

우리나라의 누적강수량 추정모형 개발

엄기철

세종데이터연구소 수석연구원

Model of Accumulate Rainfall in Korea

Eom, Ki Cheol

Sejong Data Research Institute, Chief Researcher, Suwon, Korea

ABSTRACT

This study focus on development of the model to estimate accumulated rainfall. The principle results are as follows : (1)A model to estimate accumulated rainfall according to Julian date was developed as a sigmoid function by the method of least squares. (2)A model to estimate total rainfall in a year according to longitude and latitude was developed as a 3-dimension function by the method of least squares. (3)The periodic variation of mean monthly rainfall was much more than spatial variation of that, based on the standard deviation, coefficient of variation and standard error. (4)Amount of change of the accumulated rainfall per one degree of longitude and latitude was calculated. (5)Range of accumulated rainfall according to longitude and latitude was calculated. (6)The amplitude and the critical point of accumulated rainfall according to longitude and latitude was analysed by the 3-dimension relationship between the coefficient of the KSRM and the coordinates.

Key words : Accumulated Rainfall, Model, Sigmoid Function, 3-Dimension Function, Longitude and Latitude

1. 서론

기후변화에 관한 연구는 시기별 평균값 비교를 통하여 결론을 도출하는 방법이 가장 많이 활용되고 있는 연구방법이라고 볼 수 있다. 예를 들어 30년 전의 평균기온과 현재의 평균기온을 비교하여 지구온난화 정도를 결론짓는 연구결과도 많이 있다. 또한 기후변화 영향이 발현되는 시기 분석에 관한 연구로 중국에서는 인위적 영향에 의한 온난화가 지역별로 다른 시기에 나타남을 전망하였으며 (Sui, et al., 2014), 우리나라는 최고 및 최저기온의 변화 시점을 2030년대 이후로 전망하였다(Lee et al., 2016). 기후변화에 따른 자연변동성의 크기에 대한 연구로 해당 추정 모델의 historical run의 time series를 사용하는 경우 (Mahlstein et al., 2011), preindustrial을 사용하는 경우 (Hawaskins and Sutton, 2012), naturalonly run의 기간에

대한 각 격자점별 표준편차(2σ)를 사용하는 경우(Boo et al., 2016) 등이 있다. IPCC AR5(2013)에서는 열대지역의 자연적 변동 폭이 작기 때문에 이런 지역은 작은 기후변화에도 생태계가 취약해질 수 있다고 하였다(Mahlstein et al., 2012 ; Hawaskins and Sutton, 2012).

기후변화에 관한 연구는 근래로 오면서 RGI 프로그램을 이용한 평균기온 및 적산온도 보간 연구(Yu et al., 2020), 기후변화 시나리오 자료 및 통계적 상세화 연구(Cho et al., 2020), 등 한국기후변화학회지에 과거보다 발전된 연구방법에 의한 논문이 발표되어 왔다. 또한 삼각함수와 scaling technique을 이용한 연구들(Eom & Eom, 2008 ; Eom & Eom, 2013 ; Eom et al., 2014a, ; Eom et al., 2014b ; Lee et al., 2015)을 활용하여, 기후변화 관련 연구에 새로운 data 해석 방법으로 새로운 결과를 도출하는 연구방법을 제시한 결과도 있다(Eom et al., 2020). 본 연구는 Sigmoid 함수

†Corresponding author : kceom6578@hanmail.net (Kyeonggi Suwon Suseong street 92, Nongminhoikooan 205, 16432, Republic of Korea. Tel. +82-31-291-3346)

ORCID 엄기철 0000-0002-8098-4876

(Eom & Eom, 2008)를 이용하여 년 중 Julian date 별 목적 지역의 누적강수량 추정 모형 및 지역별 경도와 위도에 따른 누적강수량의 변화양상에 대한 3-dimension 모형을 개발하고, 그 모형들의 계수 분석을 통하여 누적강수량의 변화 진폭과 급격히 변화되는 시기를 분석코자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 누적강수량 추정모형 개발

본 연구에 사용된 기상data는 우리나라 기상청에서 제공되는 1981년부터 2010년까지의 지역별 및 시기별 강수량 data를 활용하였다.

연중 Julian date별 누적강수량을 추정할 수 있는 모형을 Sigmoid 함수(Lieth et al., 1996 : Xinyou et al., 2003 : Eom & Eom, 2008)로 선정하고 최소제곱법에 의해 오차가 최소인 계수를 산정하여 모형을 개발하였다(1).

$$E[AR] = a / (1 + \exp[-(X - X_0)/b]) \quad (1)$$

*E[AR] : 누적강수량 추정치
 X : Julian date
 a,b,X₀ : 지역별 계수

지역별 경도와 위도에 따른 연간 누적강수량을 추정할 수 있는 모형을 3-dimension 함수로 선정하고 최소제곱법에 의

해 오차가 최소인 계수를 산정하여 모형을 개발하였다(2).

$$E(AR) = E_0 + A X + B Y \quad (2)$$

단, E(AR) : 누적강수량
 X : 경도
 Y : 위도
 A,B,E₀ : 지역별 계수

2.2. 각 모형의 계수분석을 통한 누적강수량의 변화 진폭과 변화 시기 분석

본 연구에서 개발된 Sigmoid 모형(1)의 계수 a가 클수록 변화 진폭이 크다는 것을 뜻하며, X₀의 절대 값이 클수록 변화 시기는 빠르다는 것을 의미하게 된다.

또한 3-dimension 모형(2)의 계수 A와 B는 각각 X와 Y에 대한 편미분 값이 되므로, 경도와 위도가 1도씩 변할 때 누적강수량이 변화되는 양을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 월 평균 강수량의 변화양상

우리나라 72 지역별 월 평균 강수량(Fig. 1A)에 의해 산정된 과거 30년간(1981~2010)의 우리나라의 월 평균 강수량은 112.26 mm이었으며, 연간 표준편차(Fig. 1B)는 95.80 mm이었다. 우리나라의 시기별 평균 월 강수량(Fig. 2C)에 대한 변

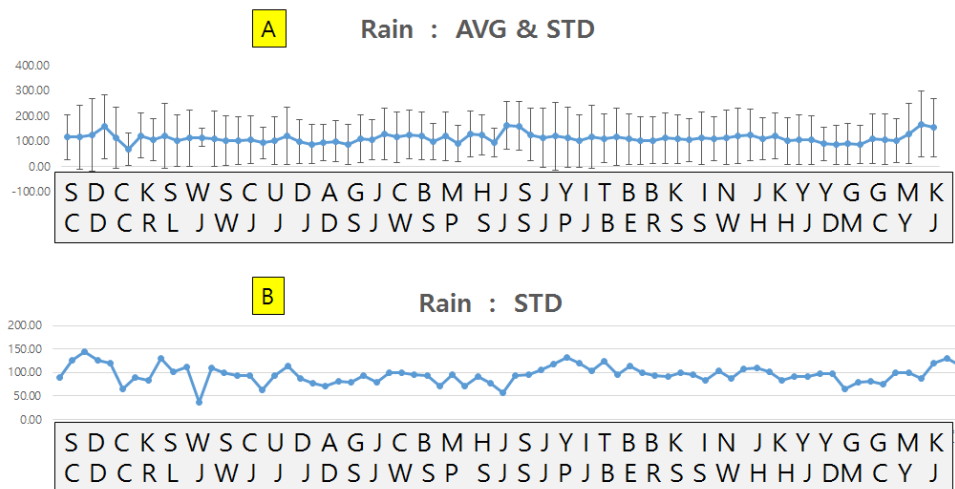


Fig. 1. Average and standard deviation of average monthly rainfall during 30years according to district (A : Average with standard deviation bar, B : Standard deviation)

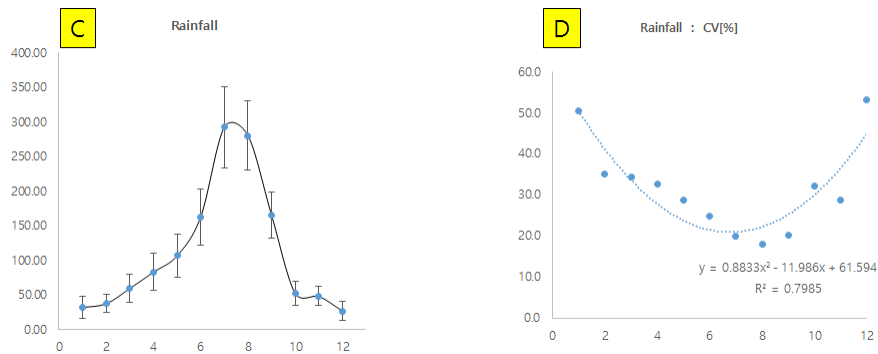


Fig. 2. Average and coefficient of variation for average monthly rainfall during 30years according to period (C : Average with standard deviation bar, D : coefficient of variation)

이계수(CV)는 8월에 최저점이 나타나는 2차 함수 형태의 변화양상을 보였다(Fig. 2D).

우리나라의 지역 및 시기의 평균 월 강수량에 대한 표준오차(SE : standars error)는 각각 3.29 및 27.65 mm로서, 평균 월 강수량은 시간적 변이가 공간적변이 보다 훨씬 더 크다고 판단된다(Table 1).

Table 1. The standard error(SE) of average monthly rainfall during 30years according to district and period

SE according to district	SE according to period
3.29 mm	27.65mm

3.2. 지역별 Julian date에 따른 누적강수량 추정 모형 개발

우리나라 72개 지역별 Julian date에 따른 누적강수량을 추정하기 위하여 Sigmoid 함수의 모형(모형 명 KSRM : Korea Sigmoid Rainfall Model)을 개발하였다(3).

$$E[AR]_i = a_i / (1 + \exp[-X - X_{oi}] / b_i) \quad (3)$$

단, $E[AR]_i$: 지역별 누적강우량 추정치
 X : Julian date
 a_i, b_i, X_{oi} : 지역별 계수

72개 지역별 누적강수량의 실측치(점)와 추정치(선)는

매우 근접한 결과를 나타내었다(Fig. 3). 특히, 실측치와 추정치의 결정계수(R^2)가 72개 전 지역이 0.99 이상이고, 각 계수의 평균값에 대한 standard error 값이 a, b 및 X_o 가 각각 0.019, 0.058 및 0.015인 것을 보아도 본 모형은 매우 정확한 추정 모형이라고 판단된다(Table 2).

Table 2. The coefficient and standard error for the KSRM

	R^2	a	STE(a)	b	STE(b)	X_o	STE(X_o)
Max	0.9992	2,064	66.63	75.63	4.74	220.15	8.64
Min	0.9950	842.3	11.97	30.23	1.37	185.95	1.72
AVG		1,388	26.88	41.16	2.38	201.88	3.11
STD		225.4	9.17	6.69	0.57	7.11	1.01
SE		26.56	1.08	0.79	0.07	0.84	0.12
SE/AVG		0.019	0.019	0.019	0.058	0.004	0.015

본 모형을 이용하여 임의 지역의 임의 기간 동안의 누적강수량은 다음과 같이 산정할 수 있다(4).

$$TRi(t_2 - t_1) = \int_0^{t_2} E[AR]dt - \int_0^{t_1} E[AR]dt \quad (4)$$

$$= [a_i / (1 + \exp[-(X_2 - X_{oi}) / b_i]) - a_i / (1 + \exp[-(X_1 - X_{oi}) / b_i])]$$

TRi : 임의지역의 임의기간 동안의 누적강수량
 t_1, t_2 : Julian date
 $E[AR]$: KSRM의 누적강우량
 a_i, b_i, X_{oi} : KSRM의 지역별 계수

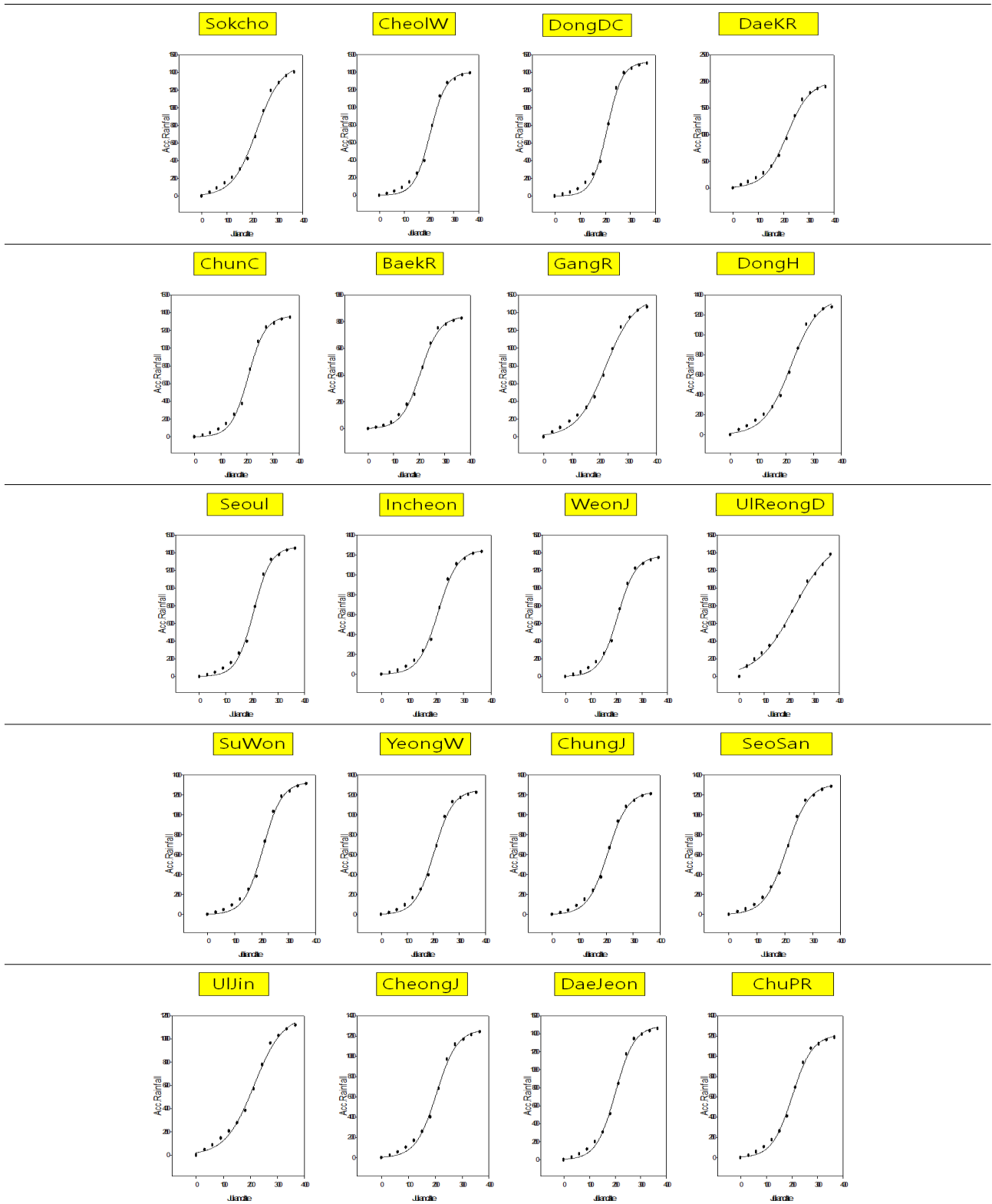


Fig. 3. Measured and estimated accumulate rainfall according to Julian date by KSRM for each area

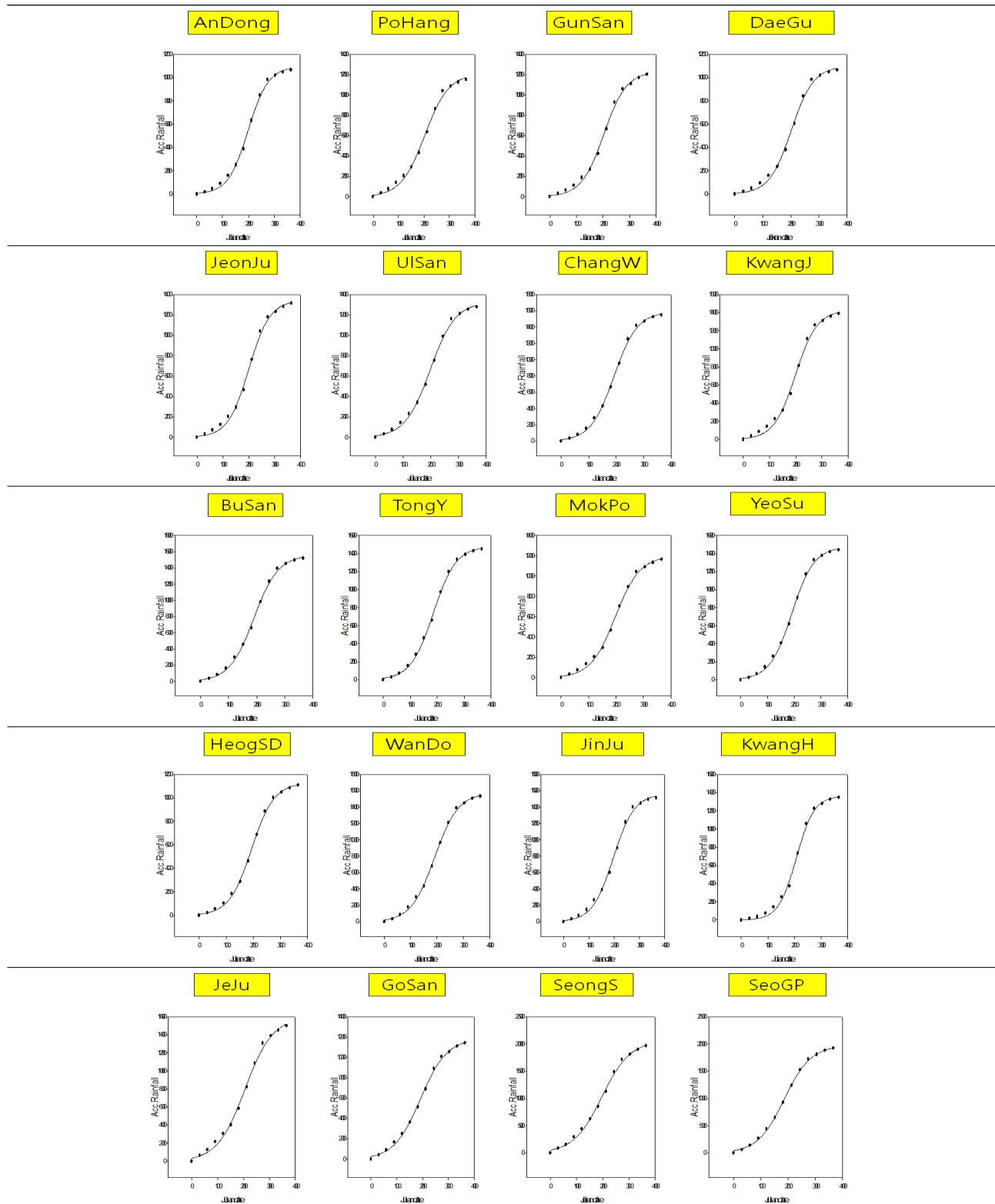


Fig. 3. Measured and estimated accumulate rainfall according to Julian date by KSRM for each area (Continue)

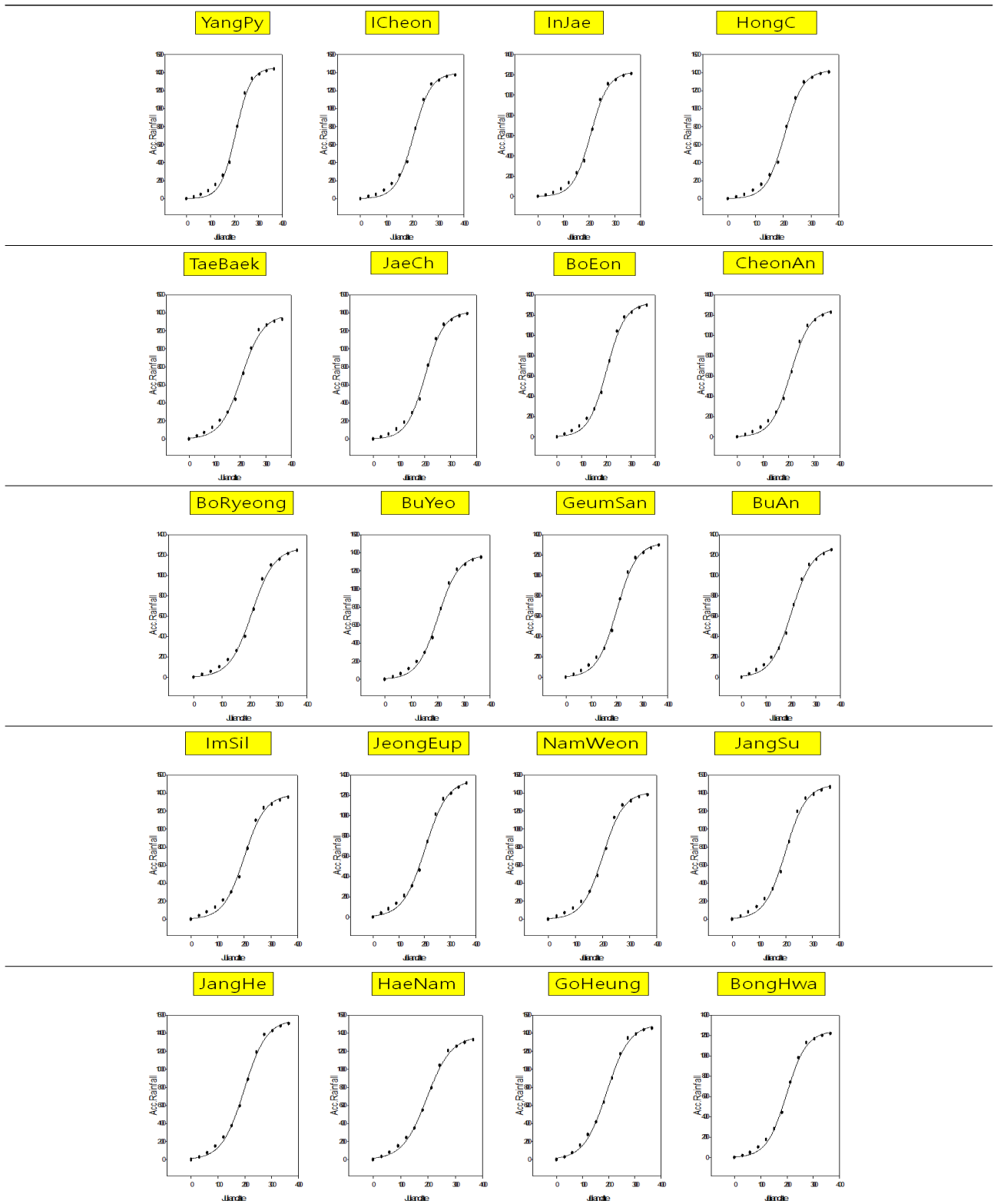


Fig. 3. Measured and estimated accumulate rainfall according to Julian date by KSRM for each area (continue)

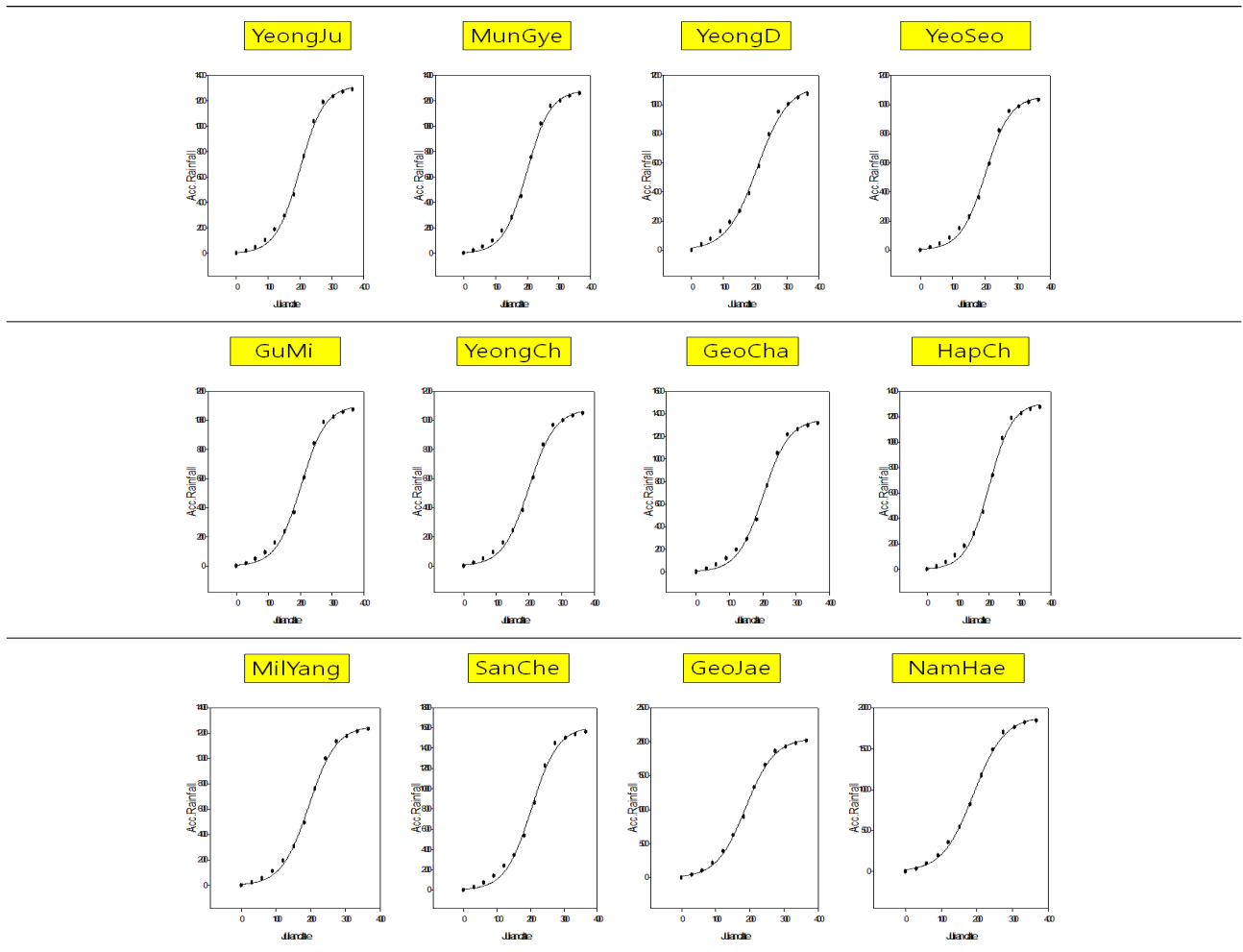


Fig. 3. Measured and estimated accumulate rainfall according to Julian date by KSRM for each area (continue)

3.3. KSRM 모형의 지역별 계수 설정

최소제곱법 방법에 의해 산정된 KSRM의 각 지역별 계수는 다음과 같다(Table 3).

Table 3. The coefficient of KSRM model according to district

District	R ²	a	b	Xo
Sokcho	0.9959	1492.2	48.2	217.7
Cheolweon	0.9963	1404.0	32.1	204.5
Dongducheon	0.9961	1520.6	30.2	207.1
Daekwanryeong	0.9961	2006.6	45.4	213.9
Chuncheon	0.9963	1363.8	33.0	205.4
Baekryeongdo	0.9975	842.3	37.3	205.1
Gangreung	0.9953	1584.0	51.2	219.9
Donghae	0.9950	1377.4	49.1	218.1
Seoul	0.9963	1469.2	33.0	206.8
Incheon	0.9970	1255.8	35.6	207.3
Weongju	0.9967	1366.6	35.5	205.0
Ulreungdo	0.9961	1564.9	75.6	220.1
Suweon	0.9966	1332.5	35.2	205.6
Yeongweol	0.9965	1253.6	36.6	203.1
Chungju	0.9975	1237.2	37.4	206.0
Seosan	0.9973	1317.1	39.9	206.5
Uljin	0.9956	1205.1	53.0	213.9
Cheongju	0.9969	1267.5	38.6	204.6
Daejeon	0.9973	1488.8	37.1	200.9
Chupungryeong	0.9969	1214.6	39.5	201.2
Andong	0.9977	1094.2	39.3	199.3
Pohang	0.9965	1209.9	47.1	203.6
Gunsan	0.9974	1232.9	42.7	203.5
Daegu	0.9971	1097.6	39.5	201.7
Jeonju	0.9968	1343.4	40.7	200.9
Ulsan	0.9981	1327.1	45.4	198.0
Changweon	0.9984	1588.9	42.7	192.9
Kwangju	0.9962	1427.3	41.4	199.7
Pusan	0.9987	1559.6	43.5	190.0
Tongyeong	0.9991	1479.0	42.1	186.1
Mogpo	0.9980	1198.6	44.9	197.6
Yeosu	0.9988	1475.3	41.5	191.6
Heungsando	0.9990	1128.2	41.4	194.0
Wando	0.9989	1575.3	45.1	191.7
Jeju	0.9966	1596.9	53.6	205.7
Kosan	0.9983	1185.9	51.4	192.5

Table 3. The coefficient of KSRM model according to district (Continue)

District	R ²	a	b	Xo
Seongsan	0.9977	2063.5	54.0	197.1
Seogyuipo	0.9992	1974.9	48.8	185.9
Jinju	0.9974	1563.1	41.8	196.6
Kanghwa	0.9971	1365.4	33.6	207.0
Yangpyeong	0.9963	1457.4	31.6	205.4
Echeon	0.9964	1397.4	34.0	204.5
Injeo	0.9969	1231.8	34.6	206.3
Hongcheon	0.9968	1426.8	33.4	205.0
Taebaek	0.9960	1379.1	41.8	205.8
Jeocheon	0.9966	1413.2	36.2	202.1
Boeun	0.9968	1322.4	37.7	201.7
Cheonan	0.9968	1256.0	38.4	208.2
Boryeong	0.9967	1271.9	39.8	206.2
Buyeo	0.9972	1377.7	39.3	202.0
Geumsan	0.9970	1322.9	39.3	200.2
Buan	0.9971	1281.4	42.6	203.0
Imsil	0.9952	1384.8	39.5	200.5
Jeongeup	0.9968	1354.2	43.7	203.1
Namweon	0.9960	1413.5	38.3	200.8
Jangsu	0.9961	1496.5	39.3	198.8
Jangheung	0.9979	1550.1	41.9	198.1
Haenam	0.9980	1367.7	44.4	196.3
Goheung	0.9985	1498.9	43.6	192.3
Bonghwa	0.9977	1245.1	38.1	198.4
Yeongju	0.9978	1320.7	38.0	199.7
Munbyeong	0.9976	1284.7	37.3	199.1
Yeongdeok	0.9965	1132.1	48.3	206.7
Yeuseong	0.9972	1059.2	38.4	201.5
Gumi	0.9967	1105.7	39.4	202.9
Yeongcheon	0.9972	1078.4	40.1	200.3
Keochang	0.9968	1354.1	38.8	200.9
Hapcheon	0.9968	1311.7	37.7	200.7
Milyang	0.9984	1257.3	39.5	195.1
Sancheong	0.9959	1613.6	39.4	203.4
Geogjae	0.9987	2053.3	42.3	187.4
Namhae	0.9989	1891.0	43.2	190.4

3.4. 위도 및 경도에 따른 연간 누적강수량 추정모형 개발

우리나라 어느 지역의 좌표 (경도 및 위도)별 연간 누적 강수량을 추정할 수 있는 3-dimension 함수의 모형을 개발하였다(5), (Fig. 4).

$$E(AR) = 1,023.8 + 18.96X - 58.03Y \quad (5)$$

단, E[AR] : 누적강수량
 X : 경도
 Y : 위도

상기 모형을 이용하여 경도 및 위도가 1도씩 변화될 경우 연간 누적강수량의 변화량은 상기 모형 식을 경도와 위도에 대하여 각각 편미분하여 산정할 수 있다(6).

$$\begin{aligned} d(AR_x) &= ABS[dAR/d(X)], \\ d(AR_y) &= ABS[d(AR)/d(Y)] \end{aligned} \quad (6)$$

단, d[ARi] : 누적강수량의 변화량
 X 및 x : 경도
 Y 및 y : 위도

상기 식 (5)와 식 (6)에 의하여 산정한 결과, 연간 누적 강수량은 경도가 1도씩 동쪽으로 갈수록 18.96 mm씩 증가하였으며, 위도가 1도씩 고위도로 갈수록 58.03 mm씩 감소하였다

또한 좌표에 의하여 영향 받는 연간 누적강수량의 변화

범위(Range)는 다음과 같이 산정할 수 있다(7).

$$\begin{aligned} d(AR_x) &= ABS[d(AR/d(X)) \times G_x \\ d(AR_y) &= ABS[d(AR/d(Y)) \times G_y \end{aligned} \quad (7)$$

단, d(ARi) : 누적강수량의 변화범위
 X : 경도
 Y : 위도
 Gi : 경도 및 위도의 변화범위

상기 식 (7)에서의 Gx는 6.256, Gy는 5.004이었으며, 이에 따라 산정된 경도 및 위도에 따른 연간 누적강수량의 변화 범위는 각각 118.6 mm 및 290.4 mm이었다.

3.5. 누적강수량 추정 모형의 계수 분석을 통한 누적강수량 변화양상 분석

연간 누적강수량과 KSRM 모형의 각 계수들과의 상관관계(Fig. 5)에서 알 수 있듯이, 연간 누적강수량이 많은 지역일수록 누적강수량의 변화 진폭이 크며(Fig. 5G), 누적강수량이 급격히 변화되는 시기(critical point)는 빨랐다(Fig. 5I).

또한 좌표(경도 및 위도)와 KSRM모형의 각 계수들과의 상관관계(Fig. 6)에서 알 수 있듯이, 경도가 서쪽이고 고위도일수록 누적강수량의 변화 진폭은 컸으며(Fig. 6J) 누적강수량이 급격하게 증가하는 양상이 더 뚜렷하였으며(Fig. 6K), 경도가 동쪽이고 고위도일수록 누적강수량이 급격히 변화되는 시기(critical point)는 빨랐다(Fig. 6L).

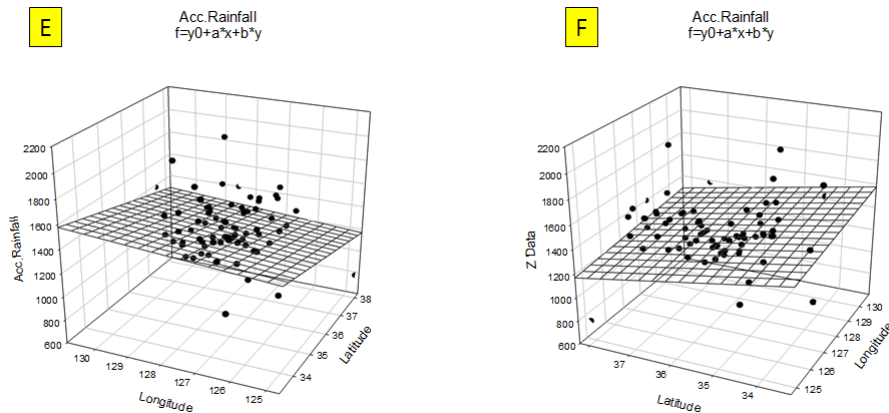


Fig. 4. Yearly rainfall according to longitude and latitude
 (E : Horizontal axis is longitude, F : Horizontal axis is latitude)

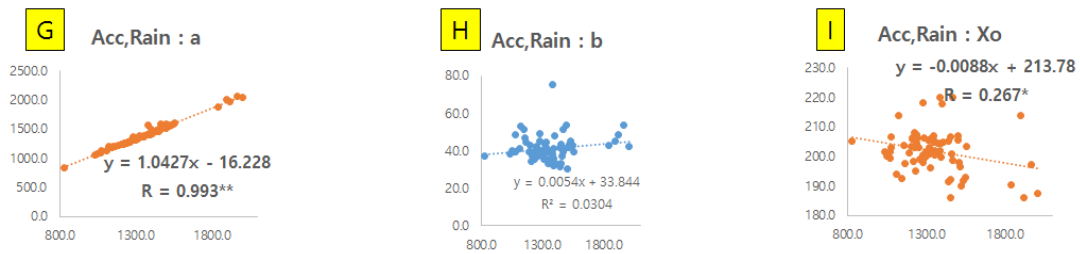


Fig. 5. Relationship between yearly rainfall and the coefficient of KSRM (G : coefficient a, H : coefficient b, I : coefficient Xo)

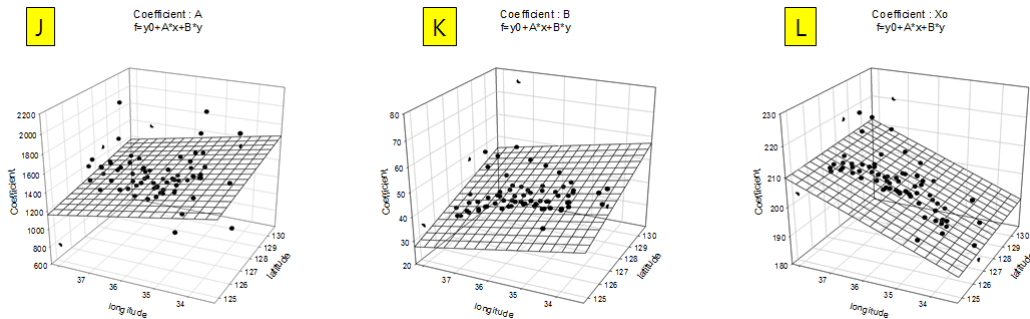


Fig. 6. Relationship between coordinate and the coefficient of KSRM (J : coefficient a, K : coefficient b, L : coefficient Xo)

4. 결론

본 연구는 지역별 년 중 Julian date에 따른 누적강수량과 경도 및 위도에 따른 연간 누적강수량에 대한 분석 연구를 통한 결과는 다음과 같다.

첫째, 우리나라 전역 72개 지역별 월 평균 강수량에 대한 월 간 및 지역 간 표준오차(standard error)는 각각 27.65 mm 및 3.29 mm이었으며, 이는 월 평균 강수량의 시간적 변화가 공간적 변화보다 훨씬 크다는 것을 뜻하였다.

둘째, 우리나라 전역 72개 지역별 년 중 Julian date에 따른 누적강수량을 추정할 수 있는 Sigmoid 함수의 모형(KSRM)을 개발하였으며(1), 우리나라 전역 72개 지역별 최소제곱법을 이용하여 KSRM 모형의 계수를 산정하였다.

$$E[AR] = a / (1 + \exp[-(X - X_0)/b]) \quad (1)$$

*E[AR] : 누적강수량 추정치
X : Julian date
a, b, X₀ : 지역별 계수

셋째, 경도와 위도에 따른 연간 누적강수량을 추정할 수 있는 3-dimension 함수의 모형을 개발하였으며(5), 경도가 1도씩 동쪽으로 갈수록 년 강수량은 18.96 mm씩 증가하였으며, 위도가 1도씩 고위도일수록 년 강수량은 58.03 mm씩 감소하였다.

$$E(AR) = E_0 + A X + B Y \quad (5)$$

단, E(AR) : 누적강수량
X : 경도
Y : 위도
A, B, E₀ : 계수

넷째, 경도 및 위도에 의하여 영향받는 누적강수량의 변화 범위는 각각 118.6 mm 및 290.4 mm이었다.

다섯째, 연간 누적강수량이 많은 지역일수록 누적강수량의 변화 진폭이 크며, 누적강수량이 급격히 변화되는 시기(critical point)는 빨랐다.

여섯째, 경도가 서쪽이고 고위도일수록 누적강수량의

변화 진폭은 컸으며, 경도가 동쪽이고 고위도일수록 누적 강수량이 급격히 변화되는 시기(critical point)는 빨랐다.

본 연구는 위 결과와 함께 몇 가지 시사점을 준다.

밭작물 물 관리를 위해서는 우선 water balance가 구명 되어야 하며 input 인자로서는 강수량과 관개량 및 모세관 상승량이 있으며, output 인자로서는 증발산량, 유거량 및 지하배수량이 있다. 온도 및 습도인자는 증발산량 추정에 필요한 인자이며, 본 연구에서 수행한 누적강수량 추정 모형은 output량을 산정하는데 활용될 수 있다.

특히, 밭작물 재배 시 물 관리 schedule을 수립하기 위하여서는 임의지역의 임의기간 동안의 누적강수량 산정이 필수 사항이며, 본 모형을 이용하여 임의 지역의 임의기간 동안의 누적강수량은 다음과 같이 산정할 수 있다(4).

$$\begin{aligned} \text{TRi}(t_2 - t_1) &= \int_0^{t_2} E[AR]dt - \int_0^{t_1} E[AR]dt \quad (4) \\ &= [a_i / (1 + \exp[-(X_2 - X_{oi})/b_i]) \\ &\quad - [a_i / (1 + \exp[X_1 - X_{oi})/b_i])] \end{aligned}$$

TRi : 임의지역의 임의기간 동안의 누적강수량
t1, t2 : Julian date
E[AR] : KSRM의 누적강수량
ai, bi, Xoi : KSRM의 지역별 계수

이와 같은 경우 본 KSRM은 아주 유용하게 활용될 수 있다고 사료된다.

또한 경도와 위도에 따른 누적강수량을 추정할 수 있는 3-dimension모형도 금후 기후변화 관련 정책수립에 활용될 수 있다고 사료된다.

사사

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품기술융합창의인재양성사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호: 120017-02).

References

Boo KO, Shim SB, Kim JE, Byun YH, Cho CH, 2016. Emergence of Anthropogenic Warming over South Korea in CMIP5 projections. *Journal of Climate Change Research* 7 : 421-426.

Cho JP, Kim JU, Choi SK, Hwang SW, Jung HC. 2020. Variability analysis of climate extreme index using downscaled multi-models and grid-based CMIP5 climate change scenario data. *Journal of Climate Change Research* 11: 123-132.

Eom KC, Eom KR. 2008. Mathematics for agricultural sciences. Daewon Publishers. Korea. Seoul. 123-491 (in Korean).

Eom KC, Eom HY. 2013. Estimation model of the change in daily leaf surfacetemperature using scaling technique. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 46: 359-364.

Eom KC, Lee BK, Kim YS, Eom HY. 2014. Comparison of the change in daily air and surface temperature of red-pepper leaf and soil. *Korean J. Soil Sci. & Fert.*47: 345-350.

Eom KC, Park SJ, Lee BK, Eom HY. 2014. Estimation of the changes in daily air and soybean leaf surface temperature using the E&E model. 8th Asian Crop ScienceAssociation Conerence [ACSAC8] Vietnam. p.84-85.

Eom KC, Kim LY, Im CI, Park YH, Park MS, 2020. J. Climate Change Res. 11 : 529-538.

Hawkins E, Sutton R, 2012. Time of emergence of climate signals. *Geophys Res Lett.* doi : 10.1029/2011GL050087.

IPCC, 2013. Climate change 2013 : The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climatechange. Cambridge University Press, doi : 10.1017/CBO97811074153324.005.

Lee BK, Jung PK, Lee WK, Lim CH, Eom KC. 2015. Changes in air temperature and surface temperature of crop leaf and soil. *Journal of Climate Change Research* 6 : 209-221.

Lee D, Min SK, Park C, Suh MS, Ahn JB, Cha DH, Lee DK, Hong SY, Park SC, Kang HS, 2016. Time of emergence of anthropogenic warming signals in the northeast Asiaassessed from multi-regional climate models. *Asia-Pac. J Atmos Sci* 52 : 129-137.

Lieth JH, Fisher PR, Heins RD, 12996. A phasic model

- for the analysis of sigmoid patterns of growth. *Acta Horticulturae*, 417 : 113-118.
- Mahlstein I, Knutti R, Solomon S, Portmann RW, 2011. Early onset of significant local warming in low latitude countries. *Environ Res Lett.* doi : 10.1088/1748-9326/6/3/034009.
- Mahlstein I, Hegerl G, Solomon S, 2012. Emerging local signals in observational data. *Geophys Res Lett.* doi : 10.1029/2012GL053952.
- Sui Y., Lang X, Jiang D, 2014. Time of emergence of climate signals over China under the RCP 4.5 scenario. *Climate Change* 125:265-276.
- Xinyou Y, Jan G, Egbert A, Lantinga JV, Huub JS, 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of Botany* 91 : 361-371.
- Yu DS, Kwon OC, Kim HG. 2020. A simple program improving uncertainly average temperature and growing degree days based on RCP scenario. *Journal of Climate Change Research* 11: 113-122.