

# 지표자료와 구름물리를 토대로 한 호우모형의 개선에 관한 연구

## A Study on the Improvement of Heavy Rainfall Model Based on the Ground Surface Data and Cloud Physics

金 雲 中\* · 李 在 炯\*\*  
Kim, Woon Joong · Lee, Jae Hyong

### Abstract

The physically based heavy rainfall model developed by Ceon(1994) for storm events is modified in this study. The main parts of this paper are composed of modeling saturation vapor pressure, cloud thickness, cloud top pressure. In a different way from the previous model, cloud top temperature and albedo measured by satellite are used as input data to the model. In this paper, the defect of saturation vapor pressure equation in the previous model was improved. Furthermore, the parameters for temperature and pressure on cloud top are eliminated as well as the time of calculation in the model is decreased. Also, the results show that there are very small gap between the hourly calculated.

### 요 지

강수의 물리과정에 입각한 호우모형이 전일권(1994)에 의하여 개발되었다. 본 논문에서 이를 수정하였다. 본 연구 모형에서 구성한 주요 부분은 포화증기압, 구름두께, 운정기압에 관한 것이다. 기존 모형과 달리 본 연구 모형의 입력자료로써 위성에 의해 측정된 운정기온과 알베도를 사용하였다. 본 연구에서 기존의 포화증기압 방정식보다 현실에 가까운 방정식을 획득하였으며 기존 방정식의 단점을 해결하였다. 또한 운정기온과 운정기압 추정에 사용된 매개변수가 소거되었으며 계산시간도 단축되었다. 본 연구 모형을 전주지점의 호우사상에 적용하여 검증한 결과 모형의 출력인 총강우량과 강우 패턴이 실측치에 잘 부합되었다.

### 1. 서 론

수문학자들은 수자원의 효율적 운영을 위해 강수의 시·공간 분포 추정에 노력을 경주해 왔다. 과거에는 무작위 장(random field)으로써 강수의 시·

\* 조선대학교 공과대학 토목공학과 부교수  
\*\* 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

공간 분포를 나타내었으나 근래에 와서는 에너지, 질량, 운동량과 같은 기초적인 물리법칙이 복잡하게 대기과정에 작용한 결과로써 강우를 설명하고 있다. 강우의 형성에 기여하는 모든 과정을 알고 있다고 하더라도 측정 장비의 미비와 초기조건, 경계조건 등이 확실하지 않다. 따라서 이의 적절한 해를 구하기 위해 방정식에 매개변수를 도입하여 해결하고자 하는 시도를 해 왔다. 이러한 연구 성과에 힘입어 실용 가능한 강수모형이 Georgakakos와 Bras(1984)에 의해 개발되었다. 이재형 등(1992a, 1992b, 1994a, 1994b)은 이들의 모형을 우리 나라 호우에 적용한 바 적절하지 않음을 발견하였다. 그는 구름층 내부에서 수운적의 집적 효율을 나타내는 방정식을 개선함으로써 우리나라의 호우에 적합한 호우모형으로 발전시켰다. 그러나 이들의 연구에서는 지상의 기상변수에만 의존함으로써 구름상층의 물리적 여건을 평가하지 못하였다. 본 연구의 목적은 이러한 점을 개선하기 위하여 구름상층의 물리변수를 지상기상변수에 의하여 추정하지 않고 기상위성자료인 운정기온(equivalent black body temperature, TBB)과 알베도(Albedo)를 입력자료로 사용함으로써 보다 현실적인 모형으로 개선하는데 있다.

## 2. 모형개요

기류가 수렴하면 단열 또는 습윤 냉각되어 에어로졸 등의 빙정핵 도움을 받아 운적(cloud-droplets)이 된다. 이들 운적은 확산, 응결, 충돌병합 등의 과정을 거쳐 우적크기로 성장하여 강우를 유발하기도 하고 상층의 기상 여건에 따라 무강우가 되기도 한다(Mason, 1971). 이와 같은 과정이 일어나는 지상관측소 위의 단위면적당 기주를 수분이 응결하는 저수지로 간주하고 질량보존법칙을 적용하여 강우모형을 구성한다.

본 연구에서 기호는 전일권(1994)의 연구에서와 동일하게 기술하여 선행연구와의 혼동을 피한다. 그림 1은 이러한 개념 모형을 구체적으로 설명하였다. 그림 1에서  $X$ 는 기주 내에 저류되어 있는 수분질량이다.  $I$ 는 기류가 수렴하여 상승할 때 모형으로 유입되는 수분질량,  $O_b$ 와  $O_t$ 는 운저(cloud base)와 운정(cloud top)을 통하여 모형에서 유출하는 수분질량이다. 운저와 운정에 있어 기압과 기온은 각각  $P_b, P_t, T_b, T_t$ 이다. 지표의 기상상태로는 지상기온( $T_s$ ), 지상기압( $P_s$ ), 이슬점온도( $T_d$ ) 등으로 나타낸다.

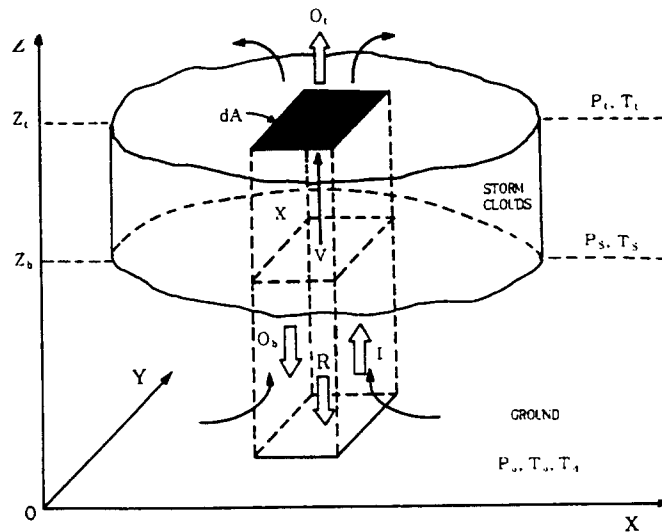


그림 1. 단위면적 기주의 구름계 모형도

구름물리학을 이용하여 이 저수지 모형의 수분질량 거동을 지표의 기상상황(기온, 기압, 이슬점온도)과 상층의 기상상황(알베도, 운정기온)의 함수로 나타낼 수 있다. 운저를 통한 수분 유입 질량  $I$  는 평균 상승기류 속도  $V$ , 운저와 운정의 비습도차  $\Delta W$ , 기주내의 습도 평균밀도  $\rho$  및 기주 단면적  $A$  등의 함수이다. 운저와 운정을 통한 유출 수분질량은  $O_0$ 와  $O_1$ 는 수분 저류량  $X$ 의 선형함수로 나타내었다. 이상의 함수관계를 고려하여, 기주의 수분질량보존 상태 방정식을 다음과 같이 규정할 수 있다.

$$\frac{dX}{dt} = f(u, a_i) - h(u, a_o) \cdot X \quad (1)$$

여기서,  $f(u, a_i)$ 는 유입 수분질량을,  $h(u, a_o) \cdot X$ 는 기주내를 떠나는 수분질량을 지표면 기상변수와 매개변수의 함수로 나타낸 것이다. 변수  $u$ 는 지상의 기온  $T_s$ , 기압  $P_s$ , 이슬점기온  $T_d$  및 운정의 기온  $T_l$ 와 알베도값이다.  $a_i$ 는 유입 매개변수로 운주두께  $Z_c$ 와 구름층의 평균 상승기류 속도  $V$ 이다.  $a_o$ 는 유출 매개변수로 그 성분은  $a_i$ 의 성분과 구름층의 평균 우적직경의 역수값  $c$ , 운정과 운저의 우적직경의 비  $\gamma$ 이다.

운저를 빠져나온 우적은 증발과정을 겪으면서 지상에 강우로 떨어진다. 이 강우량 역시 지표의 기상변수를 이용하여 함수관계로 나타낼 수 있다. 그 결과 강우량은 저류량  $X$ 의 선형함수가 된다.

$$R = \phi(u, a_o) \cdot X \quad (2)$$

여기서,  $R$ 은 지상에 내린 강우량을 나타내며  $\phi$ 는 지표 및 상층의 기상변수에 종속되며 비선형함수이다. 식(1)과 식(2)에서 유입 매개변수  $a_i$ 와 유출 매개변수  $a_o$ 만을 제외하고는 독립변수는 기상변수 뿐이다.

### 3. 기상변수의 고찰

기상위성에서 획득한 운정기온과 알베도를 모형의 입력자료로 사용하여 상층의 기상상황을 반영할

수 있다. 위성에서 측정된 운정기온을 사용할 경우 기존 모형의 포화증기압, 운저의 기온, 기압, 구름두께 등을 추정하는 방정식의 사용은 어렵다. 따라서, 본 장에서는 이들 모형방정식을 상층 기상상황이 반영될 수 있도록 재구성한다.

#### 3.1. 포화증기압

기존의 연구에서는 입력자료로 지상의 기온  $T_s$ , 기압  $P_s$ , 이슬점온도  $T_d$ 를 가지고 식(3)과 같이 단위 gram당 초기 혼합비(initial mixing rate)  $W_0$ 를 산정하여 운주로 유입하는 수분 질량을 산정하는데 이용하였다.

$$W_0 = W_s(T_d, P_0) = \varepsilon \cdot \frac{e_s(T_d)}{P_0 - e_s(T_d)} \quad (3)$$

여기서,  $\varepsilon = 0.622$ 이고,  $W_s(T_d, P_0)$ 는 이슬점온도  $T_d$ , 기압  $P_0$ 를 갖는 기단의 포화 혼합비(saturation mixing ratio)이며  $e_s(T_d)$ 는 순수한 물 표면에 대한 포화증기압이다. 포화증기압  $e_s$ 는 기온의 비선형 함수이다. 이 포화증기압을 Georgakakos와 Bras(1984)는 Mason(1971)의 실측 자료를 토대로 다음의 비선형 형태로 식(4)와 같이 제안하였으며 실측치와 아주 흡사한 결과를 얻을 수 있다고 주장하였다(그림 2 참조).

$$e_s(T-223.15)^{c_p/R_i} = A_i \cdot (T-223.15)^{3.5} \quad (4)$$

여기서,  $A_i = 8 \times 10^{-4} (kg \cdot m^{-1} \cdot sec^{-2} \cdot K^{-3.5})$ ,  $c_p$ 는 정압 비열,  $R_i$ 는 기체 상수이다. 그러나 식 (4)를 적용할 수 있는 기온의 범위는  $243^\circ K \leq T \leq 293^\circ K$ 로 한정된다. 그림 2에서 보는 바와 같이  $243^\circ K$  이하의 영역에서는 실측치와 관측치와의 차이가 있어 운정기온이  $243^\circ K$  이하일 경우에도 적절한 식(5)와 같이 새로운 회귀식을 추정하였다. 그림 2에서 실선은 관측치, 굵은 점선은 Mason(1971)이 추정한 것, 가는 점선은 본 연구에서 추정한 것이다. 기존식과 새로운 회귀식에 의한 추정치와 실측치간의 평균제곱근오차(root

mean square error, RMSE)를 5° K 간격의 자료를 사용하여 구하고 그 결과를 표 1에 수록하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 새로운 회귀식은 기존식보다 평균제곱근오차값이 약 1/50 정도로 적으므로 현실에 가까운 포화증기압 방정식이다.

$$e_s(T) = C_1 \cdot (T - 151.383)^{8.79828} \quad (5)$$

여기서,  $C_1 = 2.84326E-16 (kg \cdot m^{-1} \cdot sec^{-2} \cdot K^{-8.79828})$ 이다.

식(3)과 식(5)에서  $P_0 \gg e_s(T_d)$ 이므로 혼합비는 다음과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$W_0 \cong \epsilon \cdot \frac{C_1 (T_d - 151.383)^{8.79828}}{P_0} \quad (6)$$

기온  $T_d$ 에서 포화된 기단이 기압  $P_0$ 를 가질 때의 혼합비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_s(T_0, P_0) = \epsilon \cdot \frac{C_1 (T_d - 151.383)^{8.79828}}{P_0} \quad (7)$$

$T_d < T_0$ 이면 기단은 포화되어 있지 않고  $W_0 < W_s(T_0, P_0)$ 이다. 이 경우 기단이 초기 기온  $T_0$ , 초기 기압  $P_0$ 를 갖고 있다면 단열 상승하며 기단이 포화되었을 경우에는 위단열 상승하게 된다. 기단이 포화되어  $T_d = T_0$ 가 되면  $W_0 = W_s(T_0, P_0)$ 이다.

### 3.2. 운저의 기온( $T_s$ )과 기압( $P_s$ )

기존의 모형에서 운저의 기온  $T_s$ 와 운저의 기압

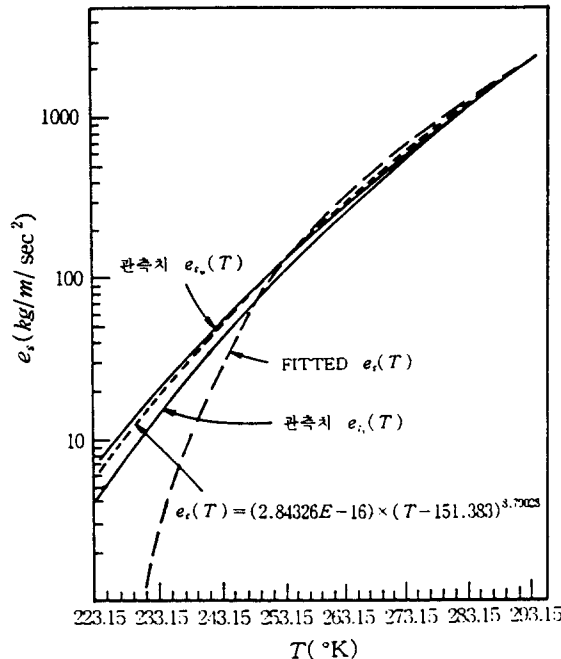


그림 2. 온도와 포화수증기압과의 관계

표 1. 포화증기압에 대한 각 식과의 오차비교

구 분	식	기 존 식	추 정 식
	RMSE( $kg/m/sec^2$ )	545.97	11.55

$P_s$ 는 다음과 같다(Wallace와 Hobbs, 1977).

$$T = \left( \frac{I}{P_n^{0.286}} \right) \cdot \theta \cdot P_n^{0.286} \quad (8)$$

여기서,  $P_n = 10^5 [\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{sec}^2)]$ 이고 온도  $\theta$ 는 식(9)와 같이 Poisson 방정식으로 주어진다.

$$\theta = T_s \cdot \left( \frac{P_n}{P_o} \right)^{R_i/c_p} \quad (9)$$

식(8)의  $P$  대신에  $P_s$ 를 대입하면 식(10)과 같이  $T_s$ 를 구할 수 있다.

$$T_s \left( \frac{I}{P_n^{0.286}} \right) \cdot \theta \cdot P_n^{0.286} \quad (10)$$

본 연구의 3.1절에서 추정된 포화증기압 방정식을 사용하여 식(10)을 재구성하면 식(11)이 된다.

$$T_s = 151.383 = \left( \frac{W_o \cdot P_s}{\varepsilon \cdot C_i} \right)^{\frac{1}{8.79828}} \quad (11)$$

식(10)과 식(11)을 조합하여 식(12)를 얻는다.

$$\left( \frac{P_s}{P_n} \right)^{0.286} \cdot \theta - \left( \frac{W_o \cdot P_s}{\varepsilon \cdot C_i} \right)^{\frac{1}{8.79828}} = 151.383 \quad (12)$$

식(12)의  $\theta$  대신 식(9)를 대입하고  $W_o$  대신 식(7)을 대입하고 정리하면 식(13)과 같이 된다.

$$\left( \frac{P_s}{P_o} \right)^{0.286} \cdot T_o - \left( \frac{P_s}{P_o} \right)^{\frac{1}{8.79828}} \cdot (T_d - 151.383) = 151.383 \quad (13)$$

한편 식(12)에서  $\theta$ 는 식(14)와 같다.

$$\theta = \left( \frac{P_n}{P_s} \right)^{0.286} \cdot \left[ 151.383 + \left( \frac{W_o \cdot P_s}{\varepsilon \cdot C_i} \right)^{\frac{1}{8.79828}} \right] \quad (14)$$

식(14)에서 미지변수는  $P_s$ 뿐이므로 간단히 해결된다. 따라서  $T_s$ 는 식(10)에 의해 결정된다.

### 3.3. 구름두께 ( $Z_c$ )

기존의 방정식에서는 지상의 기상변수만으로 구름두께를 추정하여 상층의 기상변화가 고려되지 않았다. 최근 기상연구소(1990)의 연구에 의하면 구름두께를 알베도를 사용해 산정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이들 연구성과를 바탕으로 식(15)와 같이 구름두께를 산정한다. 알베도는 가시광선에 의하여 기상위성에서 측정되며 그 강도를 0~63까지 64단계로 나누어서 Counter value로 관측된다. 본 연구에서는 호우 기간에 09:00~18:00(주간)에 해당되는 값을 사용하여 구름층의 두께를 추정하였다.

$$Z_c = K_a \cdot X_c^{K_b} \quad (15)$$

여기서,  $Z_c(m)$ 는 구름층의 두께,  $K_a$ 와  $K_b$ 는 상수로 각각 1.0과 2.3이고,  $X_c$ 는 알베도의 Counter value이다.

알베도는 가시광선에 의해 측정되므로 야간에는 알베도 값의 측정이 어렵다. 따라서 알베도 값을 토대로 야간에는 구름두께를 추정할 수 없다. 그러므로 주간에는 알베도로 구름두께를 구하고 야간에는 4개의 호우사상 가운데 주간에 해당되는 부분 총 13개 만을 선별하여 알베도에 의해 계산된 값과 그 시간대에 해당되는 기온, 기압, 이슬점온도, 운정기온 등을 이용하여 식(16)과 같이 다중회귀분석을 실시하여 각 계수를 구한 식으로 야간의 구름두께를 계산한다.

$$Z_c = C_a + C_b T_o + C_c P_o + C_d T_d + C_e T_i \quad (16)$$

여기서,  $C_a, C_b, C_c, C_d, C_e$ 는 계수이며 기타 변수는 앞에서 정의한 바와 같다.

### 3.4. 운정기압( $P_t$ )

기존의 연구에서 운정기압과 운정기온은 지상의 기상자료만으로 구름 물리방정식을 사용하여 추정하였다. 본 절에서는 상층 기상자료인 운정기온은 관측이 가능하므로 그 값을 입력자료로 사용하고 운정기압  $P_t$ 는 추정한다. 운저로부터 구름내부의 임의점까지의 고도를 Wallace와 Hobbs(1977)는 식(17)과 같이 제안하였다.

$$z - z_i = \frac{RT_w}{g} \ln\left(\frac{P_t}{P}\right) \quad (17)$$

여기서,  $z$ 는 임의점의 고도이고  $z_i$ 은 운저의 고도이다.  $P$ 는 임의점의 기압,  $P_t$ 은 운저의 기압 그리고  $T_w$ 는 기주의 평균기온이다. 식(17)에  $z$  대신  $z_s$ ,  $P$  대신  $P_s$ ,  $P_t$  대신  $P_t$ 를 대입하면 식(18)과 같이 정리할 수 있다.

$$Z_c = \frac{R(T_s + T_t)}{2g} \ln\left(\frac{P_s}{P_t}\right) \quad (18)$$

이 식에서  $P_t$ 만이 미지수이므로  $P_t$ 에 대하여 재정리하면 식(19)와 같다.

$$P_t = \frac{P_s}{\exp\left\{\frac{2gZ_c}{R(T_s + T_t)}\right\}} \quad (19)$$

여기서,  $R$ 은 기체상수이고  $T_s$ ,  $T_t$ 는 운저와 운정기온이다.

## 4. 적용 및 고찰

본 연구모형을 전주측후소 지점의 호우사상에 적용하였다. 이 지점의 위성자료가 1989년부터 축적되어 있는 바 본 연구에서는 선택 호우사상을 1989년 이후 1994년까지 발생한 호우중 Huff (1976) 독립호우 기준에 의하여 호우를 분리하고 각 호우기간에 50mm이상의 강우를 보인 사상을 취하였다. 1994년은 한발이 발생하여 이 기준에 맞는 호우사상이 없었다(표 2).

선택한 호우 자료를 토대로 야간의 구름두께를 추정하기 위하여 3.3절에서 기술한 바와 같은 방법으로 계수를 추정하였다(표 3).

2장에서 기술한 모형방정식과 본 절에서 추정한 결과를 토대로 본 연구에서 구성한 강우 모형을 선택호우사상에 적용하였다. 모형에 포함된 매개변수의 민감도를 분석한 결과 기존의 연구 모형과 같이

표 2. 선택 호우 사상

호우 번호	1	2	3	4
호우 기간	90.6.19.13:00 ~6.20.01:00	92.7.16.22:00 ~7.17.09:00	93.6.28.24:00 ~6.29.09:00	93.7.12.01:00 ~7.12.13:00
호우 원인	이류성 호우	이류에서 대류성으로 전환된 호우	대류성 호우	대류성 호우

표 3. 구름두께 추정방정식 계수

구분	$C_a$	$C_b$	$C_c$	$C_d$	$C_e$
계수 값	0.14835E + 6	0.13952E + 4	0.28573E - 3	-0.18966E + 4	0.10446E + 2

표 4. 매개변수 추정치

호우사상 매개변수	1	2	3	4
$\epsilon_1$	.1081806E-1	.6133076E-2	.5945702E-2	.1241152E-2
$\epsilon_4$	.9056277E-4	.1117093E-3	.1382565E-3	.2119075E-3

본 연구 모형도 상승기류속도 매개변수인  $\epsilon_1$ 과 기주내 수운적 평균직경 매개변수인  $\epsilon_4$ 가 민감한 변수였다. 또한 기존 모형의 구름두께를 추정하는데 사용되었던 매개변수인  $\epsilon_2$ 와  $\epsilon_3$ 는 본 연구 모형에서는 필요하지 않다. 본 연구 모형의 매개변수는 선택호우 사상 자료와 모형의 계산 결과를 토대로 Hooke(1961) 알고리즘을 사용하여 추정하였다. 민감한 매개변수인  $\epsilon_1$ 과  $\epsilon_4$ 의 값을 추정한 결과 그 범위는 각각 0.00124~0.01082와 0.0000906~0.000212이다(표 4).

한편 구름두께를 계산하는데 있어 주간에는 알베

도를 사용하여 계산하였으며 야간에는 주간의 자료로 본 연구에서 다중회귀분석한 식(16)을 사용하였다. 본 연구 모형과 기존 모형으로 계산한 총강우량 및 평균제곱근오차를 표 5에 게재하였다. 또한 기존 모형으로 산정한 구름두께와 운정기온을 본 연구 모형의 값에 대하여 비교 분석하였으며 이는 4개의 호우사상중 주간에 해당되는 값만을 비교하였다. 기존의 모형에서 구름두께가 거의 일정한 크기(최대 차이의 절대값 약 200m)를 갖으나 본 연구모형은 그 변화폭의 최대 값이 약 5km로 크다. 운정기온 또한 같은 양상을 보이고 있다(표 6).

표 5. 관측 및 계산치의 비교

구 분		호우사상		1		2		3		4	
		본연구	기 준	본연구	기 준	본연구	기 준	본연구	기 준		
총강우량 (mm)	관측치	82.7		167.9		105.0		89.5			
	계산치	88.3	84.3	171.1	165.9	104.4	109.4	86.6	91.6		
관측치-계산치 (mm, 절대값)		5.6	1.6	3.2	2.0	0.6	4.4	2.9	2.1		
지속기간시우량 평균(mm/hr)		6.4		14.0		10.5		6.9			
평균제곱근오차		3.4	3.6	4.5	6.6	4.2	4.8	2.1	3.8		
지속기간시우량평균 평균제곱근오차		0.53	0.56	0.32	0.47	0.40	0.46	0.30	0.55		

표 6. 본 연구와 기존 연구에서의 구름두께와 운정기온

번호	운 정 온 도(°K)				구 립 두 께(m)			
	본연구	기존연구	본연구-기존연구	상대오차율(%)	본연구	기존연구	본연구-기존연구	상대오차율(%)
1	232	264	-32	13.8	7862	6650	+1212	15.4
2	233	262	-29	12.4	7608	6600	+1008	13.2
3	234	259	-25	10.7	7359	6520	+ 839	11.4
4	230	260	-30	13.0	5562	6500	- 938	16.9
5	225	260	-35	15.6	3797	6470	-2673	70.4
6	221	261	-40	18.1	2130	2700	- 570	26.8
7	256	250	+ 6	2.3	3329	2660	+ 669	20.1
8	237	249	-12	5.1	2896	2610	+ 286	9.9
9	208	250	-42	20.2	3359	2620	+ 739	22.0
10	210	250	-40	19.0	4979	2610	+2369	47.6
11	213	250	-37	17.4	6183	2610	+3573	57.8
12	215	250	-35	16.3	7717	2610	+5107	0.7
13	218	250	-32	14.7	7012	2610	+4402	62.8

이 결과로 볼 때 기존 모형은 상층의 기상상황이 적절하게 반영하지 못한 것으로 판단된다. 운정기온을 입력변수로 하는 본 연구 모형은 기존 모형에서 Newton-Rapson방법에 의하여 운정의 기온과 압력을 추정하는 단계를 소거하므로써 계산시간이 단축되었다.

강우의 시간 분포를 가늠해 볼 수 있는 계산 및 실측치간의 강우에 대한 평균제곱근오차는 2.1~4.5mm/hr이고 이는 호우 기간의 지속기간시우량평균의 30~53%에 해당한다. 이 값을 기존 연구 성과와 비교해 볼 때 작은 값이므로 본 연구 모형이 기존 모형에 비해 현실에 근접한 모형으로 사료된다.

## 5. 결 론

지상의 기상자료인 기온, 이슬점온도, 기압과 가상위성자료인 운정기온과 알베도를 입력으로 하는 호우모형을 개발하였다. 본 연구에서 기존의 포화증기압 방정식보다 현실에 가까운 방정식을 획득하였으며 기존 방정식의 단점(243.15 °K이하에서는 적용할 수 없었음)을 본 연구에서 해결하였다. 구름두께는 알베도를 사용하여 회귀분석한 방정식에 의하여 추정하였으며 알베도 측정이 불가능한 야간에 이 두께를 추정할 수 있는 다중회귀식을 추정하였다. 또한 본 연구 모형은 기존 모형과는 달리 위성 자료를 사용함으로써 운정기온과 운정기압 추정에 사용된 매개변수가 소거되었으며 계산시간도 단축되었을 뿐만 아니라 상층의 기상 상황을 반영할 수 있었다. 전주 측후소 지점의 기상자료를 토대로 본 연구 모형을 검증한 결과 호우기간의 계산 총강우량이 기존 모형보다 실측치에 근접하고 있으며, 강우 패턴을 가늠할 수 있는 강우 지속기간의 시우량 평균치와 평균제곱근오차와 비는 30~53%로 실측치에 부합하였다.

## 감사의 글

본 논문은 1994년도 조선대학교 학술연구비에

의하여 연구되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 기상연구소 (1990). "위성 자료를 이용한 구름층의 수분추정." MR 90-6.
- 이재형, 선우중호, 전일권, 정재성 (1992b). "구름 물리학을 토대로한 지점 호우모형 개발." 한국수문학회지, 제25권, 제4호, pp. 51-59.
- 이재형, 선우중호, 전일권, 황만하 (1994b). "물리모형을 토대로한 호우 예측." 대한토목학회논문집, 제14권, 제5호, pp. 1129-1136.
- 이재형, 전일권 (1994a). "기상 자료 미계측 지점의 강우 예보 모형." 대한토목학회논문집, 제14권, 제2호, pp. 307-316.
- 이재형, 전일권, 조대현 (1992a). "지점 호우 모형의 매개상수 동정에 관한 기초 연구." 대한토목학회논문집, 제12권, 제2호, pp. 123-130.
- 전일권 (1994). "강수의 물리과정에 입각한 호우 예측 모형에 관한 연구," 박사학위논문, 전북대학교.
- Georgakakos, K.P., and Bras, R.L. (1984). "A hydrologically useful station precipitation model:1. formulation" *W.R.R.*, Vol. 20, No.11, pp. 1585-1596.
- Hooke, R., and Jeeves, T.A. (1961). "Direct search solution of numerical and statistical problems", *J. Assoc. Comp. Mach.*, Vol. 8, No. 2, pp. 212-229.
- Huff, F.A. (1976) "Time distribution of rainfall in heavy storms." *W.R.R.*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
- Mason, B.J. (1971). *The physics of clouds*. Clarendon Press, Oxford.
- Wallace, J.M., and Hobbs, P.V. (1977). *Atmospheric science. An introductory survey*, Academic Press, New York.

(접수: 1995년 11월 1일)