



# 강우 자료와 발작물 물관리 지침서를 이용한 노지 발작물의 관개 필요량 산정 연구

## Irrigation Water Requirements for Upland Crops Using Rainfall Data and Water Management Guidelines

최용훈<sup>a</sup> · 김영진<sup>b,†</sup> · 김용원<sup>c</sup> · 김민영<sup>d</sup> · 전종길<sup>e</sup>

Choi, Yonghun · Kim, Youngjin · Kim, Yongwon · Kim, Minyoung · Jeon, Jonggil

### Abstract

The purpose of this study is to determine the amount of irrigation water for upland crop growth based on the 30 year of historical rainfall data and the water management guidelines as a reference. Five regions and ten crops were selected by their cultivation size. The changes of soil moisture contents were calculated using daily mean rainfall and irrigation demand. This study assumed that crops are irrigated when the soil moisture contents fell below of the field capacity for more than 5 days, which is the drought condition defined by RDA. The maximum irrigation water requirements was 167.2 mm for chinese cabbage during the growing season, which was followed by corn (112.0 mm), daikon (102.3 mm), spinach (66.1 mm), lettuce (56.7 mm), pepper (46.5 mm), potato (33.9 mm), sweet tomato (27.4 mm), peanut (11.5 mm) and bean (10.3 mm). The results of this study could contribute to providing valuable data to determine the capacity of irrigation facilities and to establish the emergency operation plans under extreme unfavorable weather condition (heat wave, etc.) for crop growth.

**Keywords:** Irrigation water requirements; water management guidelines; rainfall; upland crop; soil moisture

### 1. 연구배경 및 목적

이상 기후로 인하여 우리나라는 최근 국지적인 가뭄발생이 증가하고 있다. 특히, 갈수기 강수량 감소에 의하여 2013년부터 2016년까지 중부지방의 가뭄이 심각하였고, 2017년에는 남부지방을 중심으로 가뭄이 발생하는 등 지역적인 가뭄의 편차도 심해지고 있다. 가뭄이 발생하는 근본적인 원인은 강수량 부족이며, 농업 분야의 가뭄은 주로 봄철 강수량 부족이

영농기로 이어져 사용할 수 있는 농업용수가 부족한 형태로 진행된다 (Kim et al., 2017). 또한 충분한 수자원을 확보하지 못한 상태에서 일정 규모 이상의 가뭄이 발생하거나 기간이 장기화 되는 경우 물 부족으로 인한 농업 분야의 피해가 증가할 수 있다 (Lee, 2012).

수자원의 변동성 증가에 따라 노지 발작물에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 기상 및 기후 특성, 작물의 종류, 지역 특성에 따라 효율적인 물관리 방안이 수립되어야 한다고 하였다 (Shin, 2017). 발작물의 물 관리와 관련된 연구는 관개용수량 산정 방법 연구 (Suh and Lee, 2002; Hong et al., 2015; Lee and Shin, 2016; Shin et al., 2017; Shin, 2018), 관개 계획 수립과 관련된 연구 (Kim and Koh, 1977a, 1977b; Yoon et al., 1990; Ro, 1996), 그리고 농업 가뭄 및 관개용수 수요 등을 전망하는 연구 (Nam et al., 2014; Hong et al., 2015; Shin et al., 2017) 등으로 구분할 수 있으며, 지속적으로 수행되고 있다. 발작물 물 관리와 관련된 다양한 연구들이 진행된 가운데 농업인에게 보급된 농촌진흥청의 발작물 물관리 지침서 (Eom et al., 1999)는 작물별, 생육시기별, 지역별로 관개 시기와 간격 그리고 1회 관개량 등의 정보를 토양 종류에 따라 물관리가 이루어질 수 있도록 정보를 제공하고 있다. 이를 통해 작물의 재배에 필요한 총 용수량 또는 시기별 용수량 등을 개략적으로 산정할 수 있게 되었다.

우리나라는 농업용 저수지 등 기존 용수원과 근접한 지역에 대한 농업용수 공급은 관개 수로정비를 통해 원활한 편이

<sup>a</sup> Post-doctoral Researcher, Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences (NAS), Rural Development Administration (RDA)

<sup>b</sup> Agricultural Researcher, Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences (NAS), Rural Development Administration (RDA)

<sup>c</sup> Researcher, Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences (NAS), Rural Development Administration (RDA)

<sup>d</sup> Post-doctoral Researcher, Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences (NAS), Rural Development Administration (RDA)

<sup>e</sup> Post-doctoral Researcher, Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences (NAS), Rural Development Administration (RDA)

† **Corresponding author**

Tel.: +82-63-238-4159 Fax: +82-63-238-4145

E-mail: mukta73@korea.kr

Received: November 16, 2018

Revised: December 6, 2018

Accepted: December 26, 2018

지만, 관개용수 공급이 어려운 산간 및 도서 지역 등에 위치한 밭은 가뭄에 취약하다. 이러한 지역에서 관개용수 확보 및 저장에 활용 할 수 있는 빗물 집수 및 저장 기술과 관련된 연구가 진행되고 있다 (Jun et al., 2013; Kim, 2015; Maeng and Hwang, 2015; Choi et al., 2018). 이처럼 용수 확보가 우선적으로 필요한 지역에서는 작물에 필요한 용수량을 산정하고, 용수를 저장하는 적절한 시설의 규모 또는 적정 보관량 등이 먼저 결정되어야 한다. 농업용수의 저장 규모가 합리적으로 결정되어야 시설투자에 대한 부담이 적어질 수 있기 때문이다. 이러한 측면에서 밭작물 물관리 지침서를 활용하여 필요한 총 용수량 등을 결정 할 수 있다. 그러나 밭작물 물관리 지침서는 강우량이 고려되지 않고, 작물의 최대 물 이용량을 이용하여 관개량이 산정되어 있다. 관개량 산정이 과도하게 되면 실제로 필요한 저장 시설 등의 크기보다 커질 수 있으므로, 강우량을 고려할 필요가 있다고 판단하였다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 주요 밭작물과 그 주산지에 대하여 밭작물 물관리 지침서에서 제공하는 관개량과 기상청에서 제공하는 강우량을 이용하여 평년 강우에 대해 추가적으로 필요한 관개용수량을 산정하였고, 관개가 필요한 시기 등을 분석하였다. 본 연구결과는 노지 밭작물을 재배하는 지역에서 효율적인 관개 계획을 수립하기 위해 필요한 용수량 및 저장 시설의 크기 등을 결정하는 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## II. 연구방법

### 1. 대상 작물과 주산지 선정

농촌진흥청의 밭작물 물관리 지침서는 작물의 생육시기별 최대 증발산량을 기준으로 선정된 작물 계수를 고려하여 1회

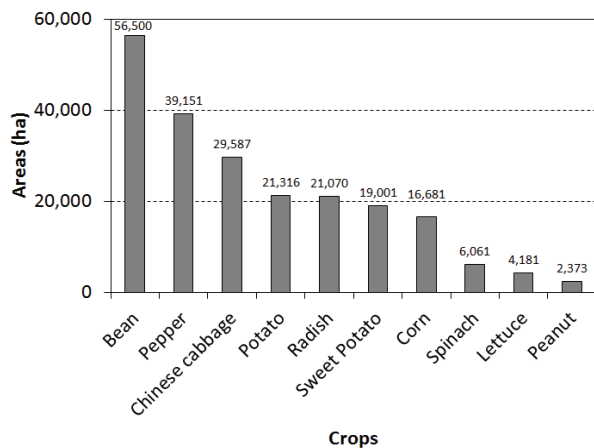


Fig. 1 Status of upland crop production by cultivation sizes

관개량과 관개간격을 별도의 자료 없이 결정할 수 있는 자료이며 (Eom et al., 2010; Han et al., 2012), 경기도 수원 등 65개 지역과 봄 배추 등 36개 작물에 대한 정보를 제공하고 있다. 본 연구에서는 밭작물 물관리 지침서에 수록된 작물 중에서 3월부터 6월 사이에 파종 및 정식이 이루어지며, 재배지역이 노지인 밭작물 (재배면적 순: 콩, 고추, 배추, 감자, 무, 고구마, 옥수수, 시금치, 상추, 땅콩)을 대상 작물로 선정하였다. 2015년 기준 작물별 전국 재배면적에서 콩의 재배면적이 56,500 ha로 가장 컸고, 땅콩의 재배면적이 2,373 ha로 가장 작게 나타났다. 그러나 노지 밭작물의 물 부족 현상이 전국재배면적의 영향을 받는다고 할 수 없으며, 연구 결과의 신뢰성을 높이기 위해 면적에 관계없이 10개 작물을 모두 분석하였다.

선정된 작물의 주산지는 2015년 기준 시군별 통계연보의 작물 재배 면적을 기준으로 상위 5개 지역으로 선정하였다. 시군별 작물재배 면적 통계의 특성상 봄배추-가을배추와 같이 계절적으로 재배 시기가 다른 동일 작물의 재배면적 및 노지와 시설 등 재배방식에 따른 면적을 분리할 수 없기 때문에 주산지 결정에서 재배 시기와 재배 환경에 대한 영향을 고려할 수는 없었다. 작물별로 선정된 주산지가 밭작물 물관리 지침서에 수록되어 있지 않거나, 강우 관측소가 없는 경우에는 인접한 지역의 자료를 활용하였다. 예를 들어, 콩의 재배 면적 상위 5개 지역 중에서 무안은 밭작물 물관리 지침서에 수록되어 있지 않고, 강우를 관측하는 지역이 아니기 때문에 인접 지역인 함평 또는 목포의 자료를 적용하였다 (Table 1).

### 2. 토양수분 변화와 관개필요량 산정

#### 가. 토양수분 변화량 산정 방법

농업 분야에서의 가뭄은 토양의 유효수분함량 (Available Water Capacity, AWC)인 포장용수량 (Field Capacity, FC)부터 위조점 (Wilting Point, WP)까지의 토양수분량이 50% 이하가 되는 기간을 농업 가뭄으로 정의하고 있다 (Choi and Kim, 2006). 농촌진흥청이 제공하는 주간영농정보에서도 토양의 수분함량이 유효수분의 하위 15~45%일 때 관개가 필요하다고 하였다. 또한 이 시기에 필요한 최소 관개량을 제시하였고, 토양수분함량이 낮은 환경이 10일 이상 지속될 경우에는 즉각적인 관수가 필요하다고 하였다. 실제 농경지에서 관개가 필요한 시기는 토양의 수분함량과 함께 작물의 생육상태도 중요한 요인으로 볼 수 있으나, 본 연구에서는 수치적으로 정량화가 가능한 토양수분함량에 초점을 맞추어 분석하였다.

농촌진흥청의 가뭄대책 및 가뭄기술 정보, 작물기술정보 그리고 주간농사정보 등에서는 작물이 생육하는 과정 중에서도 물 부족에 취약한 재배시기의 시들음 방지를 위한 관개 간격

**Table 1** Application area used for computing crop water requirements from the water management guidelines and weather station

Crop	Main producing areas	Cultivation area (ha)	Application area	
			Water management guidelines	Weather station
Bean	Jeju	4,883	Seogwipo	Seogwipo Jeju
	Muan	1,854	Hampyeong Mokpo	Mokpo
	Chungju	1,807	Chungju	Chungju
	Andong	1,636	Uiseong Yeongju	Andong
	Sinan	1,532	Hampyeong Mokpo	Heuksando
Pepper	Yeongyang	1,637	Uljin Yeongdeok	Uljin Yeongdeok
	Andong	1,572	Uiseong Yeongju	Andong
	Bonghwa	1,434	Yeongju Uljin	Bonghwa
	Cheongju	963	Cheongju	Cheongju
	Gochang	955	Buan Jeongeup	Gochang
Chinese cabbage	Haenam	4,320	Haenam	Haenam
	Samcheok	1,392	Samcheok	Donghae Jeongseon Taebaek Uljin
	Pyeongchang	1,357	Pyeongchang	Daegwallyeong
	Sunchang	1,147	Jeongeup Imsil Namwon	Sunchang
	Jeongseon	1,144	Pyeongchang Gangneung	Jeongseon
Potato	Pyeongchang	1,508	Pyeongchang	Daegwallyeong
	Anseong	1,349	Icheon	Icheon
	Jeju	1,129	Seogwipo	Seogwipo Jeju
	Gangneung	994	Gangneung	Gangneung
	Boseong	930	Suncheon Jangheung Goheung	Boseong
Daikon	Jeju	5,710	Seogwipo	Seogwipo Jeju
	Gochang	663	Buan Jeongeup	Gochang
	Pocheon	520	Chuncheon	Chuncheon Dongducheon Cheorwon
	Gangneung	509	Gangneung	Gangneung
	Hongcheon	437	Hongcheon	Hongcheon

Crop	Main producing areas	Cultivation area (ha)	Application area	
			Water management guidelines	Weather station
Sweet tomato	Yeosu	1,587	Icheon Yangpyeong Wonju	Icheon Yangpyeong Wonju
	Haenam	1,508	Haenam	Haenam
	Gochang	1,320	Buan Jeongeup	Gochang
	Yongam	924	Mokpo Haenam	Mokpo Haenam
	Nonsan	889	Daejeon Buyeo Geumsan	Daejeon Buyeo Geumsan
Corn	Chungju	1,867	Chungju	Chungju
	Cheorwon	1,821	Chuncheon	Cheorwon
	Goesan	1,148	Boeun Cheongju Mungyeong	Boeun Cheongju Mungyeong
	Jeongseon	821	Pyeongchang Gangneung Samcheok	Jeongseon
	Pyeongchang	763	Pyeongchang	Daegwallyeong
Spinach	Pocheon	1,226	Chuncheon	Chuncheon Dongducheon Cheorwon
	Sinan	1,104	Hampyeong Mokpo	Heuksando
	Namhae	1,095	Namhae	Namhae
	Goseong	261	Jinju Tongyeong	Jinju Tongyeong
	Pohang	236	Pohang	Pohang
Lettuce	Icheon	796	Icheon	Icheon
	Busan	522	Busan	Busan
	Namwon	240	Namwon	Namwon
	Nonsan	231	Daejeon Buyeo Geumsan	Daejeon Buyeo Geumsan
	Yongin	155	Suwon	Suwon
Peanut	Gochang	259	Buan Jeongeup	Gochang
	Cheongju	183	Cheongju	Cheongju
	Jeongeup	157	Jeongeup	Jeongeup
	Buan	146	Buan	Buan
	Taeon	129	Seosan	Seosan

을 3~7일로 제시하고 있다. 토양수분 이동 및 저장에 관한 예측 모형을 개발한 Seo et al. (2012)은 지표에서 깊이 300 mm까지 작물의 뿌리가 가장 많이 존재하고 있다고 하였다. 이와 같은 기존 연구를 참고하여, 본 연구에서도 깊이 300 mm 토양의 수분함량이 유효수분의 50% 이하인 상태를 물이 부족 상태로 가정하였고, 물 부족이 5일 이상 지속되는 경우 반드시 관개가 필요한 것으로 설정하였다.

따라서 본 연구에서는 깊이 300 mm 토양의 수분함량이 포장용수량인 상태에서 파종 및 정식을 하고, 발작물 물관리 지침서의 관개요구량만큼 토양 수분이 감소되며, 일평균 강우량만큼 토양 수분이 증가한다고 가정하였다 (Eq. 1).

$$w(d) = FC + \left( \sum_{d=0}^d R(d) - \sum_{d=0}^d I(d) \right) \quad (1)$$

여기서, w는 d일 경과 후 토양수분량, FC는 포장용수량 (mm), R는 일 강우량, I는 일 관개요구량, d는 작물의 파종 또는 정식이 이루어진 날로부터 경과된 일수이다.

#### 나. 관개필요량 산정 방법

작물에 필요한 관개요구량은 발작물 물관리 지침서에서 제공하는 1회 관개량을 관개 간격으로 나누어 일일 관개요구량으로 환산하였다. 강우량은 기상청에서 제공하는 자료 중에서 지역 단위로 30년 이상 관측된 일 강우량 자료를 활용하여, 평균 일일 강우량으로 환산하였다. 주산지가 물관리 지침서에 수록되지 않은 경우 또는 강우관측 자료가 없는 경우에는 주산지와 인접한 지역의 발작물 물관리 지침서 및 강우 자료를 활용하였다.

위에서 언급한 Eq. 1을 R과 I에 대한 w로 도시하면 Fig.

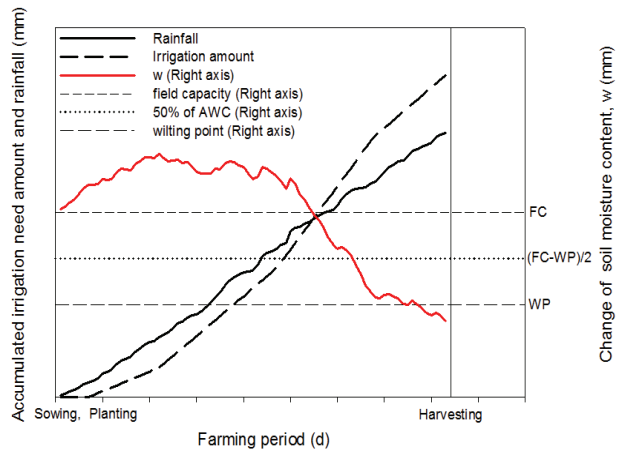


Fig. 2 Conceptual plot for the curve of soil moisture change

2와 같은 형태로 나타날 수 있다. w가 FC를 초과하는 기간에는 추가적인 관개가 필요 없는 상태를 의미한다. 반대로 w가 FC보다 작아지면 토양의 수분이 작물의 생육에 불리한 상태로 변화하기 때문에 관개가 필요한 것을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 토양의 수분함량을 포장용수량까지 유지할 수 있는 관개필요량 (I<sub>r</sub>)과 이 때의 물 부족 기간 (T) 그리고 토양수분함량이 유효수분의 50% 미만으로 떨어지지 않도록 요구되는 최소 관개필요량 (I<sub>s</sub>), 그리고 그 때의 물 부족 기간 (t)를 산정하여 작물별 지역별로 필요한 관개용수를 확인하였다.

토양의 유효수분함량은 토질에 따라 차이가 있으나, 본 연구에서는 우리나라의 밭 표토 토성 중에서 가장 많은 면적을 차지하고 있는 양토의 유효수분함량을 기준으로 관개필요량을 산정하였다 (RDA, 2018). 여기서, 300 mm 양토 토층의

Table 2 Total and daily average of irrigation water by crops

Crop	Cultivation period (day)	Irrigation interval (day)	Irrigation water of one time (mm)	Total of irrigation water (mm)	Daily average of irrigation water (mm/day)
Bean	129	10.2	34.45	445.30	3.4
Pepper	159	7.9	27.55	579.67	3.6
Chinese cabbage (april)	57	4.7	16.65	248.64	4.0
Chinese cabbage (may)	47	4.6	16.73	194.64	4.0
Potato	76	9.4	28.78	256.17	3.3
Daikon	67	6.6	22.40	257.76	3.6
Sweet tomato	124	8.7	29.36	429.35	3.5
Corn	118	10.4	41.76	484.78	4.2
Spinach	42	4.5	15.13	163.49	3.5
Lettuce	57	4.9	15.28	215.02	3.5
Peanut	144	10.6	35.43	475.98	3.4

유효수분함량은 Choi et al. (2016)이 제시한 내용에 따라 포장용수량은 67.5 mm, 위조점은 26.1 mm이며, 유효수분의 50%는 46.8 mm으로 포장용수량과의 차이는 -20.7 mm로 사용하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 작물-지역별 강수량 및 관개필요량 분석

작물의 총 관개요구량은 시금치 163.5 mm~고추 579.7 mm로 작물별로 큰 차이를 나타냈으나, 일평균 관개요구량은

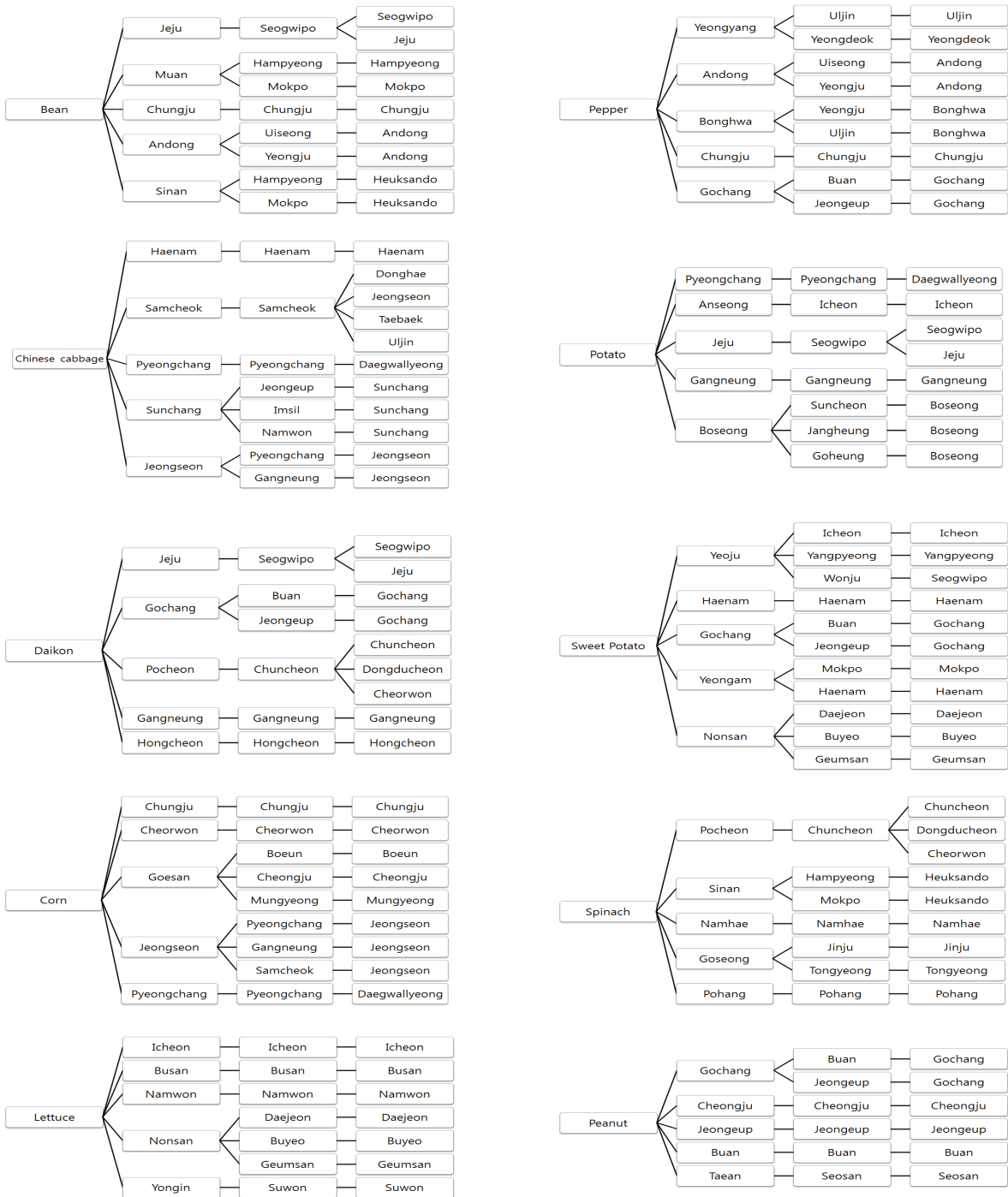


Fig. 3 Conceptual diagram of matching crop and application areas

**Table 3** Calculation of duration (T, t) and amount (I<sub>T</sub>, I<sub>t</sub>) of irrigation required

Crop	M-G-W	∑I	∑R	T	I <sub>T</sub>	t	I <sub>t</sub>
Bean	Andong-Uiseong-Andong	458.6	731.8	14	10.3	0	0
	Andong-Yeongju-Andong	442.0	731.8	14	9.5	0	0
Pepper	Yeongyang-Uljin-Uljin	572.1	759.0	38	33.8	14	13.1
	Yeongyang-Yeongdeok-Yeongdeok	601.0	742.1	37	32.2	14	11.5
	Andong-Uiseong-Andong	602.4	810.4	25	30.0	8	9.3
	Andong-Yeongju-Andong	586.0	810.4	24	29.6	8	8.9
	Bonghwa-Yeongju-Bonghwa	586.0	919.8	15	14.4	0	0
	Gochang-Buan-Gochang	630.0	900.6	30	46.5	21	25.8
	Gochang-Jeongeup-Gochang	531.1	900.6	21	22.5	2	1.8
Chinese cabbage (april)	Haenam-Haenam-Haenam	247.8	234.0	16	19.9	0	0
	Samcheok-Samcheok-Donghae	288.3	133.8	46	154.5	38	133.8
	Samcheok-Samcheok-Jeongseon	288.3	121.1	46	167.2	38	146.5
	Samcheok-Samcheok-Taebaek	288.3	182.8	40	105.4	33	84.7
	Samcheok-Samcheok-Uljin	288.3	148.4	42	139.8	37	119.1
	Pyeongchang-Pyeongchang-Daegwallyeong	283.4	215.0	37	68.4	25	47.7
	Sunchang-Jeongeup-Sunchang	236.3	174.2	19	62.1	13	41.4
	Sunchang-Imsil-Sunchang	241.7	174.2	23	67.6	14	46.9
	Sunchang-Namwon-Sunchang	248.6	174.2	28	74.4	17	53.7
	Jeongseon-Pyeongchang-Jeongseon	283.4	121.1	46	162.3	38	141.6
	Jeongseon-Gangneung-Jeongseon	156.6	121.1	22	35.5	7	14.8
Chinese cabbage (may)	Haenam-Haenam-Haenam	192.1	260.7	6	3.1	0	0
	Samcheok-Samcheok-Donghae	209.9	154.9	35	80.9	31	60.2
	Samcheok-Samcheok-Jeongseon	209.9	164.2	36	97.4	31	76.7
	Samcheok-Samcheok-Taebaek	209.9	209.0	32	45.5	19	24.8
	Samcheok-Samcheok-Uljin	209.9	153.2	36	72.2	31	51.5
	Pyeongchang-Pyeongchang-Daegwallyeong	203.3	243.8	19	16.3	0	0
	Sunchang-Jeongeup-Sunchang	199.0	170.9	28	54.0	23	33.3
	Sunchang-Imsil-Sunchang	194.4	170.9	29	51.5	23	30.8
	Sunchang-Namwon-Sunchang	203.0	170.9	29	57.2	23	36.5
	Jeongseon-Pyeongchang-Jeongseon	203.3	164.2	36	92.2	31	71.5
Jeongseon-Gangneung-Jeongseon	145.6	164.2	19	35.4	10	14.7	
Potato	Anseong-Icheon-Icheon	265.5	231.6	23	33.9	16	13.2
	Jeju-Seogwipo-Jeju	255.2	217.0	35	40.5	14	19.8
Daikon	Gochang-Buan-Gochang	294.0	191.8	60	102.3	48	81.6
	Gochang-Jeongeup-Gochang	236.6	191.8	50	44.8	23	24.1
	Pocheon-Chuncheon-Chuncheon	311.8	269.0	41	70.2	35	49.5
	Pocheon-Chuncheon-Dongducheon	311.8	259.4	43	82.0	36	61.3
	Pocheon-Chuncheon-Cheorwon	311.8	252.2	46	76.6	28	56.0
Sweet tomato	Yeosu-Wonju-Wonju	448.6	932.8	7	8.6	0	0
	Gochang-Buan-Gochang	481.9	814.0	21	27.4	13	6.7
	Gochang-Jeongeup-Gochang	406.3	814.0	10	7.1	0	0
Corn	Chungju-Chungju-Chungju	450.8	713.5	28	36.4	14	15.7
	Cheorwon-Chuncheon-Cheorwon	482.7	893.1	34	40.8	24	20.1
	Goesan-Boeun-Boeun	508.2	787.9	27	41.0	15	20.3
	Goesan-Cheongju-Cheongju	479.8	752.2	31	40.4	18	19.7
	Goesan-Mungyeong-Mungyeong	537.1	763.4	31	43.3	16	22.6
	Jeongseon-Pyeongchang-Jeongseon	438.8	687.1	48	107.0	39	86.3
	Jeongseon-Gangneung-Jeongseon	533.8	687.1	13	17.5	0	0
	Jeongseon-Samcheok-Jeongseon	470.4	687.1	49	112.0	39	91.3
Spinach	Pocheon-Chuncheon-Chuncheon	172.2	144.0	13	28.2	3	7.5
	Pocheon-Chuncheon-Dongducheon	172.2	139.5	13	32.8	5	12.1
	Pocheon-Chuncheon-Cheorwon	172.2	137.3	18	35.0	6	14.3
	Sinan-Hampyeong-Heuksando	170.6	143.1	16	27.5	3	6.8
	Sinan-Mokpo-Heuksando	157.2	143.1	12	14.1	0	0
	Pohang-Pohang-Pohang	192.2	126.1	26	66.1	16	45.4
Lettuce	Icheon-Icheon-Icheon	232.5	175.8	40	56.7	19	36.0
	Namwon-Namwon-Namwon	208.0	179.7	28	28.3	6	7.6
	Nonsan-Geumsan-Geumsan	208.5	170.1	36	38.4	14	17.6
	Nonsan-Daejeon-Daejeon	224.4	176.2	40	48.1	17	27.4
	Nonsan-Buyeo-Buyeo	214.0	184.4	34	29.6	5	8.9
	Yongin-Suwon-Suwon	218.7	163.6	41	55.1	24	33.4
Peanut	Gochang-Buan-Gochang	525.3	859.1	17	11.5	0	0

\*M: Main production area, G: Application area from the water management guidelines, W: Application area from the weather station, ∑I: Total irrigation requirement, ∑R: Total rainfall, T: Number of days of soil moisture deficit (lower than FC), t: Number of days of soil moisture deficit (lower than (FC-WP)/2)

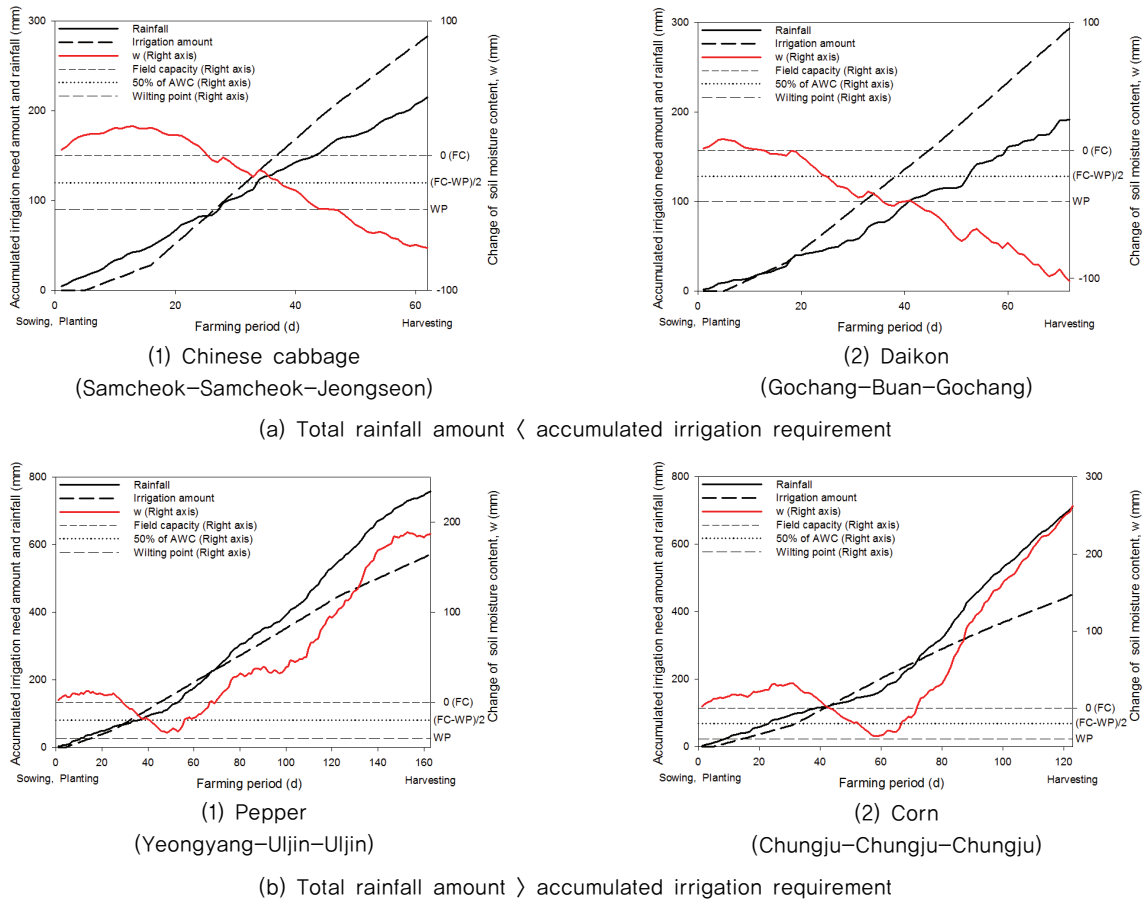


Fig. 4 Change of soil moisture content under the condition of irrigation required

감자 3.3 mm/day~옥수수 4.2 mm/day (전체 작물 평균 3.6 mm/day, 표준편차 0.3, 변동계수 0.08)로 큰 차이가 나타나지는 않았다. 발작물 물관리 지침서에 제시된 관개간격은 작물의 생육시기에 따라 다르지만 평균적으로 시금치 4.5일~땅콩 10.6일로 작물에 따른 차이가 나타났다 (Table 2).

작물-주산지-발작물 물관리 지침 적용지역-강우 적용지역 순서로 연결하여 콩 9지역, 고추 9지역, 배추 22지역 (4월과 5월 파종 각 11지역), 감자 8지역, 무 9지역, 고구마 11지역, 옥수수 9지역, 시금치 9지역, 상추 7지역 그리고 땅콩 6지역 등 주요 작물의 강우량 및 관개요구량 파악을 위해 총 99개 지역의 자료를 분석하였다 (Fig. 3).

토양의 수분함량을 포장용수량까지 유지할 수 있는 관개 필요량 ( $I_r$ )은 콩의 경우 주산지 5곳 가운데 안동 지역에서 약 10 mm/T (여기서, 10 mm/T는 T일 동안 10 a의 관개 면적에 10 ton의 관개용수가 필요하다는 것을 의미하며, T는 Table 2에 보여지는 것과 같이 지역과 작물에 따라 다름), 고추는 영양 34 mm/T, 안동 30 mm/T, 봉화 14 mm/T, 고창 47 mm/T가 필요한 것으로 나타났다. 배추는 파종시기에 따라 4월과

5월로 구분하였으며, 4월 파종 배추는 해남 20 mm/T, 삼척 167 mm/T, 평창 68 mm/T, 순창 74 mm/T, 정선 162 mm/T로 대상 작물 가운데 가장 많은 관개용수가 필요한 작물인 것으로 나타났다. 5월 파종 배추는 해남이 3 mm/T, 삼척 97 mm/T, 평창 16 mm/T, 순창 57 mm/T, 정선 92 mm/T가 필요한 것으로 분석되었다. 감자는 안성 지역에서 약 34 mm/T, 무는 제주도 41 mm/T, 고창 102 mm/T, 포천 82 mm/T, 고구마는 여주와 고창 지역에서 9 mm/T와 27 mm/T, 옥수수는 충주 36 mm/T, 철원 41 mm/T, 괴산 43 mm/T, 정선 112 mm/T, 시금치는 포천 33 mm/T, 신안 28 mm/T, 포항 66 mm/T, 상추는 이천 57 mm/T, 남원 28 mm/T, 논산 48 mm/T, 용인 55 mm/T, 땅콩은 고창 지역에서 12 mm/T가 필요한 것으로 분석되었다 (Table 3).

작물/주산지별 관개필요량 산정 결과 세가지 경향으로 분류되었다. 첫 번째로 배추, 감자, 무, 시금치, 상추의 경우에는 관개요구량보다 재배시기에 발생하는 강우량이 적은 경향이 나타났으며, 부족한 강우량만큼의 관개용수 공급이 필요한 것으로 분석되었다 (Fig. 4-a). 또한 관개요구량-강우량 누적곡선에서 재배기간 경과함에 따라 토양수분이 포장용수량 이하

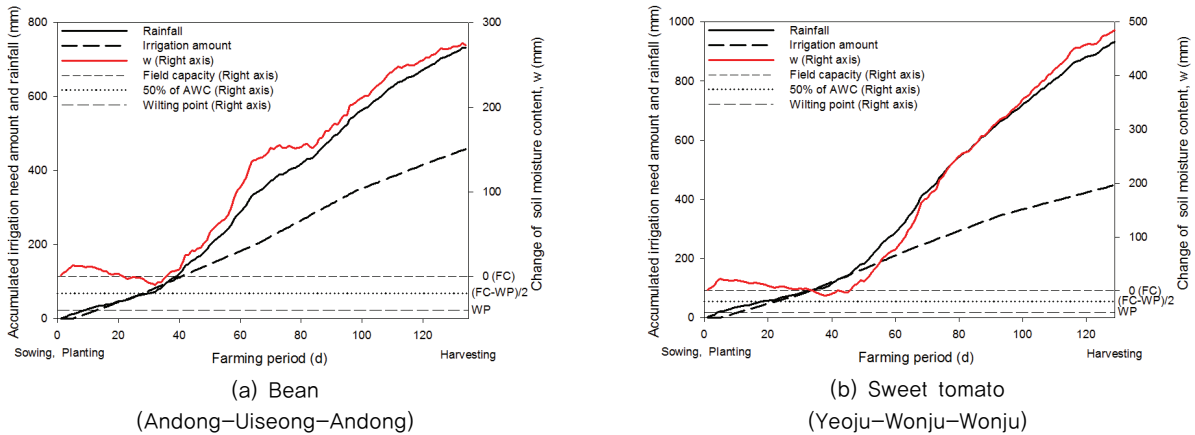


Fig. 5 Change of soil moisture content under the condition of no irrigation required

로 떨어지는 경향이 나타났다. 따라서 용수확보를 통해 작물 생육 중반기 이후의 충분한 관개가 필요할 것으로 판단된다.

두 번째로 콩, 고추, 고구마, 옥수수의 경우에는 관개요구량 보다 재배시기에 발생하는 강우량이 더 많았으나, 토양수분이 포장용수량 이하로 떨어져 관개용수가 필요한 기간이 발생하는 것으로 분석되었다 (Fig. 4-b). 이는 관개가 필요한 시기에 강우가 발생하지 않거나 강우량이 적다는 것을 의미한다. 따라서 작물 파종 전에 관개용수를 확보하여 관개가 요구되는 시기에 적절한 관개가 필요한 것으로 사료된다.

마지막으로 유효토양수분함량이 50% 이하로 내려가지 않아 최소 관개필요량 ( $I_1$ )이 '0'으로 산정되는 콩 (안동), 고추 (봉화), 배추 (해남, 평창), 고구마 (여주), 옥수수 (정선), 시금치 (신안), 땅콩 (고창)과 같은 경우도 존재하였다 (Fig. 5). 하지만 단순히 과거 자료의 통계를 이용해 분석된 결과이므로, 강우량이 평년에 비하여 부족할 경우를 대비한 용수확보는 필요할 것으로 보여진다.

#### IV. 결론

강우량 관측지역과 발작물 물 관리 지침서 수록 지역을 기준으로 콩 등 10개 작물에 대하여 99개의 지역을 대상으로 작물 재배기간 동안 필요한 관개량을 산정하였다. 재배 지역에 따라서 관개 필요량의 차이는 크게 나타났으나, 콩, 감자, 고구마 그리고 땅콩 재배지역과 같이 관개 요구량을 평균적인 강우로 해결 할 수 있는 지역도 존재하는 것으로 분석되었다. 작물별로 물 부족은 배추, 옥수수, 무, 시금치, 상추 그리고 고추 순으로 심각하게 나타났으며, 배추-삼척-삼척-정선에서 재배기간동안 167.2 mm의 최대 관개 필요량이 산정되었다.

관개가 필요한 시기에 따라 재배기간 동안 지속적으로 강

우량이 부족해 관개가 필요한 경우와 일정 시기에 한시적으로 강우가 부족한 경우로 분류 할 수 있었다. 배추, 감자, 무, 시금치 그리고 상추는 지속적으로 강우량이 부족하여 재배 중반기를 지나면서 물 부족이 심각해지는 것으로 분석되었다. 반면 콩의 안동지역 배추와 고추, 고구마 그리고 옥수수는 한시적으로 관개가 필요한 것으로 나타났다. 지속적으로 강우량이 부족한 배추와 감자 등의 경우에는 용수 저장시설을 구비하고, 저장능력에 맞춰 지속적인 용수의 확보가 필요할 것으로 판단된다. 한시적으로 관개용수가 필요한 콩과 고추 등의 경우에는 재배 준비기간동안 충분한 용수를 확보해 두고 필요한 시기에 사용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 본 연구에서는 장기간의 강우자료를 통하여 평균 강우량을 분석한 결과이므로 추가적인 관개가 필요하지 않다고 분석된 작물의 경우에도 예기치 못한 물 부족의 발생을 대비하기 위한 관개용수의 확보가 필요하다고 사료된다. 또한 충분한 관개용수를 확보하지 못하는 경우에는 유효토양수분함량이 50% 이하로 떨어지지 않도록 관개하여 작물의 시듦을 방지할 필요가 있다.

본 연구는 산정된 관개필요량은 발작물 물관리 지침서에 명시된 재배기간동안의 과거 강우량 자료를 활용하여 통계적으로 접근한 결과이기 때문에 지역별, 작물별, 재배기간 그리고 토성 등의 차이를 모두 반영하는 결과는 아니다. 그러나 본 연구와 같이 장기 관측된 강우 자료를 바탕으로 재배기간 동안의 강우 패턴을 분석하여 작물별로 물이 부족한 시기 및 필요한 관개 용수량 등을 산정하면, 필요한 관개용수의 확보 방안 마련, 저장 시설 규모의 적정 설계, 보관 또는 활용 계획 등을 수립 할 수 있다. 이러한 일련의 과정을 통해 물 부족에 대비하는 노지 발작물 재배 계획에 대한 정보를 제공 할 수 있을 것으로 기대된다.



## REFERENCES

1. Choi, J. Y., and Y. S. Kim, 2006. Development of soil moisture index. *Water for Future* 39(3): 24-28 (in Korean).
2. Choi, Y. H., M. Y. Kim, Y. J. Kim, J. G. Jeon, and M. C. Seo, 2016. Spatial variability of soil moisture and irrigation scheduling for upland farming. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(5): 79-88 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2016.58.5.081.
3. Choi, Y. H., Y. J. Kim, M. Y. Kim, and J. G. Jeon, 2018. On-site evaluation of rainwater harvesting device for securing irrigation water in small fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(1): 31-36 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2018.60.1.031.
4. Eom, K. C., D. S. Oh, K. C. Song, I. S. Jo, and D. W. Seo, 1999. A guide book irrigation for upland crop in Korea. Rural development administration, Suwon (in Korean).
5. Eom, K. C., P. K. Jung, S. H. Choi, W. T. Kim, S. Y. Yoo, S. H. Park, and Y. K. Sonn, 2010. Water requirement of red pepper in different growth stages. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 43(6): 844-847 (in Korean).
6. Han, K. H., 2011. Development of water management techniques for water saving. Annual report, Rural Development Administration, Jeonju (in Korean).
7. Hong, E. M., W. H. Nam, and J. Y. Choi, 2015. Climate change impacts on agricultural drought for major upland crops using soil moisture model focused on the Jeollanam-do. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(3): 65-76 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2015.57.3.065.
8. Hong, M. K., S. H. Lee, J. Y. Choi, S. H. Lee, and S. J. Lee, 2015. Estimation of soil moisture and irrigation requirement of upland using soil moisture model applied WRF meteorological data. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(6): 173-183 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2015.57.6.173.
9. Kim, C. H., and C. K. Koh, 1977(1). A study on the development of a simulation model for predicting soil moisture content and scheduling irrigation (I). *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 19(1): 4279-4295 (in Korean).
10. Kim, C. H., and C. K. Koh, 1977(2). A study on the development of a simulation model for predicting soil moisture content and scheduling irrigation (II). *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 19(2): 4367-4376 (in Korean).
11. Kim, M. J., H. Y. Kang, T. S. Oh, and J. S. Park, 2017. Drought status and outlook for 2017. *Water for Future* 50(9): 56-61 (in Korean).
12. Kim, Y. J., 2015. Research on rainwater catchment and storage in dry-field farming. Annual report, Rural Development Administration, Jeonju (in Korean).
13. Lee, J. Y., 2012. A study of the application of an agricultural drought index considering climate change. Working Paper 2012-01, Korea Environment Institute, Seoul, Korea (in Korean).
14. Lee, T. H., and Y. C. Shin, 2016. Estimation of irrigation water amounts for farm products based on various soil physical properties and crops. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(6): 1-8 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2016.58.6.001.
15. Maeng, S. J., and J. H. Hwang, 2015. Utilization of rainwater tanks for securing agricultural water against drought. *Rural Resources* 57(4): 10-15 (in Korean).
16. Nam, W. H., E. M. Hong, M. W. Jang, and J. Y. Choi, 2014. Projection of consumptive use and irrigation water for major upland crops using soil moisture model under climate change. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(5): 77-87 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2014.56.5.077.
17. Ro, K. K., 1996. Irrigation facilities and water resource development. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 38(1): 17-23 (in Korean).
18. Rural development administration (RDA), 2018. Soil and environmental information system of Korea, <http://soil.rda.go.kr/soil/chart/chart.jsp>.
19. Seo, M. C., S. O. Hur, Y. K. Sonn, H. S. Cho, W. T. Jeon, M. K. Kim, and M. T. Kim, 2012. The development of estimation model (AFKAE0.5) for water balance and soil water content using daily weather data. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(6): 1203-1210 (in Korean).
20. Shin, Y. C., 2017. Analysis of irrigation water amount variability based on crops and soil physical properties using the IWMM model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 59(2): 37-47 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2017.59.2.037.
21. Shin, Y. C., T. H. Lee, S. W. Kim, H. W. Lee, K. S. Choi, J. G. Kim, and G. H. Lee, 2017. Development of agricultural drought assessment approach using SMAP soil moisture footprints. *Journal of the Korean Society of*

- Agricultural Engineers* 59(1): 57-70 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2017.59.1.057.
22. Shin, Y. H., 2018. Soil moisture simulation considering saturated water flow and irrigation requirement estimation in upland fields. Master's thesis, Seoul National University, Seoul (in Korean).
23. Shin, Y. H., J. Y. Choi, S. J. Lee, and S. H. Lee, 2017. Estimation of irrigation requirements for red pepper using soil moisture model with high resolution meteorological data. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 59(5): 31-40 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2017.59.5.031.
24. Suh, Y. J., and K. Y. Lee, 2002. Irrigation requirement estimation in upland. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(1): 25-34 (in Korean).
25. Yoon, H. K., S. O. Chung, and S. D. Suh, 1990. The optimum irrigation level and the project water requirement for upland crops. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 32(1): 72-86 (in Korean).
26. Yu, M. S., Y. H. Cho, T. W. Kim, and H. S. Chea, 2018. Analysis of drought propagation using hydrometeorological data: from meteorological drought to agricultural drought. *Journal of Korea Water Resources Association* 51(3): 195-205 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2018.51.3.195.