

# 우리나라 지역별 순별 강수량 추정모형 개발

엄기철

세종데이터연구소장

## Model of a Period of 10 Days Rainfall in Korea

Eom, Ki Cheol

Sejong Data Research Institute, Director General, Suwon, Korea

### ABSTRACT

This study focus on development of the model to estimate 10 days rainfall. The principle results are as follows: (1) The average of 10 days rainfall for 70 districts was 48.27 mm during the last 30 years (1991 ~ 2020). (2) A model for estimating 10 days rainfall was developed as a Gaussian function form (GAM) with the mean Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) of 0.80 (3) GAM model verification was 『Very good』, 『Good』 and 『Satisfactory』, for 70 districts.

*Key words: 10 days rainfall, GAM model, Gaussian function, Coefficient of determination, NSE (Nash-Sutcliffe Coefficient)*

### 1. 서론

기후변화는 환경과 농업 생산성에 지대한 영향을 미친다는 사실은 우리 모두 공감하고 있을 것이다. 우리나라 기상청의 『한국기후변화 평가 보고서 2020』에 의하면 전 지구 연평균강수량은 지역에 따라 차이가 있으나 현재 대비 약 +5 ~ 10% 증가하는 것으로 나타났다. 특히 강수량의 증가 지역은 기온 상승이 가장 큰 극 지역과 강수량 최다지역인 적도에서 증가 폭이 컸는데, 이 지역의 강수 변화는 최대 17%까지의 증가 폭을 보인다. 또한, 주요 몬순 지역의 월 변화는 동아시아 몬순의 경우 5 ~ 9월 사이에 최대 20%의 강수량 증가 경향을 보였다고 하였다(KMA, 2020). 또한, 강우는 토양유실과 토사 붕괴에 즉흥적으로 직접적인 영향을 미치며 집중강우에 의한 토양유실은 농업 생산성 저하, 수질 오염 발생 및 생태계의 건전성 파괴 등을 일으킨다(Dominati et al., 2010; Lukic et al., 2018; Lukic et al., 2019). 강우가 토양유실에 미치는 영향은 세계적으로 많이 사용되고 있는 토양유실 예측공식인 USLE (Universal Soil Loss Equation: Wischmeier and Smith, 1978)과 RUSLE (Revised USLE: Renard et al., 1997)의 R-factor (Rainfall erosivity)라는 값으로 계량화 평가를 하고 있으나, 지역에 따라서 강수량 변화양상에

대한 자료 부족으로 토양유실 예측에 많은 어려움을 겪고 있다(Xie et al., 2016; Bezak et al., 2021; Dunkerley, 2021). 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 Modified Fourier Index (Arnoldus, 1980) 및 Precipitation concentration Index (Oliver, 1980) 방법이 세계적으로 많이 활용되고 있다(Oliveira et al., 2013; Yue et al., 2014; Efthimiou, 2018; Lukic et al., 2018; Di Lena et al., 2021). 강수량은 지하수위 변동에 영향을 주는 가장 중요한 요인이며(Crosbie et al., 2005; Park and Parker, 2008; Gaalen et al., 2013; Zhang et al., 2017), 많은 연구에서 강수량과 지하수위는 직선적인 상관관계가 있었다(Healy and Cook, 2002; Restrepo et al., 2006; Tan et al., 2007; Sibanda et al., 2009; Obuobie et al., 2012; Jassas and Merkel, 2014; Cai and Offerdinger, 2016; Rama et al., 2018; Kotchoni et al., 2019). 강수 조건에 가장 큰 영향을 받는 분야는 농업 분야라 할 수 있으며 농업 생산성의 90%는 강우에 의존한다(Araya et al., 2010). 따라서 본 연구는 우리나라 밭작물의 주요 생육 기간인 4월 상순부터 11월 하순까지 각순 별 강우량에 대한 추정모형을 개발하고자 하였다. 또한, 강수량 등 자연현상을 측정 및 추정할 때, 그 측정치 및 모형에 의한 추정치는 오차를 포함하고 있다. 이 오차가 참값과 어느 정도의 변이를 나타내는지를 판단하는 것이 정확도

†Corresponding author : kceom6578@hanmail.net (16432, Kyeonggi Suwon Suseong street 92, Nongminhoikoan 205, Korea. Tel. +82-31-291-3346) ORCID 엄기철 0000-0002-8098-4876

(Accuracy) 분석이나 자연현상의 측정에는 참값을 알 수 없으므로 정확도 분석이 불가하여, 일반적으로 그 측정치에 대한 재현성 즉, 정밀도(Precision)를 분석하게 되며, 이와 같은 정밀도 분석은 오차 분석 이론(Goodman, 1960 ; Kendal and Stuart, 1963 ; Mandel, 1964, ; Shein et al., 2013 ; Irsyard et al., 2019 ; Eom et al., 2020)에 바탕을 두고 이루어져 오고 있다. 또한, 그 추정모형의 적절성(Appropriateness)은 측정치(Observed value)와 모형에 의한 추정치(Estimated value)의 차이에 근거하여 결정계수(R<sup>2</sup> : Coefficient of determination), Root mean square error (RMSE), Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) 등 여러 가지 지표에 근거하여 그 모형이 『적절하다(Appropriate)』라고 할 수 있는지 판단하게 된다(Nash and Sutcliffe, 1970 ; Moriasi et al., 2007 ; Fuamba et al., 2019 ; Naseri et al., 2021). 특히, NSE를 지표로 삼을 경우 0.75 이상이면 『Very good』, 0.65 이상이면 『Good』, 0.5 이상이면 『Satisfactory』, 0.5 미만이면 『Unsatisfactory』라고 판단한다(Li et al, 2021). 본 연구에서는 결정계수와 NSE를 모형의 적절성에 대한 지표로 삼았으며 (Demissie et al., 2021; Kim and Kim, 2021; Nonki, 2021; Fung et al., 2022; Hussain et al., 2022;; Zhao et al., 2022), 적절성의 판단은 Li et al.(2021)의 기준을 따랐다. 본 논문은 첫째, 우리나라 발작물 재배시 작물별 생육기에 따라 물 요구량이 현저히 다르고, 더불어 지역별 생육기 순별 강수량이 다를 뿐만 아니라 연도에 따라서도 강수량은 다를지라도 경향 치는 유사하게 변화할 것으로 판단되므로 순별 강수량 추정은 중요하다고 사료된다. 둘째, 순별 강수량 변화치 추정모형 개발로 지역별 추정 강수량 산출이 가능하여 지역별, 작물별, 생육기별 요구 수분량의 다소를 결정할 수 있을 것이며, 과부족에 대응 가능할 것으로 판단되므로 순별 강수량 변화치 추정모형은 중요하다고 사료된다. 셋째, 따라서 본 연구 결과는 발작물뿐만 아니라 논 작물에서도 지역별, 생육기별 수분 과부족에 대한 대응이 가능할 것으로 사료되어 작물별 고품질, 다수확 생산에 크게 기여할 것이라 판단된다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 순별 강수량 변화양상 분석

본 연구에 사용된 기상 자료는 우리나라 기상청에서 제공되는 전국의 기상대 관측자료 중 도서지방을 제외한 내륙지역의 상대습도 측정치가 제공되는 70개 기상대에서 관측한 1991년부터 2020년까지의 지역별 및 시기별 강수량 자료를 활용하였다.

순별 강수량의 평균, 표준편차, 변이계수, 표준오차, 등의 통계량 산정 방식은 일반적인 통계학 교과서의 방식대로 산정 하였으며, 범위(Range)는 식 (1)과 같이 산정하였다.

$$\text{Range} = X_{\max} - X_{\min} \quad (1)$$

단,  $X_{\max}$  : X 변량의 최대값  
 $X_{\min}$  : X 변량의 최소값

### 2.2. 순별 강수량 변화양상 추정 모형 개발

순별 강수량을 추정할 수 있는 모형(GAM)의 형태는 식 (2)의 Gaussian function으로 선정하고 최소제곱법 방법을 이용하여 오차가 최소인 계수를 산정하여 모형을 개발하였다.

$$\text{GAM} = Y_o + a \cdot \exp(-0.5 ((X-X_o)/b)^2) \quad (2)$$

단, X : 1월 상순부터 경과 된 순의 수  
 $Y_o, X_o, a, b$  : 계수

여기서  $Y_o$ 는 모형 전체의 값에 영향을 미치는 절편으로써 보정 계수이고,  $a$ 는 진폭을 나타내는 계수이며,  $X_o$ 는 최댓값을 나타내는 시기와 관련된 계수이고, 계수  $b$ 는 변화 폭과 관련된 계수이다.

지역별 경도와 위도에 따른 순별 강수량을 추정할 수 있는 모형(DML)을 식 (3)의 Plane-3-dimension 함수로 선정하고(Eom, 2021a), 최소제곱법 방법을 이용하여 오차가 최소인 계수를 산정하여 모형을 개발하였다.

$$\text{DML} = Y_o + AX + BY \quad (3)$$

단, X : 경도  
 Y : 위도  
 $Y_o, A, B$  : 계수

식 (3)의 DML에 의한 모형의 결정계수가 통계적으로 유의성이 인정되지 않는 변량에 대해서는 곡면 3차원 모형(DMP)인 식 (4)의 Paraboloid-3-dimension 함수로 선정하고 최소제곱법 방법을 이용하여 오차가 최소인 계수를 산정하여 모형을 개발하였다.

$$\text{DMP} = Y_o + AX + BY + CX^2 + DX^2 \quad (4)$$

단, X : 경도  
 Y : 위도  
 $Y_o, A, B, C, D$  : 계수

### 2.3. 순별 강수량 추정모형의 검증

본 연구에서 개발된 GAM 모형의 적절성에 대한 검증은 결정계수 ( $R^2$ ) 및 식 (5)의 NSE에 근거하여 검증하였다.

$$\text{NSE} = 1 - [(1/n) \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2] / [(1/n) \sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2] \quad (5)$$

단,  $P_i$  : 모형에 의한 추정치  
 $O_i$  : 실측치  
 $O_m$  : 실측치의 평균  
 $n$  : sample 수

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 순별 강수량의 변화양상

##### 3.1.1. 평균 순별 강수량의 변화양상

우리나라 70 지역의 4월 상순부터 11월 하순까지 총 평균 순별 강수량은 48.27 mm이었고, 시간적 변이는 14.83 ~ 109.34 mm이

있으며 공간적 변이는 35.92 ~ 61.90 mm이었다(Fig. 1).

##### 3.1.2. 순별 강수량의 표준편차(STD : Standard deviation)의 변화양상

우리나라 순별 강수량에 대한 70 지역의 평균 표준편차는 10.58 mm이었고 시기별 변이는 3.17 ~ 31.23 mm이었으며, 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 표준편차는 33.53 mm이었고 지역별 변이는 21.25 ~ 49.15 mm이었다(Fig. 2).

##### 3.1.3. 순별 강수량의 변이계수(CV : Coefficient of variation)의 변화양상

우리나라 순별 강수량에 대한 70 지역의 평균 CV는 23.63%



Fig. 1. Average of 10 days rainfall during thirty years according to period (left : Average with standard deviation bar) and district (right)

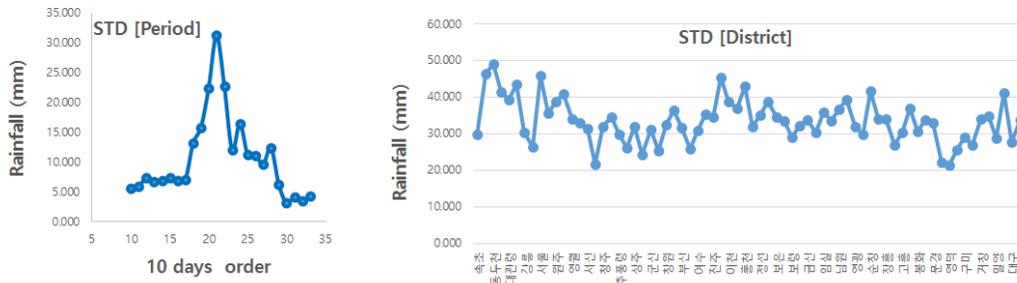


Fig. 2. STD of 10 days rainfall during thirty years according to period (left) and district (right)

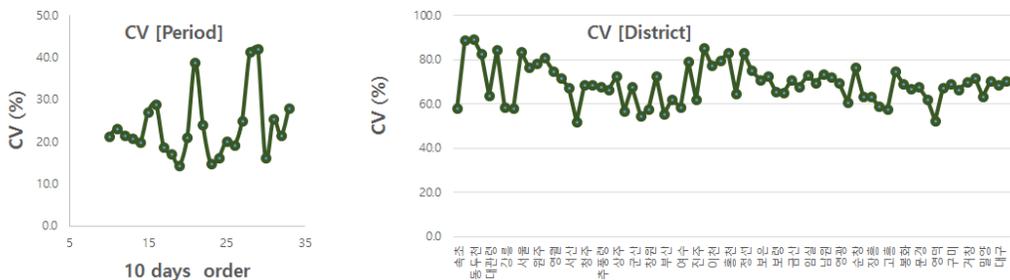


Fig. 3. CV of 10 days rainfall during thirty years according to period (left) and district (right)

이었고 시기별 변이는 14.50 ~ 42.15%이었으며, 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 CV는 69.30%이었고 지역별 변이는 51.89 ~ 89.45%이었다(Fig. 3).

3.1.4. 최대 순별 강수량(MAX)의 변화양상

우리나라 순별 강수량에 대한 70 지역의 평균 최대 순별 강수량은 79.41 mm이었고 시기별 변이는 26.90 ~ 176.70 mm이었으며, 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 최대 순별 강수량은 120.63 mm이었고 지역별 변이는 79.30 ~ 176.70 mm이었다(Fig. 4).

3.1.5. 최소 순별 강수량(MIN)의 변화양상

우리나라 순별 강수량에 대한 70 지역의 평균 최소 순별 강수량은 27.30 mm이었고 시기별 변이는 5.10 ~ 76.30 mm이었으며, 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 최소 순별 강수량은 12.61 mm이었고 지역별 변이는 5.10 ~ 21.60 mm이었다(Fig. 5).

3.1.6. 순별 강수량에 대한 범위(RANGE)의 변화양상

우리나라 순별 강수량에 대한 70 지역의 평균 RANGE는 52.12 mm이었고 시기별 변이는 17.50 ~ 143.20 mm이었으

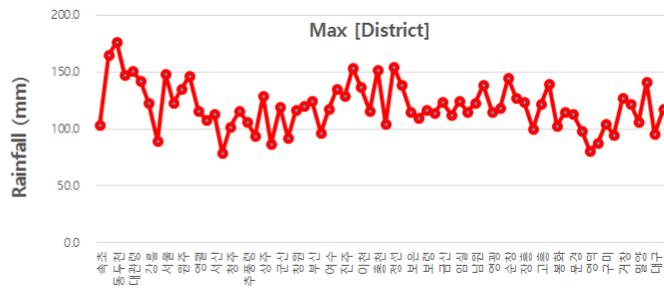
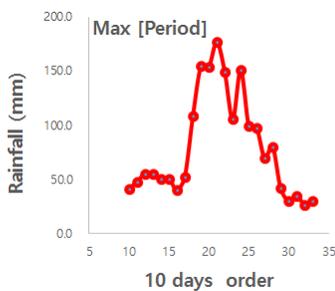


Fig. 4. MAX of 10 days rainfall during thirty years according to period (left) and district (right)

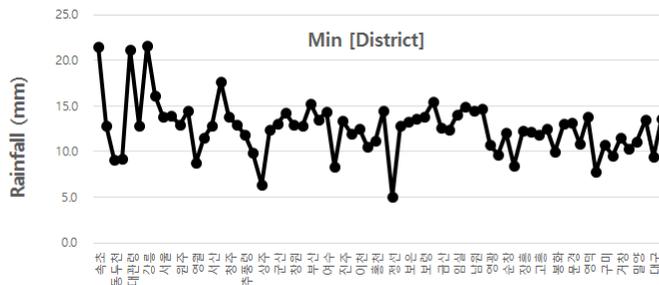
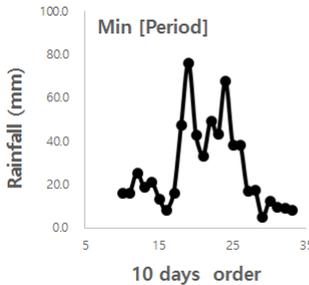


Fig. 5. MIN of 10 days rainfall during thirty years according to period (left) and district (right)

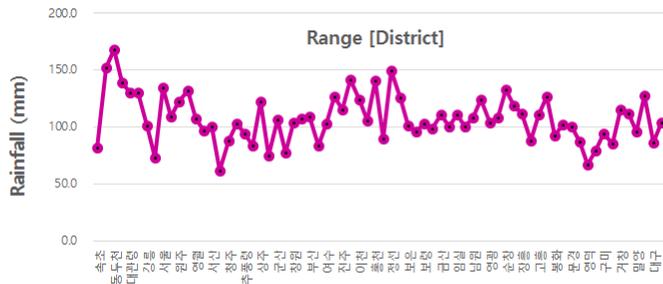
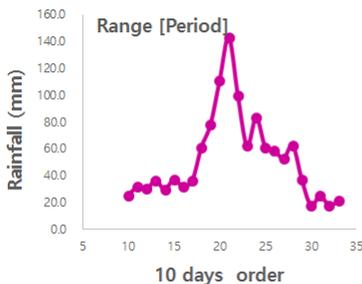


Fig. 6. RANGE of 10 days rainfall during thirty years according to period (left) and district (right)

Table 1. The standard error (SE) of average 10 days rainfall during thirty years according to district and period

SE according to district	SE according to period
1.26 mm (18.4)	6.84 mm (100)



Fig. 7. The distribution of 10 days rainfall

며, 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 RANGE는 107.42 mm 이었고 지역별 변이는 61.60 ~ 167.60 mm이었다(Fig. 6).

3.1.7. 순별 강수량의 시·공간적 변이 분석

우리나라의 지역 및 시기의 평균 순별 강수량에 대한 표준오차(SE : standard error)에 근거하여 볼 때, 평균 순별 강수량의 전국 평균 공간적 변이는 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 시간적 변이의 18.4% 정도이었다(Table 1).

3.1.8. 시기별 순별 강수량의 분포양상 분석

우리나라 70 지역에 대한 시기 별 순별 강수량의 분포양상

을 볼 때, 4월 상순, 4월 중순, 5월 하순, 6월 상순 및 10월 상순은 20 ~ 30 mm가 각각 54, 53, 48, 34 및 34 지역으로 가장 많았으며, 4월 하순, 5월 상순, 5월 중순, 6월 중순 및 9월 하순은 30 ~ 40 mm가 각각 36, 38, 34, 37 및 32 지역으로 가장 많았으며, 7월 하순, 9월 상순 및 9월 중순은 50 ~ 60mm가 각각 16, 31 및 32 지역으로 가장 많았으며, 6월 하순은 60 ~ 70 mm가 20 지역으로 가장 많았으며, 8월 중순은 70 ~ 80 mm가 21 지역으로 가장 많았으며, 7월 중순, 8월 상순 및 8월 하순은 100 ~ 110 mm가 각각 18, 12 및 20 지역으로 가장 많았으며, 7월 상순은 110 ~ 120 mm가 20 지역으로 가장 많았으며, 10월 중순부터 11월 하순까지는 10 ~ 20 mm

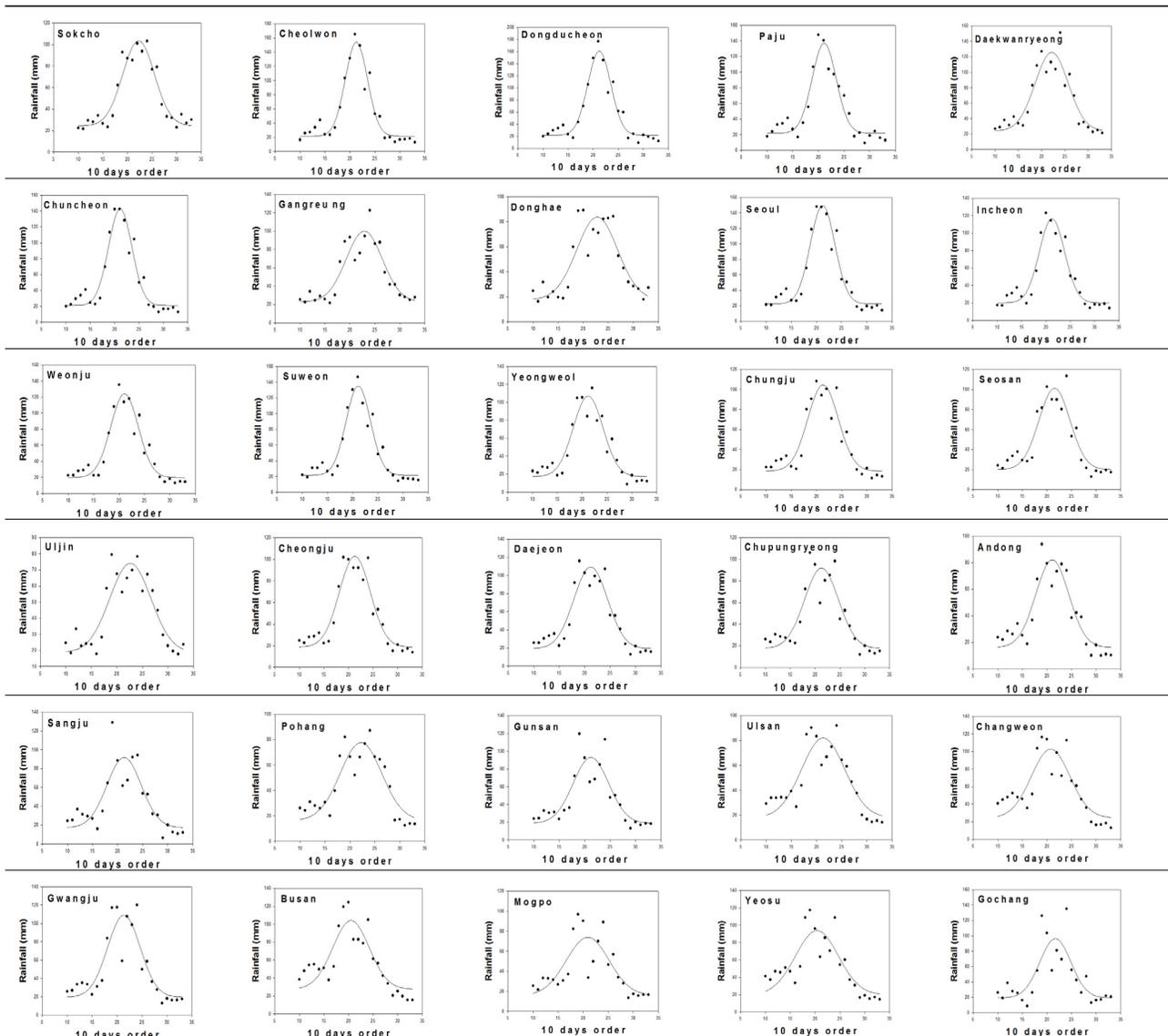


Fig. 8. Measured and estimated 10 days rainfall according to Period by GAM for each district

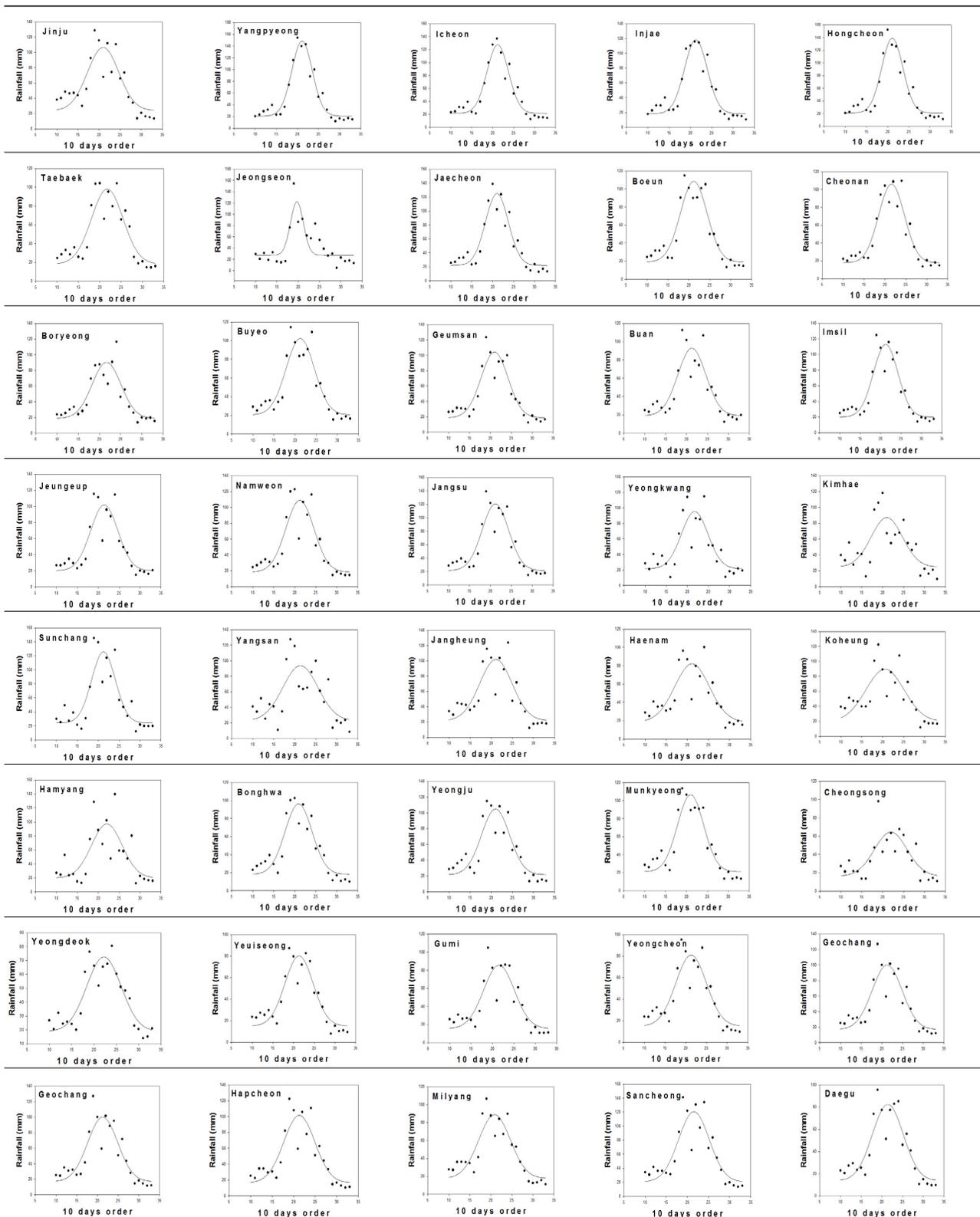


Fig. 8—continue Measured and estimated 10 days rainfall according to Period by GAM for each district

가 각각 55, 39, 64, 62 및 56 지역으로 가장 많았다(Fig. 7).

### 3.2. 순별 강수량 추정모형 개발

식 (2)에 의한 지역별 GAM은 Fig. 8과 같이 나타났다.

### 3.3. GAM모형의 지역별 계수 설정

최소제곱법 방법에 의해 산정된 GAM의 각 지역별 계수는 다음과 같다(Table 2).

Table 2. The coefficient of GAM model according to district

District	a	b	Xo	Yo
Sokcho	78.99	3.23	22.27	24.44
Cheolweon	132.44	2.23	21.30	21.55
Dongducheon	139.08	2.30	21.22	21.55
Paju	115.15	2.35	21.10	21.75
Daekwanryeong	101.82	3.56	22.15	24.07
Chuncheon	121.73	2.40	21.13	21.03
Gangreung	77.08	3.62	22.88	22.89
Donghae	66.00	4.05	22.78	17.77
Seoul	127.36	2.45	21.21	22.17
Incheon	96.50	2.60	21.23	20.09
Weongju	104.39	2.72	21.08	19.72
Suweon	113.51	2.43	21.12	21.54
Yeongweol	89.64	2.99	21.18	17.47
Chungju	85.98	3.04	21.30	18.52
Seosan	81.10	3.15	21.54	20.11
Uljin	55.29	4.03	22.62	18.75
Cheongju	83.90	3.15	21.30	18.79
Daejeon	90.10	3.31	21.19	19.14
Chupungryeong	74.13	3.43	21.29	17.58
Andong	66.00	3.36	21.09	16.06
Sangju	74.55	3.42	21.30	17.26
Pohang	61.24	4.15	22.22	16.49
Gunsan	74.15	3.49	21.23	18.84
Ulsan	64.11	4.30	21.32	17.92
Changweon	78.37	3.91	20.75	24.40
Kwangju	89.38	3.27	21.37	19.72
Pusan	76.52	3.70	20.52	27.52
Mogpo	58.07	4.25	20.90	15.86
Yeosu	73.94	4.32	20.38	19.79
Gochang	77.17	3.16	21.71	19.21
Jinju	82.65	3.71	20.97	23.89
Yangpyeong	127.12	2.43	21.09	21.06
Icheon	105.68	2.58	21.19	21.58
Injae	99.78	2.67	21.26	18.50
Hongcheon	117.81	2.50	21.09	20.99
Taeback	79.84	3.71	21.74	18.18
Jeongseon	95.05	1.51	19.69	27.30
Jeocheon	103.07	2.73	21.00	21.98
Boeun	89.51	3.19	21.17	19.08
Cheonan	88.27	3.08	21.58	17.71

Table 2-continue. The coefficient of GAM model according to district

District	a	b	Xo	Yo
Boryeong	71.49	3.40	21.67	18.89
Buyeo	81.69	3.36	21.22	20.59
Geumsan	85.38	3.23	20.98	18.89
Buan	73.60	3.36	21.26	19.21
Imsil	93.03	3.01	21.24	20.03
Jeongeup	81.64	3.28	21.44	20.13
Namweon	90.53	3.34	21.22	18.39
Jangsu	98.97	3.18	21.18	21.67
Yeongkwang	73.49	3.15	21.73	21.74
Kimhae	62.29	3.76	20.99	24.75
Sunchang	101.28	2.85	21.26	24.16
Yangsang	70.88	4.16	21.36	22.84
Jangheung	80.13	3.84	21.10	21.68
Haenam	63.47	4.13	21.11	18.54
Goheung	70.00	4.56	20.56	19.63
Hamyang	76.91	3.66	22.05	20.16
Bonghwa	78.20	3.22	20.91	18.15
Yeongju	83.41	3.31	21.01	21.49
Munyeong	85.48	3.13	20.96	21.03
Cheongsong	48.12	3.89	21.94	16.39
Yeongdeok	53.67	3.87	22.20	18.80
Yeuseong	65.18	3.40	21.33	14.97
Gumi	69.93	3.58	21.52	15.58
Yeongcheon	66.06	3.70	21.29	14.87
Keochang	83.17	3.62	21.27	16.89
Hapcheon	85.11	3.61	21.30	16.43
Milyang	71.26	3.75	20.88	17.58
Sancheong	100.10	3.63	21.54	20.39
Daegu	68.85	3.74	21.44	13.52
Jeonju	87.83	3.12	21.03	19.23

\* a: 진폭 계수, b: 변화폭 계수, Xo: 최댓값 시기의 계수, Yo: 절편 보정 계수

### 3.4. GAM모형의 검증

GAM 모형의 지역별 결정계수( $R^2$ )는 모두 0.80 이상으로 매우 유의성 있는 결과를 보였다.

지역별 NSE 값을 볼 때, 『Very good』는 55 지역, 『Good』는 8 지역, 『Satisfactory』는 7 지역으로 본 연구대상 지역 70 지역 모두 『Satisfactory』 이상으로 판단되어 GAM 모형은 매우 적절한 모형이라고 판단된다(Table 3). GAM의  $R^2$  값은 강수량과 지하수위 영향 추정모형의 경

우 0.83 ~ 0.92로 나타난 Hussain (2022)의 결과와 유사하였으며 우리나라 누적강수량 추정모형의 경우 0.99로 나타난 Eom (2021a)의 결과보다는 낮았다. 또한, 본 연구의 순별 강수량 NSE 값은, 식물 표면 온도에 대한 NSE 값이 0.53~0.61로 나타난 Eom (2021c)의 결과 및 토양수분 함량 변화양상 추정모형 TFM, FFM, EFM의 경우 각각 0.51 ~ 0.82, 0.32 ~ 0.70, 0.78 ~ 0.91로 나타난 Eom (2021b)의 결과보다 더 높았다.

Table 3. The determination coefficient ( $R^2$ ) and NSE

District	$R^2$	NSE	District	$R^2$	NSE
Sokcho	0.919**	0.92	Jeongseon	0.661**	0.66
Cheolweon	0.935**	0.94	Jecheon	0.890**	0.89
Dongducheon	0.937**	0.94	Boeun	0.869**	0.87
Paju	0.913**	0.91	Cheonan	0.898**	0.90
Daekwanryeong	0.870**	0.87	Boryeong	0.792**	0.79
Chuncheon	0.929**	0.93	Buyeo	0.845**	0.85
Gangreung	0.840**	0.84	Geumsan	0.834**	0.83
Donghae	0.792**	0.79	Buan	0.764**	0.76
Seoul	0.932**	0.93	Imsil	0.863**	0.86
Incheon	0.913**	0.91	Jeongeup	0.777**	0.78
Weongju	0.910**	0.91	Namweon	0.795**	0.79
Suwon	0.927**	0.93	Jangsu	0.827**	0.83
Yeongweol	0.895**	0.90	Yeongkwang	0.691**	0.69
Chungju	0.882**	0.88	Kimhae	0.561**	0.56
Seosan	0.860**	0.86	Sunchang	0.753**	0.75
Ulsan	0.820**	0.82	Yongsan	0.543**	0.54
Cheongju	0.902**	0.90	Jangheung	0.715**	0.72
Daejeon	0.884**	0.88	Haenam	0.696**	0.70
Chupungryeong	0.807**	0.81	Goheung	0.636**	0.64
Andong	0.838**	0.84	Hamyang	0.562**	0.56
Sangju	0.718**	0.72	Bonghwa	0.846**	0.85
Pohang	0.795**	0.80	Yeongju	0.796**	0.80
Gunsan	0.743**	0.74	Munbyeong	0.865**	0.87
Ulsan	0.786**	0.79	Cheongsong	0.600**	0.60
Changweon	0.746**	0.75	Yeongdeok	0.819**	0.82
Kwangju	0.785**	0.78	Yeuseong	0.839**	0.84
Pusan	0.757**	0.76	Gumi	0.761**	0.76
Mogpo	0.626**	0.63	Yeongcheon	0.788**	0.79
Yeosu	0.704**	0.70	Keochang	0.783**	0.78
Gochang	0.619**	0.62	Hapcheon	0.774**	0.77
Jinju	0.737**	0.74	Milyang	0.794**	0.79
Yangpyeong	0.937**	0.94	Sancheong	0.774**	0.77
Icheon	0.912**	0.91	Daegu	0.801**	0.80
Injae	0.912**	0.91	Jeonju	0.880**	0.88
Hongcheon	0.907**	0.91	Average	0.860**	0.80
Taeback	0.813**	0.81			

### 3.5. 위도 및 경도에 따른 순별 강수량 변화양상 분석

경도(X)와 위도(Y)에 따른 순별 평균 강수량(Average), 최소 강수량(Minimum), 최대 강수량(Maximum), Range, 표준편차(Stand. Dev.) 및 CV의 추정모형 식은 각각 식 (6) ~ 식 (11)과 같으며, 변화양상은 Fig. 9와 같다.

DMP (Average)

$$= -40967 + 690.6 X - 171.2 Y - 2.70 X^2 + 2.35 X^2 \quad (6)$$

DMP (Minimum)

$$= 10443 - 151.0 X - 43.64 Y + 0.59 X^2 + 0.61 X^2 \quad (7)$$

$$\text{DML (Maximum)} = 1186 - 10.30 X + 6.90 Y \quad (8)$$

$$\text{DML (CV)} = 581.0 - 5.38 X + 4.85 Y \quad (11)$$

$$\text{DML (Range)} = 1192 - 10.31 X + 6.43 Y \quad (9)$$

$$\text{DML (STD)} = 367.9 - 3.36 X + 2.60 Y \quad (10)$$

순별 평균 강수량은 위도가 내륙 중심 방향으로 갈수록 적었으며, 경도가 내륙 중심 방향으로 갈수록 많은 경향이였다. 최소 강수량은 위도 및 경도가 내륙 중심 방향으

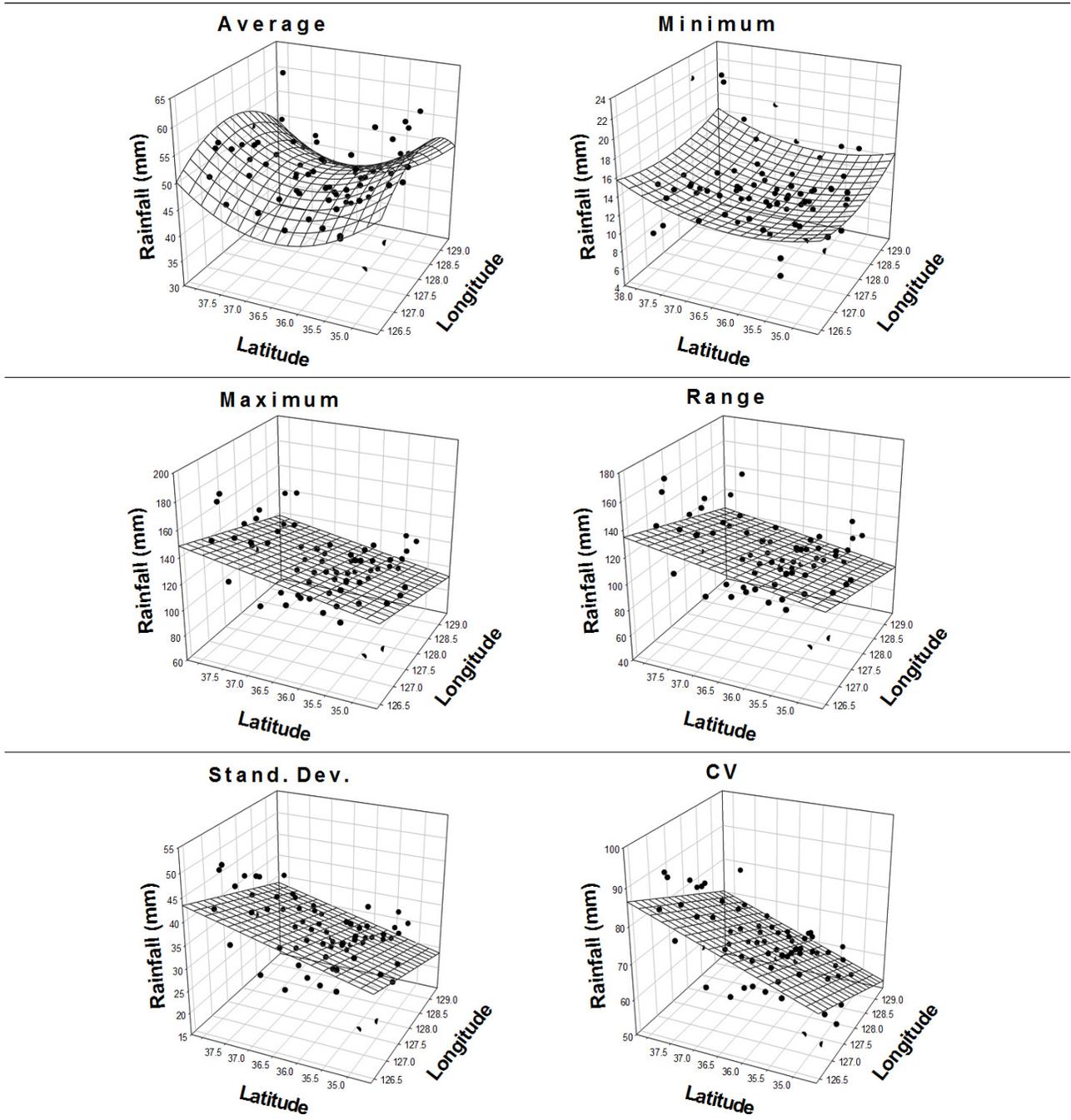


Fig. 9. Ten days rainfall according to longitude and latitude

로 갈수록 적은 경향이였다. 최대 강수량, Range, 표준편차 및 CV의 변화양상은 모두 경도가 서쪽 방향 및 위도가 높을수록 많았으며, 경도 및 위도가 1도씩 변함에 따라 그 변화량은 최대 강수량은 각각 10.3 및 6.9 mm, Range는 각각 10.3 및 6.4 mm, 표준편차는 각각 3.4 및 2.6 mm, CV는 각각 5.4 및 4.9 mm이었다(Fig. 9).

#### 4. 결론

본 연구는 최근 30년(1991 ~ 2020)의 우리나라 내륙 70 지역에 대한 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 순별 강수량을 분석하여 구명한 결과는 다음과 같다.

첫째, 우리나라 70 지역의 4월 상순부터 11월 하순까지 총 평균 순별 강수량은 48.27 mm이었다.

둘째, 평균 순별 강수량의 전국 70 지역에 대한 평균 공간적 변이는 4월 상순부터 11월 하순까지 평균 시간적 변이의 18.4%이었다.

셋째, 우리나라 70 지역에 대한 시기 별 순별 강수량의 분포양상을 분석하였으며, 특히, 7월 상순은 110 ~ 120 mm 가 20 지역으로 가장 많았다.

넷째, 순별 강수량을 추정할 수 있는 모형(GAM)의 형태는 식 (2)의 Gaussian function으로 선정하고 최소제곱법 방법을 이용하여 오차가 최소인 70 지역의 계수를 산정하여 모형을 개발하였다.

$$GAM = Y_0 + a \cdot \exp(-0.5 ((X-X_0)/b)^2) \quad (2)$$

단, X : 1월 상순부터 경과 된 순의 수,  
Y<sub>0</sub>, X<sub>0</sub>, a, b : 계수

다섯째, GAM 모형에 대한 70 지역의 평균 R<sup>2</sup> 은 0.860 이었으며, 70 지역 모두 매우 높은 통계적 유의성이 인정되었다.

여섯째, GAM 모형의 지역별 NSE에 근거하여 검증한 결과, 『Very good』는 55 지역, 『Good』는 8 지역, 『Satisfactory』는 7 지역으로 본 연구대상 지역 70 지역 모두 『Satisfactory』 이상으로 판단되어 GAM 모형은 매우 적절한 모형이라고 판단된다.

일곱째, 경도 및 위도가 1도 변함에 따른 최대 강수량의 변화량은 각각 10.3 및 6.9 mm이었다.

본 연구는 과거 데이터를 활용하여 도출한 결과의 현황에 대한 보고로 현재까지의 특징을 잡아내는 데는 유용하

며 단, 기후 및 환경변화에 대한 경향을 모델에 반영하여 변화를 예측하는 연구는 수행되지 않았으나, 위 결과를 다음과 같이 활용할 수 있다고 사료된다.

첫째, 강우에 의한 토양유실 예측 모형의 R-factor 구명  
둘째, 발작물 재배 농경지의 물 수지(Water balance) 구명  
셋째, 발작물 물 관리 기술 특히, Irrigation scheduling 수립  
넷째, 향후 기후변화 관련 정책수립에 기초자료로 활용

#### 사사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(공동과제명 : 배추 고추의 토양 수분 이동 특성 및 최적 간단 관개 방법 구명, 공동과제 번호 : PJ017049)의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

- Arnoldus HMJ. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. An Approx. rainfall factor Univers. Soil Loss Equation. 127-132.
- Araya A, Keesstra SD, Stroosnijder L. 2010. A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia. Agric. For. Meteorol. 150: 1057-1064.
- Bezak N, Mikos M, Borreli P, Liakos L, Panagos P. 2021. An in-depth statistical analysis of the rainstorms erosivity in Europe. CATENA 206, 105577.
- Cai Z, Ofterdinger U. 2016. Analysis of groundwater-level response to rainfall and estimation of annual recharge in fractured hard rock aquifers, NW Ireland. J. Hydrol. 535: 71-84.
- Crosbie RS, Dobbie RC, Turnadge C, Taylor AR. 2005. Constraining the magnitude and uncertainty of specific yield for use in the water table fluctuation method of estimating recharge. Water Resour. Res. 55(8): 7343-7361.
- Demissie TA, Sime CH. 2021. Assessment of the performance of CORDEX regional climate models in simulating rainfall and air temperature over southwest Ethiopia. Heliyon 7: e07791.
- Di Lena B, Curci G, Vergni L. 2021. Analysis of rainfall erosivity trends 1980~2018 in a Complex Terrain

- Region (Abruzzo, Central Italy) from rain gauges and gridded datasets. *Atmosphere (Basel)* 12: 657.
- Dominati E, Patterson M, Mackay A. 2010. A frame work for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecol. Econ.* 69(9): 1858-1868.
- Dunkerley D. 2021. Rainfall intensity in short events: Evaluating the “130 is equal to twice the rainfall depth” approach advised for use with the Universal Soil Loss Equation by Wischmeier & Smith (1978). *CATENA*. 207: 105659.
- Efthimiou N. 2018. Evaluating the performance of different empirical rainfall erosivity (R) factor formulas using sediment yield measurements. In: *CATENA*. 169: 195-208.
- Eom KC, Kim LY, Im CY, Park YH, Park MS. 2020. Advanced analysis of climate data by trigonometric function, polar coordinate and scaling technique. *J. Climate Change Res.* 11: 529-538.
- Eom KC. 2021a. Model of accumulate rainfall in Korea. *J. Climate Change Res.* 12(5-1): 383-395.
- Eom KC. 2021b. Estimation models for soil water content and rainfall in Andong. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(4): 486-503.
- Eom KC. 2021c. Relationship between air temperature and soil and plant surface temperature. *J. Climate Change Res.* 12(6): 755-766.
- Fuamba M, Branger F, Braud I, Batchabani E, Sanzana P, Sarrazin B, Jankowfsky S. 2019. Value of distributed water level and soil moisture data in the evaluation of a distributed hydrological model: Application to the pumma model in the Mercier catchment in France. *J. Hydrology* 569(2019): 753-770.
- Fung KF, Chew KS, Huang YF, Ahmed AN, Teo FY, Ng JL, Elshafie A. 2022. *Ain Shams Engineering Journal* 13: 101571.
- Gaalen JF, Kruse S, Lafrens WB, Burroughs SM. 2013. Predicting water table response to rainfall events. Central Florida. *Groundwater* 51(3): 350-362.
- Goodman LA. 1960. On the exact variance of products. *J. Am. Statist. Ass.* 55: 708-713.
- Healy RW, Cook PG. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeol. J.* 10(1): 91-109.
- Hussain F, Wu RS, Shih DS. 2022. Water table response to rainfall and groundwater simulation using physics-based numerical model: WASHI23D. *Journal of Hydrology: Regional Studies.* 39: 100988.
- Irsyard al MI, Halog A, Nepal R. 2019. Renewable energy for climate change mitigation : An analysis of uncertainty and errors. *Renewable Energy* 130: 536-546,
- Jassas H, Merkel B. 2014. Estimating groundwater recharge in the semiarid Al-KhaZir Gomal Basin, North Iraq. *Water* 6: 2467-2481.
- Kendal MG, Stuart A. 1963. *The advanced theory of statistics.* Vol. 1 ; Charles Griefin and Co., London. : 228-245.
- Kim CR, Kim CS. 2021. Comparison of the performance of a hydrologic model and a deep learning technique for rainfall-runoff analysis. 2021. *Science Direct.* 10: 215-222.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2020. Korean climate change assessment report 2020: 34-35, 234-249.
- Kotchoni DOV, Vouillamoz JM, Lawson FMA, Adjomayi P, Boukari M, Taylor RG. 2019. Relationships between rainfall and groundwater recharge in seasonally humid Benin: a comparative analysis of long-term hydrographs in sedimentary and crystalline aquifers. *Hydrogeol. J.* 27:447-457.
- Li L, Liu Y, Wang K, Zhang D. 2021. Simulation of pollution load at basin scale based on LSTM-BP spatiotemporal combination model. *Water* 13(4): 516.
- Lukic T, Basarin B, Micic T, Bjelajac D, Maris T, Markovic SB, Pavic D, Gavrilov MB, Mesaros M. 2018. Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Netherlands. *Idojaras* 122(4): 409-432.
- Lukic T, Lukic A, Basarin B, Ponjiger TM, Blagojevic D, Mesaros M, Milanovic M, Gavrilov M, Pavic D, Zorn M, Komac B, Miljkovic D, Sakulski D, Babic KS, Morar C, Janicevic S. 2019. Rainfall erosivity and

- extreme precipitation in the Pannonian basin. *Open Geosci.* 11: 664-681.
- Mandel J. 1964. The statistical analysis of experimental data. John Wiley & Sons, New York : 58-77, 363-389.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *T Asabe.* 50(3): 885-900.
- Naseri F, Azari M, Dastorani MT. 2021. Spatial optimization of soil and water conservation practices using coupled SWAT model and evolutionary algorithm. *International Soil and Water Conservation Research.*
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part-I - a discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290.
- Nonki RM, Lenouo AL, Tshimanga RM, Donfack FC, Tchawoua C. 2021. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 36: 100849.
- Oubuobie E, Diekkruenger B, Agyekum W. 2012. Groundwater level monitoring and recharge estimation in the white Volta River basin of Ghana. *J. Afr. Earth Sci.* 71-72: 80-86.
- Oliveira PTS, Wendland E, Nearing MA. 2013. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *CATENA.* 100:139-147.
- Oliver JE. 1980. Monthly precipitation distribution: A comparative index. *Prof. Geogr.* 32: 300-309.
- Park E, Parker JC. 2008. A simple model for water table fluctuation in response to precipitation. *J. Hydrol.* 256(3): 344-349.
- Rama F, Miotlinski K, Franco D, Corseuil HX. 2018. Recharge estimation from discrete water-table datasets in a coastal shallow aquifer in a humid subtropical climate. *hydrogeol. J.* 26: 1887-1902.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). in: *USDA Agriculture Handbook.* 703 D.C, Washington: 404.
- Restrepo JI, Garces D, Montoya A, Restrepo N, Giddings J. 2006. Simulation of water levels and water diversions in subtropical coastal wetland. *J. Coast. Res.* 22(2): 339-349.
- Shein EV, Dembovetsky AV, Panina SS. 2013. Modeling soil water movement under low head ponding and gravity infiltration using data determined with different methods. *Proc. Environ. Sci.* 19(2013): 553-557.
- Sibanda T, Nonner JC, Uhlenbrook S. 2009. Comparison of groundwater recharge estimation methods for the semi-arid Nyamandhlovu area, Zimbabwe. *Hydrogeol. J.* 17: 1427-1441.
- Tan SBK, Shuy EB, Chua LHC. 2007. Regression method for estimating rainfall recharge at unconfined sandy aquifers with an equatorial climate. *Hydrol. Process.* 21: 3514-3526.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Department of Agriculture. Science and Education Administration.
- Xie Y, Yin S, Liu B, Nearing MA, Zhao Y. 2016. Models for estimating daily rainfall erosivity in China. *J. Hydrol.* 535: 547-558.
- Yue BJ, Shi ZH, Fang NF. 2014. Evaluation of rainfall erosivity and its temporal variation in the Yanhe River catchment of the Chinese Loess Plateau. *Nat. hazards.* 74(2): 585-602.
- Zhang M, Singh HV, Migliaccio KW, Kisekka I. 2017. Evaluating water table response to rainfall events in a shallow aquifer and canal system. *Hydrol. Process.* 31: 3907-3919.
- Zhao Y, Nearing MA, Guertin DP. 2022. Modeling hydrologic responses using multi-site and single-site rainfall generators in a semi-arid watershed. *International Soil and Water Conservation Research* 10: 177-187.