관련된 기초적연구와 직접적인 이론적 해석적 연구 및 실지의 관개시험연구로 크게 나눌수 있는데 관련된 기초적 연구의 대표적인 것은 살수되는 물방울의 지름이나 부피의 측정에 관한 연구이며 이에는 Mason(1953)<sup>(17)</sup>이 개발한 Electronic 법을 비롯하여 Niederdorfer(1932)<sup>(31)</sup>, Richrdson(1935)<sup>(32)</sup>, Liddll(1957)<sup>(33)</sup>, Tylor(1954)<sup>(34)</sup>, Pighord(1951)<sup>(35)</sup>, Tanasawa(1960)<sup>(36)</sup> Robert(1952)<sup>(37)</sup>, 小川등(1962)<sup>(38)</sup>등에 의하여 각종 방법

이 연구개발 보고되고 있다.

이론적 해석적 연구의 대표적인 것에는 岡村(1968~69)<sup>(37)(38)(39)</sup>의 스프링클라살수의 이론적 고찰이란 제목의 살수되는 물방울의 운동과 분포형에 관한 체계적인 일련의 연구를 비롯하여 井上(1963)<sup>(40)</sup><sup>(41)</sup>, 杉(1961)<sup>(42)</sup>, Seginer(1965)<sup>(43)</sup>등의 같은 제하의 연구결과가 보고된바 있으며 白井등(1971)<sup>(44)</sup>의 비산되는 물방울의 온도변화에 관한 연구, 杉(1958)<sup>(47)</sup>의 낙하수량에 관한 연구 및 桑野(1965)<sup>(45)</sup>, 水之江(1970)<sup>(42)</sup>등은 경사지에 대한 균등살포를 위한 귀중한 연구결과를 발표하고 있다.

한편 실지의 스프링클라관개의 시험연구에는 Woodward<sup>(44)</sup>를 비롯한 杉(1960)<sup>(42)</sup>, 水之江(1970)<sup>(42)</sup>등의 스프링클라의 구조 성능 및 사용법에 관한 연구와 Christiansen(1942)<sup>(41)</sup>의 吉良(1960)<sup>(48)</sup>, 矢鳥(1961)<sup>(49)</sup>, 富士岡(1969)<sup>(4)</sup>, 正木(1970)<sup>(46)</sup>, 柳原(1971)<sup>(42)</sup>, 飯塚(1971)<sup>(6)</sup>등의 관개방법에 관한 연구 및 富士岡(1968)<sup>(4)</sup>, 松本(1970)<sup>(49)</sup>, 村上(1971)<sup>(42)</sup> 飯塚(1971)<sup>(10)(11)</sup>등의 스프링클라 관개시설에 관한 연구 白井(1959)<sup>(44)</sup>, 吉良(1960)<sup>(48)</sup>, 井上(1963)<sup>(40)</sup> 富士岡(1969)<sup>(4)</sup>, 松田(1970)<sup>(44)</sup>등의 살수관개의 효과와 효율제고에 관한 연구등이 보고되고 있다.

이상 스프링클라에 의한 살수관개에 관한 외국에서의 주요연구의 대강을 살펴보았거니와 본 연구에서는 이들의 연구 결과를 참고로하여 전년도에 있어서 이론적인 해석을 보완하는 한편 시험을 통하여 그 결과를 분석 고찰하였다.

## 제 2 절. 시험연구 내용

### 1. 바람의 방향을 고려할때의 살수물방울의 운동 방정식

#### 1. 개 설

스프링클라 살수관개의 가장 큰 결점은 바람의 영향을 크게 받는다는 점이며 바람이 어느정도이상 강하게 불면 살수분포의 균등성이 극히 나빠지고 비산손실(飛散損失)이 대단히 많아진다.

杉<sup>(50)</sup>는 바람의 영향에 따른 살수분포도의 변화에 대하여 발표한 바 있으며 Shirai<sup>(50)</sup>는 비산되는 물방울은 풍속의 수직분속도의 영향이 크며 물방울이 작아질수록 바람의 영향을 받기 쉽고 비산손실이 크게 된다는것을 지적하였으며 지상 1m높이에서의 풍속이 2m/sec 인때 비산손실이 60%이상에 달하였다고 한다.

이와같이 스프링클라 살수에서의 바람의 영향 문제는 대단히 중요한데도 불구하고 이에관한 이론적인 연구보고가 극히 적은것은 그 이론적인 고찰이

나 처리가 매우 어려운데 있다고 여겨진다.

특히 지상부근의 바람은 층류(層流)가 아니라 난류(亂流)이며 살수분포에 대한 실험에 있어서 재현성이 있는 규칙성을 발견하기가 매우 어려움기 때문이다.

본 연구에서는 제1보에서 바람의 영향이 없는 경우에 대하여 해석 유도한 물방울의 운동방정식을 바탕으로 높이에 따라 풍속의 차이가 없는 바람의 등속분포의 경우와 조도가 최대의 경우의 대수법칙에 의한 속도분포의 경우에 대하여 풍향은 일정하고 평균 풍속이 변화하는 경우에 대하여 고찰키로 한다.

## 2. 지표면 부근의 바람의 속도분포

### (1) 바람의 변화

바람은 기압배치에 따라 계절적 시간적으로 변화한다. 또 같은 기압배치에 있어서도 지면상태나 지형에 따라 또 평야지대에서도 기온의 일변화에 따라 변화한다는것은 이미 알려진 사실이다. 또 바람은 난류이고 엄격한 의미에서는 풍향과 풍속은 끈임없이 변동하고 있다. 지표면 부근에 있어서의 풍속기록은 실은 평균풍속인 것이지만 언제나 소용도리의 속도가 있는것이며 따라서 이 소용도리에 의한 공기의 난류양상은 대단히 복잡하여 이를 수학적으로 해석하기란 매우 어렵다.

### (2) 지표면 부근의 바람

지표면에서 약 몇십미터 높이까지의 층 즉 표면 경계층에서는 공기의 흐름에 대한 지표면의 마찰의 영향이 크며 이 층에서는 전향력의 영향은 작고 일반적으로 접선방향의 용력은 높이에 대하여 일정한 것으로 취급하고 있다. 이 표면 경계층에서부터 몇천미터 높이에 이르는 사이층을 중간층이라 칭하고 있으며 이 보다 높은 곳에서는 지표면 마찰의 영향은 극히 작고 이를 자유대기라 칭한다.

스프링클라 관계에 직접적으로 관계가 있는것은 표면경계층에서의 풍속의 변화이며 본론에서는 이에 대해서만 취급키로 한다.

### (3) 표면경계층에서의 평균풍속도의 분포

표면경계층에서의 평균풍속의 분포에 대해서는 실험이나 유체역학의 이론상으로 평균풍속은 높이의 함수로서 높이에 따라 대수적(Logarithmic)으로 증가한다는 설과 지수(指數) 형식으로 증가한다는 설로 나누어져 있으나 지표면 부근의 평균풍속의 수직분포는 전자 즉 높이와의 대수법칙으로 표시할수 있다는것이 타당한것 같다.

평균 풍속과 높이와의 대수법칙에 대해서는 여러 사람이 발표한바 있는데 Prandtl은 이론적으로 난류의 운동방정식으로 부터 수학적으로 대수법칙이 유

도된다는것을 밝히고 있으며 지표면의 경계층에서는 기압의 경사도와 접선방향의 용력이 균형을 형성한다는 생각으로부터 다음식을 제시하고 있다.

$$U = \frac{uf}{K} \log z + \text{Const} \dots \dots \dots (1.1)$$

$K \approx 0.4$  (Karman의 정수)

$uf = \sqrt{\delta_0/9}$  (마찰속도)

$\delta_0$ :  $Z=0$ 에서의 접선용력

$Z=Z_0$ 에서  $U=0$ 라는 조건을 (1.1)식에 대입하면

$$U = \frac{uf}{K} \log \left( \frac{Z}{Z_0} \right), \quad Z > Z_0 \dots \dots \dots (1.1)'$$

단  $Z_0$ 는 조도(Roughness)의 길이

Karman도 Prandtl와 같은 결과를 얻고있으며 Rossby는 (1.2) 식을 발표하고 있다.

$$U = \frac{uf}{K} \log \left( \frac{Z+Z_0}{Z_0} \right) \dots \dots \dots (1.2)$$

여기에서  $Z_0 uf = N$ 을 거시적점성(Macro Viscosity)이라 칭하고 있는데 Sutton은 높이 2m, 풍속 5m/sec인 중립상태의 경우에 대하여 표 1-1과 같은 값을 제시하고 있다.

표 1-1 각종 표면조건에 대한 거시적 점성

표 면 조 건	Z(cm)	U (cm/sec)	N (cm/sec)
Very Smooth	0.01	16	0.016
Grass height < 0.1cm	0.1	26	2.60
" < 10	0.7	36	26.0
" > 10 "	2.3	45	104.0
" < 50 "	5.0	55	275.0
" > 50 "	9.0	63	560.0

지표면 부근에서의 평균풍속의 수직분포가 Rossby가 제시한 (1.2) 식으로 표시된바와 같이 높이에 의한 바람의 변화의 대수법칙에 따르는 것으로 할때 2종류의 조도의 길이와 4종류의 마찰속도에서의 평균 풍속의 수직적 속도분포를 표시하면 그림 1.1과 같다.

## 3. 바람의 영향을 고려한 경우의 살수물방울의 운동방정식

$$W = \frac{uf}{K} \log \frac{Z+Z_0}{Z_0} \quad K=0.4 \quad uf: \text{마찰속도}$$

$Z_0$ : 조도정수( $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ )  $Z_0=0.1\text{cm}$

( $a''$ ,  $b''$ ,  $c''$ )  $Z_0=9\text{cm}$

수평면에 X, Y 축을 수직면에 Z축을 취하고 바람은 X축 방향에 평행하게 W라는 속도로 부는제으로 한다.

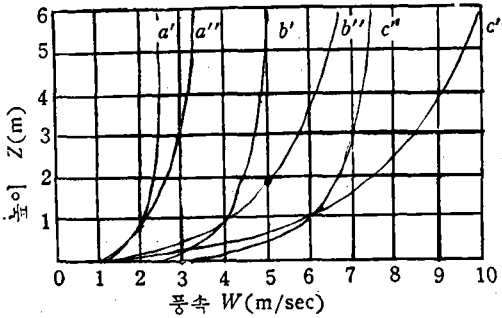


그림 1.1 Rossby 식으로 계산한 풍속의 수직분포

지금  $Pw=r/g$ : 물방울의 밀도( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $v$ : 물방울의 부피( $\text{m}^3$ )  
 $s$ : 기 준면에 대한 물방울의 투영면적( $\text{m}^2$ )  
 $q'$ : 물방울의 바람에 대한 상대적 비행속도로서  
 $q' = \sqrt{(x_1-w)^2 + y_1^2 + z_1^2}$  ( $\text{m}/\text{sec}$ )  
 $ca$ : 저항계수(공기저항= $ca \frac{1}{2} \rho_a p^2 s$ )  
 $\rho_a$ : 공기의 밀도( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $g$ : 중력의 가속도( $\text{kg}/\text{s}^2$ )  
 $w$ : 풍속( $\text{m}/\text{s}$ ) 이라하면

X(수평) 방향의 분속도는

$$PwVx_1 = -\frac{1}{2} Cd \cdot Pa \cdot sq'^2 \cdot \frac{x_1-w}{q'}$$

$$\therefore X_1 = -\frac{1}{2} Cd \frac{Pa}{Pw} \frac{s}{v} q' (x_1-w) \dots (1.3)$$

한가지로 y 축방향의 분속도는

$$y_1 = -\frac{1}{2} Cd \frac{Pa}{Pw} \frac{s}{v} q' y_1 \dots (1.4)$$

Z 축 방향의 분속도는

$$Z_1 = -\frac{1}{2} Cd \frac{Pa}{Pw} \frac{s}{v} q' z_1 - g \dots (1.5)$$

여기에서 비산중의 물방울이 구체(求體)를 유지하는 것으로 하면

X 축 방향

$$X_1 = -Cd \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{2}{4D} q' (x_1-w) \dots (1.3)1'$$

y 축 방향

$$Y_1 = -Cd \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} q' y_1 \dots (1.4)1'$$

Z 축 방향

$$Z_1 = -Cd \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} q' z_1 - g \dots (1.5)1'$$

여기에서는 풍속의 분포가 대수법칙에 따르는 것으로 할때 평균 풍속의 수직분포를 나타내는 식으로 Rossby 에 의한 (1.2)식을 쓰는 것으로 한다.

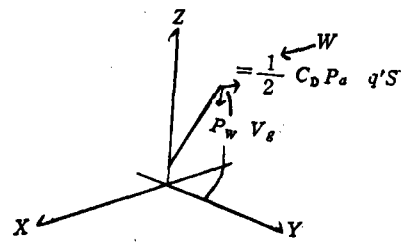


그림 1.2 바람이 부는 공기중을 비산하는 물방울에 작용하는 동력

4. 바람의 영향을 고려한 경우의 물방울의 운동 궤적

(1) 초기조건  
 물방울의 운동방정식 (1.3)', (1.4)', (1.5)'를 쓰고 X, Y, Z 축 방향에 대하여 속도변화 및 비산거리를 산정한다.

여기에서 이들의 계산을 위한 초기조건으로는 다음과 같이 채택한다.

$Pa$ : 공기의 밀도= $0.001165(\text{g}/\text{cm}^3)$  (대기압 760 mmHg)

$Pw$ : 물방울의 밀도= $1.0(\text{g}/\text{cm}^3)$ ,  $Pw = \frac{rw}{g}$

$rw$ : 물방울의 비중= $1.0(\text{g}/\text{cm}^3)$

$D$ : 물방울의 지름(여기에서는 대표적으로  $D=0.5, 2.0, 4.0, 6.0\text{mm}$ 로 가정하고 그 각각에 대하여 계산함)

$q_0$ : 노즐로 부터의 분사속도( $\text{m}/\text{sec}$ )  
 $q_0 = Cv \sqrt{2gh}$

$H$ : 노즐내외의 압력차를 수주(水柱)로 표시한 것

$$H = \frac{p}{rw} (\text{m})$$

$p$ : 노즐 압력( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$Cv$ : 속도계수= $0.98$ 로 가정함

풍속:  $W=2\text{m}/\text{sec}, 4\text{m}/\text{sec}, 6\text{m}/\text{sec}$ 의 세가지 경우에 대하여 그 궤적을 산정한다(풍향은 +x 축 방향으로 함)

- 분사방향: ① -x 축 방향  
 ② -x, ±y 축에 대하여 45° 방향  
 ③ ±y 축 방향  
 ④ x, ±z 축에 대하여 45° 방향  
 ⑤ x 축 방향

풍속이 일정한 경우에 대해서는 노즐의 압력 3.0 kg/cm<sup>2</sup>, 3.5kg/cm<sup>2</sup>, 4.0kg/cm<sup>2</sup>의 경우, 풍속이 대수법칙에 의한 수직분포상태를 나타낼 때에는 노

즐의 압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>의 경우에 대해서만으로도 한다.

이 노즐의 압력과 초속도의 관계는 표 1.2와 같다

표 1-2 노즐압력과 초속도의 관계

노즐 압력 p (kg/cm <sup>2</sup> )	3.0					3.5					4.0				
유속 q <sub>0</sub> (m/sec)	23.8					25.6					27.4				
방 향	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
속도(x)U <sub>0</sub> (m/sec)	21.2	14.99	0.0	14.99	21.2	22.8	16.12	0.0	16.12	22.8	22.4	17.26	0.0	17.26	24.4
" (y) "	0.0 ± 14.99	± 21.2	± 14.99	0.0	0.0	± 16.12	± 22.8	± 16.12	0.0	0.0	± 17.26	± 24.4	± 17.26	0.0	0.0
" (z) "	10.8	"	"	"	"	11.6	"	"	"	"	12.4	"	"	"	"

(2) 계산결과

풍속을 일정한 것으로 한 경우의 계산결과와 풍속이 대수법칙에 따라 수직적으로 분포하는 경우의 계산결과로 부터 풍향에 평행한 스프링클러의 살수 단면에서의 물방울의 비산피적을 구하면 노즐의 압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>, 풍속 2.0m/sec의 경우는 그림 1.3(A), 노즐압력이 3.5kg/cm<sup>2</sup>이고 풍속 4.0m/sec의 경우에 대한것은 그림 1.3(B), 노즐압력은 4.0kg/cm<sup>2</sup>이고 풍속이 6.0m/sec의 경우에 대한것은 그림 1.3(C)와 같다.

이 결과를 통해서 보면 물하울의 크기가 클수록 풍속의 수직분포의 변화에 의한 영향을 받기 쉬우

며 또한 풍속이 크게 될수록 영향은 커진다.

(3) 각 풍속에 대한 물방울의 비산시간

물방울의 비산시간은 증발손실에 많은 영향을 미치며 아울러 물방울이 날르는 동안의 그 지름의 변화는 운동피적에도 영향을 미치는 것이기 때문에 각종 조건에 있어서 지면까지 도달하는 최대의 비산시간을 구하면 표 1.3과 같다.

이 결과에 의하면 물방울이 공중에 있는 시간은 Rieer의 높이 1m에서는 최대 1.9초인바 제1보(20)의 표 4의 증발손실량에 대한 표와 대조하여 보전대 증발이 물방울의 운동피적에 영향을 미칠 정도의 시간은 아니라는 것을 알수있다.

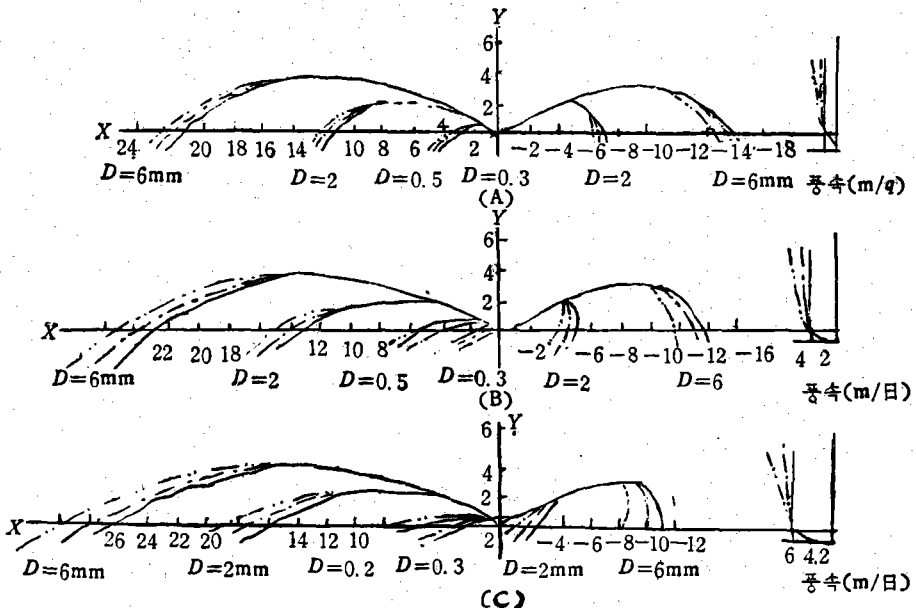


그림 1.3(A)

그림 1.3(B)

그림 1.3(C)

그림 1.3 풍속변화에 따른 물방울의 운동피적

표 1-3 물방울의 비산시간(노즐압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>)

N	풍속(m/sec)		2	4	6
	D(mm)	H(m)			
1	0.5	1	1.30	1.25	1.25
	2.0		1.45	1.45	1.26
	6.0		1.80	1.75	1.45
2	0.5	1	1.30	1.30	1.25
	2.0		1.45	1.45	1.43
	6.0		1.80	1.76	1.75
3	0.5	1	1.30	1.30	1.30
	2.0		1.47	1.48	1.47
	6.0		1.80	1.80	1.80
4	0.5	1	1.30	1.35	1.35
	2.0		1.50	1.50	1.53
	6.0		1.85	1.85	1.83
5	0.5	1	1.34	1.35	1.35
	2.0		1.50	1.55	1.57
	6.0		1.85	1.85	1.90

II. 스프링클러 살수분포에 관한 시험

1. 재료 및 방법

(1) 시험포: 충남대학교 농과대학 실험실 후면에 30m×30m 조성 하였음.

(2) 시험기구 및 재료

가. 스프링클러 Rain Bird 사제품의 스프링클러 나. 압력: 2.5, 3.0, 3.5, 4.0kg/cm<sup>2</sup>의 4종으로 하고 발브로 조절하는 한편 압력계로 반복 측정함.

다. 유량: 유량계로 10분에 1회씩 반복관측하여 평균치를 채용함

라. 노즐: 구경 4.0, 4.4, 4.8, 6.4, 7.2, 7.6mm 의 6종을 제작 사용함.

마. 펌프: 승압용 펌프는 5HP 엔진부, 3.0"양수 기를 사용함.

바. 살수량측정 지름 75mm 길이 15cm의 비카를

방사상으로 배치하여 그 수수량을 100cc 메스 시린 다로 측정함.

사. 풍속: Ohta식 Hand 풍속계와 Seiko 사제의 초시계를 사용 측정함.

(3) 시험방법

가. 처리: 압력 및 노즐 구경별로 바람이 없는 경 우와 있는 경우를 대비하기 위하여 여러가지 처리 방법을 취하였는데 그중 본 시험에 채택한것은 다 음의 12처리임.

표 2-1 처리내용

No.	시험기호	노즐구경 (mm)	압 력 (kg/cm <sup>2</sup> )	유 량 (l/min)	회전수 (R.P.M)
1	A-1	4.8	3.5	17.9	0.35
2	A-2	"	"	18.0	0.34
3	B-1	4.4	3.5	20.1	0.62
4	B-2	"	"	20.0	0.63
5	C-1	4.8	4.0	27.6	1.02
6	C-2	"	"	28.2	1.00
7	D-1	6.4	3.0	35.5	1.55
8	D-2	"	"	35.2	1.45
9	E-1	7.2	3.5	49.3	2.05
10	E-2	"	"	50.8	2.05
11	F-1	7.6	2.5	46.1	2.60
12	F-2	"	"	47.0	2.54

나. 시험방법

1처리당 살수기의 운전시간은 1시간으로 하였으 며 10분마다 압력, 유량, 회전속도, 풍속을 측정하 여 그 평균치를 취하는 한편 압력은 발브로 조절하 고 살수량은 지름 75mm, 길이 15cm의 비카를 방 사상으로 2.0m 간격으로 배치하여 그 수수량을 메 스 시린다로 측정하였음.

2. 결과 및 고찰

표 2.1과 같은 각 처리에 대한 시험결과를 일괄 표시하면 표 2.2와 같으며 이를 바람이 없는 경 우와 바람이 불은 경우와의 비교 도시하면 그림 2.1~ 2.6와 같다.

표 2-2 시 험 성 적

No.	시험기호	노즐구경 (mm)	압 력 (kg/cm <sup>2</sup> )	유 량 (l/min)	회전수 (R.P.M)	풍 속 (m/sec)	살 수 거 리		살 수 심 (cm)
							NS (m)	EW (m)	
1	A-1	4.0	3.5	17.9	0.35	0.0	23	23	1.16

No.	시험기호	노즐구경	압력	유량	회전수	풍속	살수거리		살수깊
							NS	EW	
2	A-2	"	"	18.0	0.34	3.1	14	16	1.24
3	B-1	4.4	"	20.1	0.26	0	24	24	1.35
4	B-2	"	"	20.0	0.63	4.2	20	23	1.46
5	C-1	4.8	4.0	28.2	1.00	0	26	27	1.98
6	C-2	"	"	27.6	1.02	8.9	20	22	2.09
7	D-1	6.4	3.0	35.5	1.55	0	28	29	2.18
8	D-2	"	"	35.2	1.45	7.5	23	26	2.20
9	E-1	7.2	3.5	50.8	2.05	0	28	28	3.12
10	E-2	"	"	49.3	2.05	1.1	24	26	3.02
11	F-1	7.6	2.5	47.0	2.54	0	28	28	2.40
12	F-2	"	"	46.1	2.60	5.9	24	27	2.32

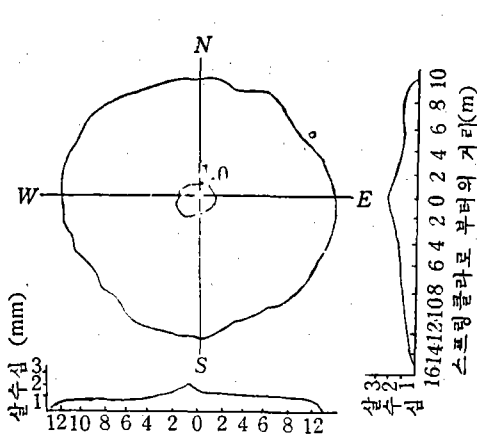


그림 2.1(A-1)

스프링클러로부터의 거리(m)

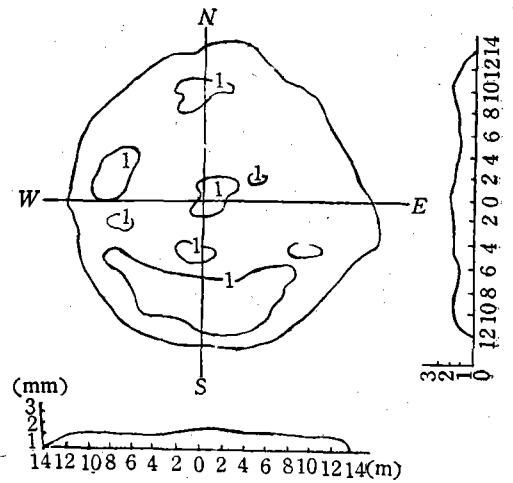


그림 2.2(B-1)

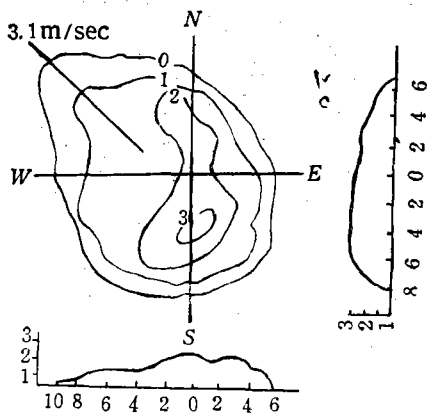


그림 2.1(A-2)

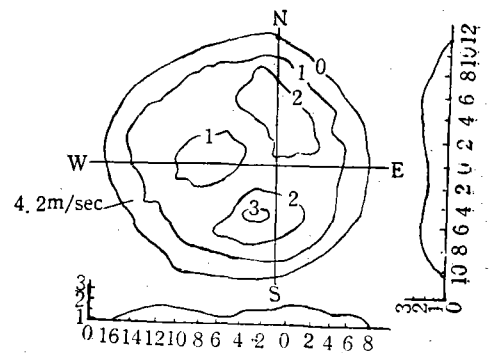


그림 2.2(B-2)

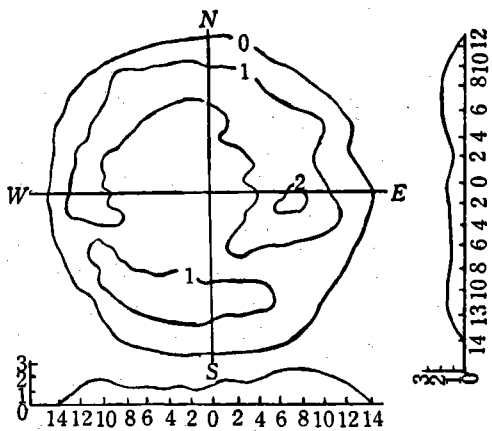


그림 2.3(C-1)

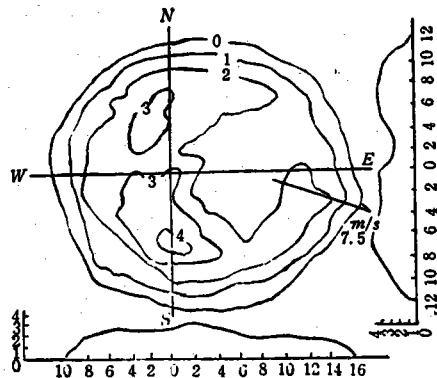


그림 2.4'(D-2)

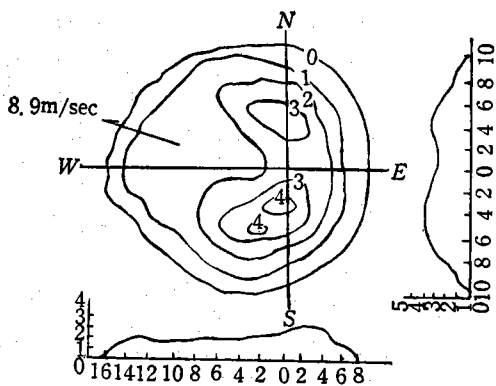


그림 2.3'(C-2)

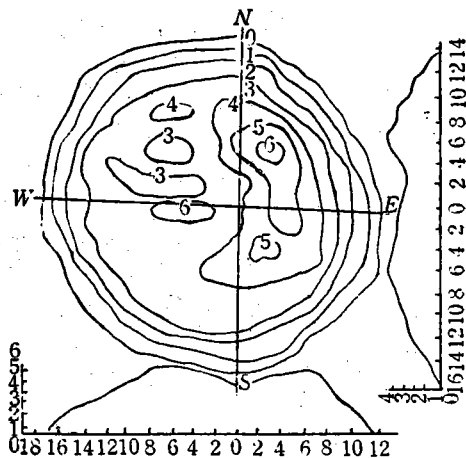


그림 2.5(E-1)

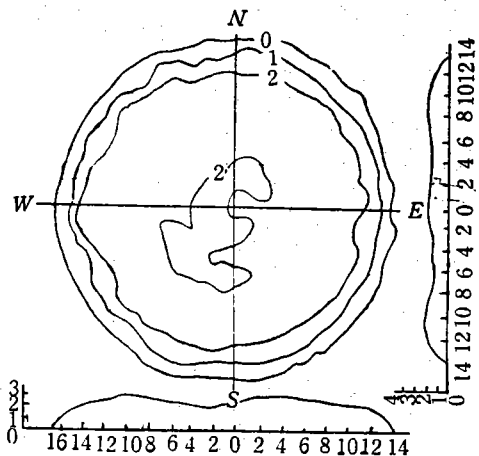


그림 2.4(D-1)

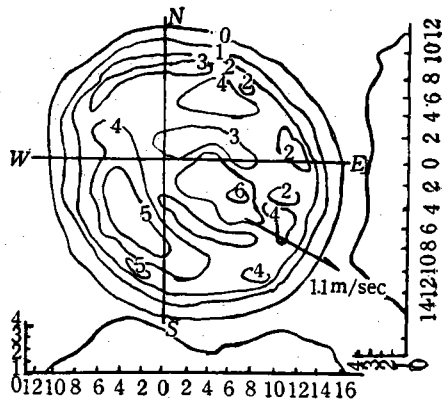


그림 2.5'(E-2)



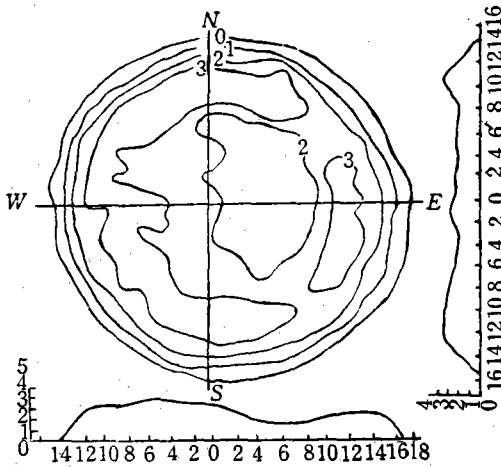


그림 2.6(F-1)

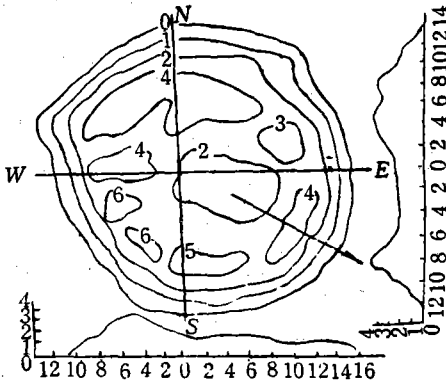


그림 2.6(F-2)

이상의 시험결과를 분석 검토하면 다음과 같다.

(1) 노즐수압의 영향

노즐의 수압과 노즐의 구경에 따라 스프링클라의 회전속도도 변화하고 물방울의 크기도 달라진다. 특히 압력이 과대하면 분사되는 물방울은 극히 미립으로 되며 노즐의 구경이 작으면 그 정도는 더욱 심해지니까 바람에 의한 영향을 많이 받아 손실량이 많아진다.

따라서 바람이 불을 때에는 압력을 낮추고 노즐의 구경이 약간 큰것을 사용하는편이 바람에 의한 비산손실을 적게할수 있다.

(2) 노즐구경과 회전수의 관계

일반적으로 노즐구경이 커짐에 따라 회전수가 증가되었으나 고압인 4.0kg/cm<sup>2</sup>인 경우는 노즐구경이 6.4mm 이상이 되면 회전수가 감소하는 경향이 보였다.

그리고 표 2.2에서 보는바와 같이 중간압식 스프

링클라의 적정회전속도 1.0~1.5R.P.M을 유지하게 하기 위해서는 노즐구경이 4.8~6.4mm가 적당한 것으로 여겨진다.

(3) 바람의 영향

그림 2.1~2.6과 그림 2.1'~2.6'는 각각 같은 조건에 있어 바람이 없는 경우와 있는 경우를 비교한 살수분포도형이다.

이를 통하여 알수있는바와 같이 바람이 불으면 살수가 고르지 못하고 살수심의 변화가 심해져서 균등계수가 크게 나빠진다는 것을 알수 있다. 특히 그 정도는 풍속이 4.0m/sec 이상에서 심하였으며 따라서 스프링클라에 의한 살수관계는 풍속이 4.0m/sec 이상인 경우에는 실시하지 않는것이 바람직하다고 여겨진다.

### Ⅲ. 경사지(10°, 45°)에서의 살포도형

#### 1. 바람이 없는 경우

스프링클라에 의한 경사면에서의 균등살포문제는 근래 매우 큰 관심사로 되어 있거니와 바람이 없는 경우 15°, 30° 경사면에서의 살수 분포형에 대해서는 이미 제1보에서 설명한바 있다.

즉 제1보 그림 8.1, 8.2에 표시한 각종 압력에 대한 물방울의 운동곡적으로 부터 분명한바와같이 모든 경사각에 대한 물방울의 도달 위치를 구할수 있다.

한편 그림 3.1은 3.5kg/cm<sup>2</sup> 압력에서의 노즐구경별의 살수분포도의 1예이다. 이것으로부터 스프링클라에 극히 가까운 곳에서의 바람이나 기계적 파쇄에 의한 극히 가는 비정상적인 물방울을 제외하고는 도달지점에서의 평균적인 물방울의 크기를 정할수 있다.

이와같은 경사면에서 스프링클라에 통과하는 방사선상의 물방울의 도달지점을 정할수 있거니와 그림 3.2, 3.3의 하부는 압력 3.0kg/cm<sup>2</sup>, 3.5kg/cm<sup>2</sup>, 4.0kg/cm<sup>2</sup>에서의 경사도 10°와 45°인 경사면에서의 물방울의 도달선도이다.

그림 3.1의 스프링클라로부터의 거리에 상당하는 물방울의 부피에 비례하는 수심을 비탈면의 스프링클라를 통과하는 방사선상에 원기고 살수심이 같은 점을 연결하면 그림 3.2, 3.3의 위편 그림이 되는 것이며 이로서 비탈면에서의 살수분포를 추정할수 있다.

한편 10° 경사면에 대해서는 실지 시험으로 검정하여 본바 위의 추정결과는 실지와 매우 가까운 것 이라는것을 확인할수 있었다.

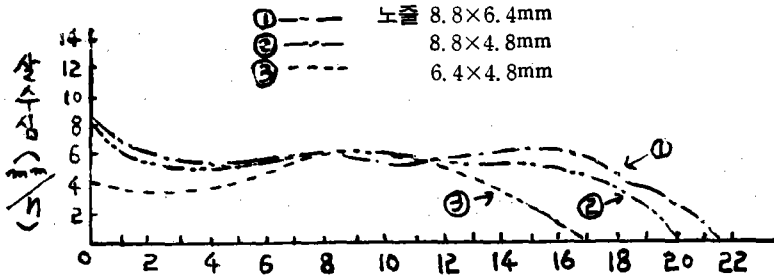


그림 3.1 노즐 지름이 살포형에 미치는 영향

위의 해석적 추정이나 실지 시험에서나 경사도가 급할수록 비탈의 상류측 면에서는 집중적 살수분포

가 나타나고 하류측에서는 반대로 살포영역의 확대로 살수강도가 매우 작아짐을 알수있다.

10° 경사면에서의 입도별 낙하지점 (하)과 살수분포(상)

- ① 압력 3.0kg/cm<sup>2</sup>
- ② 3.5 "
- ③ 4.0 "

45° 경사면에서의 입도별 낙하지점 (하)과 살수분포(상)

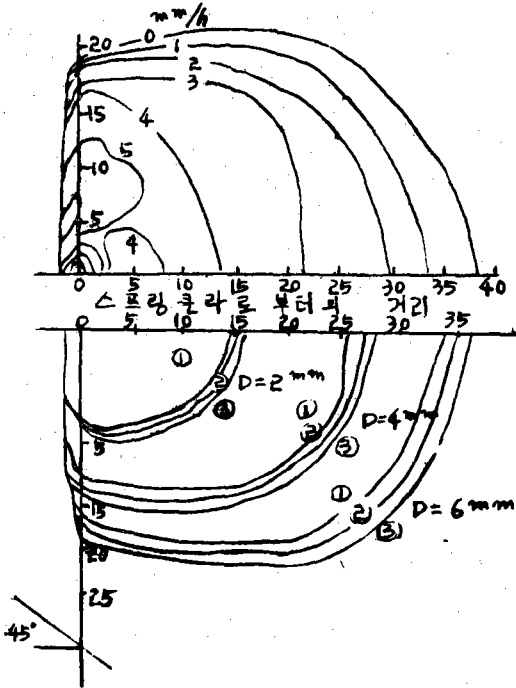


그림 3.2 노즐구경 8.8x6.4mm 압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>

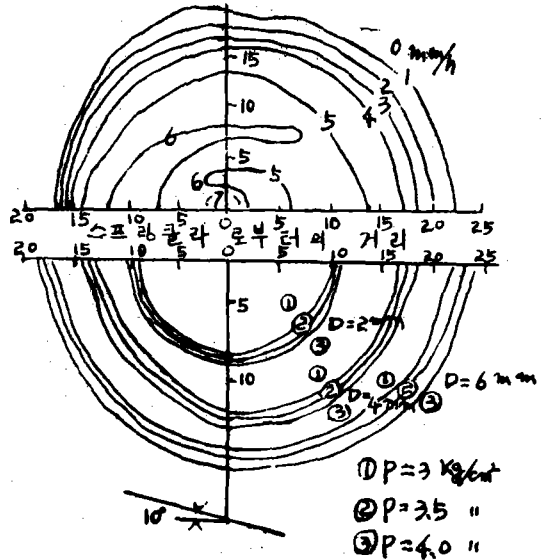


그림 3.3 노즐구경 8.8x6.4mm 압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>

## 2. 바람이 부는 경우

(1) 바람이 불올때의 경사면에서의 물방울의 운동방정식

경사면에서의 바람의 양상에 대해서 실험적으로나 또는 이론적으로 연구 보고된 바에 의하면 이들은 지형, 기후, 계절등에 따라 변화함을 알수있다.

여기에서는 경사면에서의 바람의 양상이 산골짜기에서 부는 바람을 극히 간단하게 모형화한 Defant "2)의 개념에 따르기로 하고 비탈면의 상향 하향과

하향방향의 두경우로 나누어 고찰키로 한다.

한편 일반적으로 경사면에서의 살수분포형에 미치는 바람의 영향을 밝히기 위하여 바람은 비탈면에 나란하게 부는 것으로 하고 또한 그림 3.4와 같이 비탈면 위에서의 바람의 속도분포는 동일한 것으로 가정하고 살펴 보기로 한다.

(1) (4)에서와 같이 지각좌표계 X,Y,Z축을 취하고 앞서 말한 바와 같이 바람은 경사면에 나란하게 산향과 하향하향으로 풍속 W로 부는것으로 하고 (그림 3.5) 물방울은 비산하는 동안 구체(球體)를

유지하는 것으로 하면 (1)에서와 한가지로 다음의 운동방정식을 얻는다.

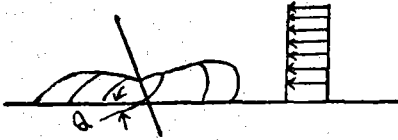


그림 3.4 바람의 수직단면

$$x_2 = -CD \frac{pa}{pw} \cdot \frac{3}{4D} q'(x_1 - W \cos \theta) \dots\dots (3.1)$$

$$y_2 = -CD \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} q_1 y_1 \dots\dots (3.2)$$

$$Z_2 = -CD \cdot \frac{pa}{pw} \cdot \frac{3}{4D} \cdot q'(Z_1 = W \sin \theta) - g \dots\dots (3.3)$$

단  $\theta$ 는 비탈면의 경사도  
이들 식을 실지의 조건에 근사한 특정치를 대입하여 바람에 대한 여러가지 분사방향에 노출로부터 분사되는 몇가지 지름의 물방울의 비산피적을 계산함으로써 그 살수분포도를 그릴수 있는데 그 방법은 (1)에서와 동일하다.

(2) 초기조건  
계산에 채용한 초기조건은 (1) (4)와 동일함.

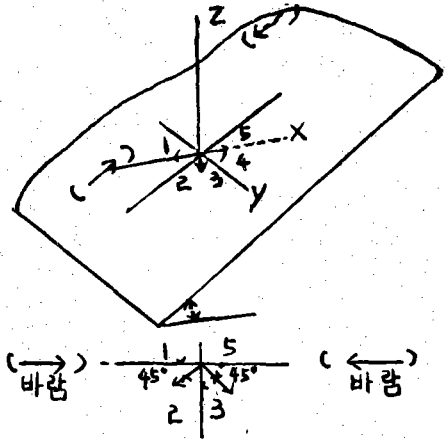


그림 3.5 속도방향

(3) 계산결과

10° 경사면에 대하여 운동방정식 (3.1) (3.2) (3.3) 식에 초기조건을 대입하여 계산에 결과에 의거하여 몇가지 지름의 물방울의 운동피적을 도시하면 그림 3.6, 3.7, 3.8과 같다. 즉 그림 3.6은 평균풍속 2.0m/sec의 경우에 대한것이며 그림 3.7은 4.0 m/sec, 그림 3.8은 풍속 6.0m/sec의 경우에 대한 것이다.

10° 경사면에서의 물방울의 운동 피적

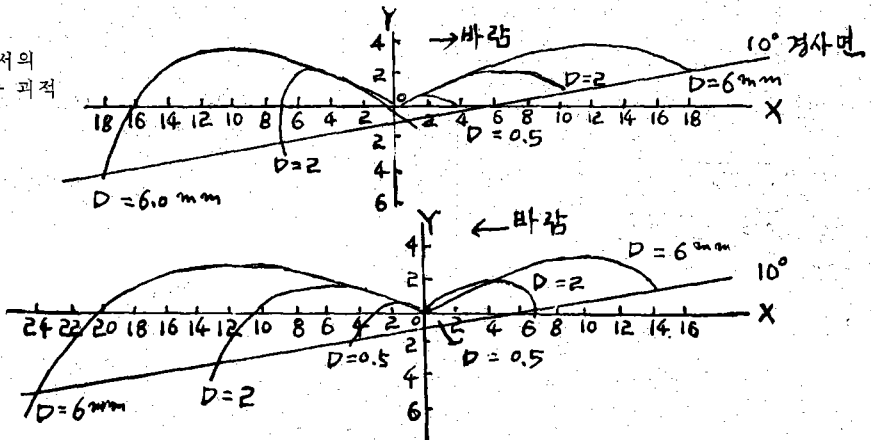


그림 3. 6, 10 경사면에서의 물방울의 운동 피적  
(풍속 2.0m/sec 노출지름 8.8×6.5mm 압력 3.5kg/cm²)

또 위에서 얻은 물방울의 비산피적과 비탈면의 기하학적으로부터 노출의 압력 3.5kg/cm², 노출각도 27° Riser의 높이 1.0mm로 분사되는 몇가지 지름의 물방울의 낙하점의 피적을 그림 3.5와 같이 바람의 방향에 대하여 각 방향으로 분출된 경우에 대하여 그리면 바람이 부는 경우의 경사면에서의 물방울의 낙하점의 피적을 그릴수 있다. 이 물방울의 낙하점의 피적과 각 물방울의 합수량을 조합함으로

서 바람의 영향을 받는 경우의 비탈면 위에서의 살수분포도를 그릴 수 있다. 그림 3.9, 3.10이 그 예이며 그림 3.9는 평균풍속 2.0m/sec인 경우 바람이 비탈면의 상향방향으로 부는 경우에 대한 것이고 그림 3.10은 바람이 비탈면의 하향방향으로 부는 경우에 대한 것이다.

이를 통하여 알수있는바와 같이 비탈의 하향방향으로 불 때에는 물방울은 바람으로 크게 비산되고

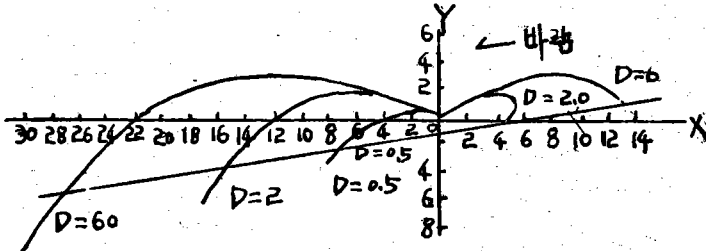
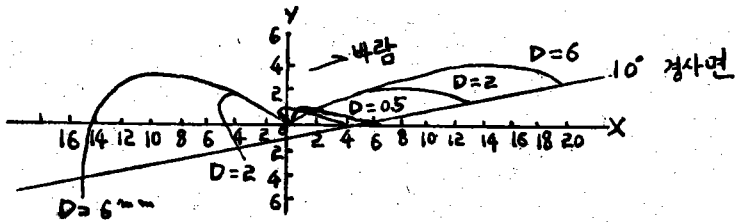


그림 3, 7, 10° 경사지에서의 물방울의 운동궤적  
(풍속 4.0m/sec 압력 3.5kg/cm<sup>2</sup> 노즐 8.8×6.4mm)

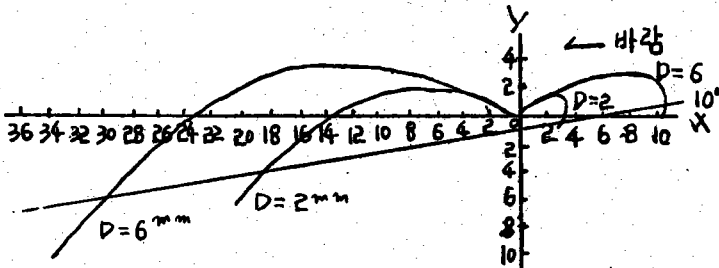
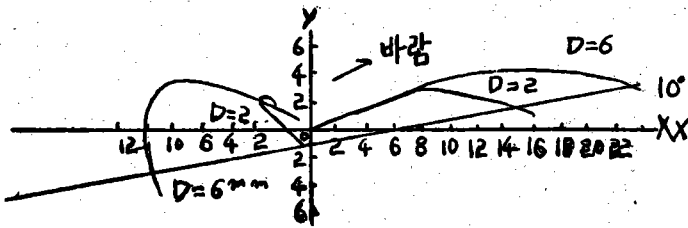


그림 3, 8, 10° 경사면에서의 물방울의 운동궤적  
(풍속 6m/sec, 압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>, 노즐구경 8.8×6.4mm)

살수영역이 풍속에 따라 크게 확대되며 그 분포는 장원(長圓) 형상의 분포상태를 나타낸다.

한편 비탈의 상향방향으로 바람이 불때, 바람이 약할 때에는 살수영역은 약간 좁혀질 정도이고 바

람으로 인하여서는 별로 변하지 않지만 풍속의 증대와 더불어 비탈의 상위편으로 이동 분포하고 집중적인 살수분포를 나타낸다.

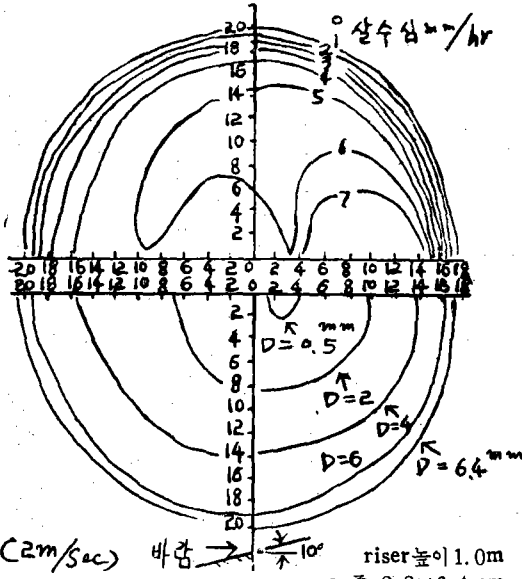
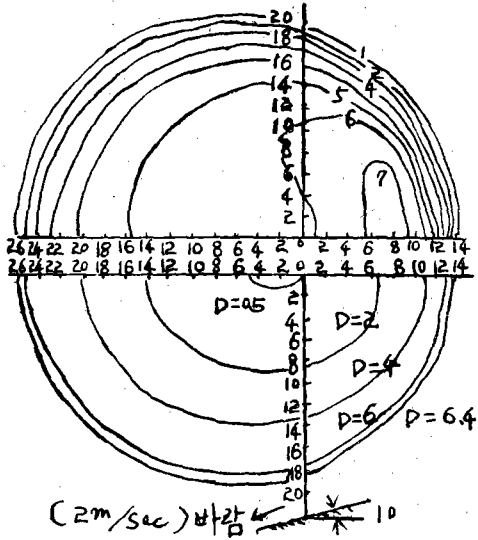


그림 3.9 상향바람인 경우에 10°의 경사면에서의 물방울의 낙하지점 9(하) 살포도형(상)



riser의 높이 1.0m  
노즐 8.8x6.4mm  
압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>  
그림 3.10 하향바람인 경우에 10° 경사면에서의 물방울의 낙하지점(하) 살포도형(상)

제 3 장 적 요

본 시험연구는 스프링클라판개의 합리화와 효율의 제고를 위하여 전년도에 계속사업으로서 특히 바람

이 불을때의 평지나 경사지에서의 균등살포를 위하여 바람의 영향을 고려한 경우의 물방울의 운동방정식의 유도과 그에 의한 살수물방울의 운동과적의 추정을 위한 이론적인 해석과 실측시험을 농림부의 연구조성비로서 실시한것인데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 바람의 영향을 고려한 경우의 살수물방울의 운동방정식은 물방울이 비산하는 동안 구체를 유지하는 것으로 취급하면 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$X\text{축 방향: } x_2 = -CD \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} q'(x_1 - w) \dots \dots \dots (1.3)'$$

$$y\text{축 방향: } y_2 = -CD \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} q' y_1 \dots \dots \dots (1.4)'$$

$$Z\text{축 방향: } Z_2 = -CD \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} q' z_1 - g \dots \dots \dots (1.5)'$$

(2) 위의 방정식으로 적합한 초기조건을 설정 때 입 계산함으로써 물방울의 비산과적을 그릴수 있으며 이것과 각 물방울의 함수량을 조합함으로써 살수분포도를 추정할수 있다.

(3) 노즐압력 3.5kg/cm, 풍속 6.0m/sec, Riser의 높이 1.0m의 경우 물방울의 비산시간 즉 물방울의 비산시간 즉 물방울이 공중에 있는 시간은 1.9초동안임으로 비산중의 증발이 물방울의 운동과적에는 별 영향을 미치지 않는것으로 취급할수 있다.

(4) 각종 압력과 노즐구경을 조합한 실지 살수시험을 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

① 바람의 영향을 고려하여 이론적으로 해석 유도의 물방울의 운동 방정식에 의거하여 추정한 살수분포는 실지의 살수분포와 극히 미세한 물방울을 제외하고는 상당히 정확하게 일치함을 확인할 수 있다

② 노즐의 수압과 노즐의 구경에 따라 스프링클라의 회전속도도 변화하고 물방울의 크기도 달라진다. 특히 압력이 과대하면 분출되는 물방울은 극히 미립으로 되니까 바람에 의한 영향을 많이 받아 비산살수량이 많아지고 관개효율이 저하한다.

③ 일반적으로 노즐구경이 커질에 따라 회전수가 증가하나 고압인 4.0kg/cm<sup>2</sup>인 경우는 노즐구경이 6.4mm 이상이 되면 회전수가 감소하는 경향을 보였다. 그리고 표 2.2에서 보는바와 같이 중간압식 스프링클라의 적경 회전속도 1.0~1.5R.P.M을 유지하기 위해서는 노즐구경이 4.8mm~6.4mm가 적당한 것으로 여겨진다.

(4) 바람이 없는 경우와 바람이 분 경우의 살포도형(그림 2.1~2.6)을 통하여 알수 있는 바와 같이

바람이 불으면 살수가 고르지 못하고 살수심의 변화가 심해져 균등계수가 크게 나빠진다.

(5) 바람의 영향을 고려한 경우의 경사면(경사도  $\theta$ )에서의 물방울의 운동방정식은 다음과 같다.

$$X\text{축 방향} : x_1 = -CD \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} q' \\ (x_1 - w \cos \theta) \dots \dots \dots (3.1)$$

$$y\text{축 방향} : y_1 = -CD \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} \cdot q' y_1 \\ \dots \dots \dots (3.2)$$

$$Z\text{축 방향} : Z_1 = -CD \cdot \frac{Pa}{Pw} \cdot \frac{3}{4D} \cdot q' \\ (Z_1 - w \sin \theta) - g \dots \dots \dots (3.3)$$

(6) 위의 방정식에 의거하여 경사면에서 바람의 영향을 고려한 경우의 살수물방울의 분포도를 추정할수 있으며 이 추정된 살수분포는 극히 미세한 물방울을 제외하고는 실지의 살수분포와 매우 비슷함을 실지시험을 통하여 확인할수 있다.

(7) 비탈면에서 상향의 바람이 불 때에는 살수영역은 풍속에 따라 약간 좁혀진다.

이에 반하여 하향의 바람인 때에는 물방울은 바람으로 크게 비산된다. 따라서 살수영역은 풍속에 따라 확대된다. 또 상향, 하향 어느 경우나 비탈면의 상위부에서는 풍속에 따라 집중적인 살수분포가 생긴다.

### 참 고 문 헌

(1) Christiansen J. E. (1942) Irrigation by Sprinkling. Bul. 670 Univ. of Calif. p 1~136  
 (2) Defant, F. (1951) Local winds, Comp. Met. p 655  
 (3) 富士岡義一, 村上康藏(1968) 畑地散水灌溉における管配水に関する研究, 農土學會論文集 24號, p 37~41  
 (4) 富士岡義一, 外2人(1969) ミカン園散水灌溉の研究 (I)(II)(III)(IV)(V) 農土會論文集 27號 p 1~27  
 (5) 井上裕雄(1962) on size distribution and evaporation Losses from droplets emitted by a sprinkler 香川大農學部學報 13(2) p 202  
 (6) —(1963) on drop size dize distribution in sqrays emitted by a spinkler under different conditions. 香川大農學部學報 14(2) p 160  
 (7) —(1963) Stains produced by water drops on sheets of filter paper. 香川大農學部學報 14(3) p 161  
 (8) — (1963) 散水かんがいにおける飛散損失の實驗的研究, 香川大農學部學報 15(1) p50~71  
 (9) 飯塚晴信 外2人(1971) 畑地灌溉施設の多目的利用について農土會誌 39(6) p 59  
 (10) —外3人 (1971) 畑地灌溉施設としての末端配管の設計と實施について 農土會誌 39(6) p54  
 (11) — 外3人 (1971) 畑地灌溉施設としての閉鎖式設パイライン設計について農土會誌 39(6) p60  
 (12) 神原正典(1971) 散水カンガイ計劃にする研究 農土會誌 39(5) p 47  
 (13) 吉良芳夫 (1960) スプリンクラによる畑地灌溉法 農業及園藝 35(1) p 165

(14) KUWANO, S., FUKUJIMA. T. (1965) 斜面散水の均一化に関する研究, 畑地農業 81 p 170  
 (15) LIDDELL, H. F. and WOOTEN, N.W. (1977) Quart. J. Roy. Met. Soc. 83 p 263  
 (16) 正木裕美 外2人 (1970) ミカン樹下カン水施設の多目的利用とカン水効果について農土會誌 38(4) p 17  
 (17) MASON, B.J. and RAMANAD HAM, R. (1957) Quart. J. Roy. Met. Soc. 79 p 490  
 (18) 松本和郎, 成實哲郎 (1970) ネオ. スクリンについて農土會誌 38(5) p 3~6  
 (19) 松田宏譯(1970) 散水灌溉における蒸發水量, 農土會誌 38(1) p 40  
 (20) 민병섭, 안병기 (1971) 스프링클라관개에 관한 연구, 농공학회지 13(1) p 1  
 (21) 水之江政輝, 長谷部明郎(1970) 傾斜地散水かんがいにおける水分分布の解析に関する研究, 東海近畿農試場報告 19號 p 150  
 (22) — (1970) 大型スプリンクラの特性と用法, 東海近畿農試場報告 19號 p 174  
 (23) 村上康藏(1971) 散水管における損失水頭の計算法, 農土會誌 (2) p 12  
 (24) NIEDER DORFER, E. (1932) Quart, J. Roy. Met. Z. No. 49. p 1  
 (25) 농공이용연구소 (1961) 田作灌溉試驗, 농공이용연구소 시험사업보고서 p 91  
 (26) — (1968) 스프링클라에 관한연구, 농공이용연구소사업시험보고서  
 (27) 岡村俊一 外2人 (1968) 스프린클라-散水の理論的考察(I)(II)(III) 農土學會論文集 26號 p 49~67

(28) 岡村俊一 外2人(1969) スプリンクラー散水の理論的考察(Ⅳ) 農土學會論文集 28號 p 35~43  
 (29) \_\_\_\_ (1969) " (Ⅴ)(Ⅵ)  
 " 29號 p14~22  
 (30) 小川恒彦, 船田周(1962). 枝條架内の液滴の形狀について日本鹽學會誌 15 (5~6) p 259  
 (31) PIGHORD, R.L. and PYLE, C. (1951) led. Eng. Chem. 43 p 164  
 (32) RICHARDSON, E.G. (1935) Flow Properties of disperse Systems, by J.J. HERMANS, Amst aram, North Holland publishing Co  
 (33) ROBERT Green (1952) A photographic Techique for Measuring the Sizes and Velocities of water Drops from Irrigation Sprinklers. Agr. Eng. p 563~568  
 (34) SEGNER IDO. (1968) Tangential velocity of sprinkler Drops. Tran. A.S. AE. Vol. 8p 90~9g  
 (35) 白井清恒 (1959) 散水灌溉における損失水量,

三重農大報告 No. 20 p 61

(36) \_\_\_\_ 外2人 (1971) 散水水滴の溫度に關する研究 (Ⅰ)(Ⅱ) 農土學會論文集 35號 p 24~35  
 (37) 杉 二郎 (1958) 枝條架における落下水量分布, 日本鹽學會 12 (3) p 137  
 (38) \_\_\_\_ (1960) Sprinkler の研究 part 1. 畑地農業. No. 35 p 4  
 (39) \_\_\_\_ (1961) " part 2. "  
 No. 36 P 4  
 (40) TANASAWA, Y (1960) 熱機關. ティーゼル機關 1. 東京山海道刊  
 (41) TYLOR, E.H. and HARMON, D.B (1954) ind. Eng. Chem. 46 p 1455  
 (42) WOODWARD, G. O. (1959) Sprinkler Irrigation. 2nd ed. Sprniklor Irrig. Assoc.  
 (43) 矢島太郎 (1961) 散水灌溉と土壤水分の變化, 農業及園藝 36 (6) p 21

## 會 告

### 1) 會 費

毎年 莫重한 事業을 推進하면서도 恒常 會費 納付가 遲延되고 있어 學會 運營에 支障이 많습니다. 會員諸賢께서는 이 點을 널리 惠諒하시어 早速한 時日內에 71年度 未納 會費를 自進 納付하여 주시기를 바랍니다. 그리고 72年度 會費는 지난 定期總會에서 1,200원으로 결정 되었음을 알려드립니다.