



농업가뭄인자 미계측 지역의 농업가뭄 추정을 위한 기상학적 가뭄지수의 활용성 평가

Availability Assessment of Meteorological Drought Index for Agricultural Drought Estimation in Ungauged Area of Agricultural Drought Parameter

박민우* · 김선주*[†] · 권형중** · 김필식* · 강승묵* · 이재혁**

Park, Min Woo · Kim, Sun Joo · Kwon, Hyung Joong · Kim, Phil Shik · Kang, Seung Mook · Lee, Jae Hyuk

Abstract

The object of this study was to assess availability of meteorological drought index for agricultural drought estimation in ungauged area of agricultural drought parameters which are reservoir water level and soil moisture. The IADI (Integrated Agricultural Drought Index) and the SPI (Standard Precipitation Index), which are the criteria for determining agricultural drought and meteorological drought, were calculated and compared. For this purpose, the droughts that occurred in the Baeksan reservoir in Gimje and the Edong reservoir in Suwon were evaluated by using the IADI and SPI drought indices. In addition, we compared and analyzed the depth of drought based on the two drought indices. Evaluations derived from the IADI and SPI showed that the standard precipitation index tended to indicate the occurrence of drought earlier than the integrated agricultural drought index. However, the integrated agricultural drought index was better than the standard precipitation index at evaluating the severity of drought during the period of irrigation. The relationship between these two drought indices seems to be useful for decision making in the case of drought, and it is considered that more studies are needed to examine the applicability of these drought indexes.

Keywords: Meteorological drought, Agricultural drought, Drought index, Occurrence characterization

1. 서론

모든 수문학적 재해 중에서 가뭄은 홍수와 함께 가장 극심한 피해를 야기하는 재해로 인식되고 있으며, 이에 가뭄 재해를 분석하는 많은 방법들이 제안되고 있다. 특히, 우리나라에서의 농업가뭄의 분석은 강우량 등의 기상조건을 분석하는 방법에서부터 저수량과 유역 유출량, 그리고 토양수분 등의 수문학적 조건들로부터 농업가뭄을 분석하는 방법들까지 많은 연구들이 진행되었다. 이러한 연구들의 목적은 특정 지역의 가뭄상황을 정확하게 표현하기 위한 것이었으며, 일반적으로 년 혹은 월단위의 장기 분석을 통해 가뭄발생의 특성을 분석하고 지역별 혹은 시기별 가뭄크기의 비교 역시 가능하도록 연구되고있다 (Jang, 2000; Nam et al., 2013; Hong et

al., 2015; Nam et al., 2012).

기상학적 가뭄은 일반적으로 정상 상태 또는 평균적인 개념과 비교하여 건조한 정도와 건조된 상태의 지속기간을 바탕으로 정의되며, 이러한 기상학적 가뭄을 평가하기 위한 가뭄지표로는 표준강수지수 (SPI, Standard Precipitation Index)가 대표적으로 사용되고 있다. 농업적 가뭄은 강우부족, 실제 증발산량과 잠재증발산량 간의 차이, 토양수분 부족, 저수지 또는 지하수위의 저하 등 농작물 생육 및 수확량에 직접적인 영향을 미치는 특성들을 고려하여 평가되어야 하며, 이에 저수지 가뭄지수 (RDI, Reservoir Drought Index), 토양수분지수 (SMI, Soil Moisture Index)가 개발되었고, 두 가지 가뭄지수를 통합한 통합농업가뭄지수(IADI, Integrated Agricultural Drought Index)가 개발되었다 (Nam et al., 2009).

이러한 가뭄지수들을 이용한 가뭄평가 연구로서, Yoon et al. (1997)은 전국을 47개 소유역으로 분할하고 월강우량 시계열을 작성하여 빈도분석을 실시했으며 강우지속기간별, 재현기간별 가뭄우량을 산정하고 지속기간별 확률가뭄우량을 작성하여 전국적인 가뭄특성을 비교평가한 바 있고, Park et al. (1999)은 저수지 용량 결정과 용수공급능력 평가를 위해 가뭄빈도공식을 제안하고 Runs 이론과 빈도개념을 이용하여 소양강댐 등의 가뭄심도를 추정하였다. Kim et al.

* Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Konkuk University

** Technical Research Center, Yooil Engineering

† Corresponding author

Tel.: +82-2-450-3753 Fax: +82-2-444-0223

E-mail: sunjoo@konkuk.ac.kr

Received: June 20, 2017

Revised: September 18, 2017

Accepted: September 18, 2017

(1996)은 최대 과우일수 발생기간 동안의 도별 최저 저수율 자료를 이용하여 가뭄빈도를 계산하고 가뭄심도를 적용하여 저수율에 의한 수문학적 가뭄지표를 제안하였으며, 이를 기상학적 가뭄지표인 과우일수에 의한 가뭄분석 방법과 비교 분석하여 가뭄심도의 유용성을 증명한 바 있다.

Ahn et al. (1988)은 장기간 관측된 강우기록과 기왕의 한 발피해실적을 기초자료로 하여 답작의 이양지연형 한발과 생육장해형 한발 그리고 이들을 포괄하는 농업한발의 강도, 지속기간, 크기를 계량적으로 나타낼 수 있는 농업한발지수 ADI (Agricultural Drought Index)를 제안하고 지역별, 계절별 한발특성을 구명한 바 있다. Kim et al. (1998) 등은 미국 SCS (Soil Conservation Service)의 SWSI (Surface Water Supply Index)를 응용하여 관개용 저수지의 용수공급능력 평가를 위한 가뭄지수 IRWSI (Irrigation Reservoir Water Supply Index, 1995:1998)를 개발하여 지역별, 저수지별 가뭄특성을 분석하였고 가뭄분석에 있어서 확률분포의 유용성을 보여주었다.

Ahn et al. (1997)은 우리나라 지역별 특성을 반영하기 위해 PDSI와 기후특성인자의 선정공식을 국내 기상자료를 이용하여 수정하고 적용하여 전국적인 가뭄지수도를 작성한 바 있고, Kim, S. M. (1998)은 자료기간 25년 이상의 전국의 54개 관측소의 기상자료를 이용하여 주요 가뭄기간에 대해 시간 간격에 따라 Mckee (1993) 등이 개발한 기상학적 가뭄지수 SPI (Standardized Precipitation Index)와 PDSI를 적용하고 각각의 통계적 특성을 고찰하였다.

Jang (2000)은 답작물의 농업가뭄을 저수량의 부족으로 논, 논, 필요수량을 충족시키지 못하는 것으로 정의하고, 저수지 가용저수량의 순별 시계열 자료를 빈도분석하여 농업가뭄 빈도를 산정하고 지수화하는 모형을 개발하였다. 또한, 순별 가용저수량의 비초과확률 함수로서 농업가뭄지수를 정의하고, 가뭄을 정상상태, 보통 가뭄, 심한 가뭄, 극심한 가뭄의 네 단계로 구분하였다. 이렇듯 가뭄평가 및 예측에 대한 연구는 다양한 방법을 통하여 진행되었고, 모델링 기법과 함께 미래의 가뭄상황을 예측하는 방법도 제시되고 있다 (Lee et al., 2006; Lee, J. Y., 2012; Park et al., 2013).

기상학적 가뭄과 농업 가뭄은 발생시기 및 심도, 기간 등이 다르게 나타나게 되는데, 지금까지의 연구들은 강수량, 농업용 저수지의 저수위 자료, 토양수분 자료 등의 계측자료를 이용하여 가뭄지수를 산정하고 가뭄을 평가 및 예측하고 있다. 하지만 농업 가뭄을 평가하기 위하여 사용되는 저수위나 토양수분 자료는 미계측 지역이 대부분이며 충분한 시계열 자료를 확보하지 못한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 특성을 분석하고 그 결과를 바탕으로 농업가뭄 추정을 위한 기상학적 가뭄지수의 활용성을 평가하였다. 기상학적 가뭄은 전

국적으로 계측되고 있는 강우자료를 바탕으로 산정되므로, 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 발생시기, 심도, 시간 등의 차이를 정량적으로 분석하여 저수율 및 토양수분과 같은 농업가뭄인자 미계측 지역에 대해서도 기상학적 가뭄지수를 이용하여 농업가뭄의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지구

기상학적 가뭄과 농업적 가뭄의 특성을 비교하기 위하여 경기도 화성시에 위치한 이동저수지 농업지구와 전라북도 김제시에 위치한 백산저수지 농업지구를 선정하였다. 이동저수지와 백산저수지 농업지구를 선정한 이유는 농업가뭄지수를 산정하기 위한 저수지 저수위와 토양수분 시계열 자료가 충분히 확보된 지구이며, 우리나라의 중부지방과 남부지방에 대하여 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 특성을 반영하기 위하여 선정하였다.

백산저수지와 이동저수지는 모두 농업 관개용 저수지이며, 각각 한국농어촌공사 동진지사과 평택지사에서 관리하고 있다. 백산저수지의 유역면적은 160 ha, 관개면적은 415 ha 이고 논, 밭이 각각 239 ha, 128 ha를 나타내고 있으며, 이동저수지의 유역면적은 9,300 ha, 관개면적은 2,156 ha 이고 논, 밭이 각각 682 ha, 102 ha를 나타내고 있다. Table 1과 2는 대상지구의 저수지 현황 및 토지이용 현황을 나타내고 있다.

Table 1 Reservoir characteristics

Characteristics		Study sites	
		Beaksan	Edong
Area (ha)	Basin Area	160	9,300
	Irrigation Area	415	2,156
Storage (1,000 m ³)	Total Storage	3,381.3	20,949
	Effective Storage	3,381.3	20,906
	Dead Stoeage	0	43
Levee (m)	Level	13.9	17.5
	Length	760	660

Table 2 Land Use

Land use (ha)	Study sites	
	Beaksan	Edong
Paddy field	239 (57.5 %)	682 (31.6 %)
Upland field	128 (31.0 %)	102 (4.7 %)
Forest	11 (2.7 %)	1,200 (55.6 %)
Etc.	37 (8.8 %)	172 (8.0 %)

2. 가뭄지수 산정 방법

가. 기상학적 가뭄지수

기상학적 가뭄지수를 산정하기 위하여 표준강수지수(SPI)를 사용하였고, 이는 가뭄이 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강우량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 개발되었다. 표준강수지수는 특정한 시간에 대한 강우량의 평균치와 강우량의 차를 표준편차로 나눈 것이며, 여기서 평균치와 표준편차는 과거의 강우량 자료로부터 결정된다. SPI는 사용자의 요구에 따라 다양한 시간축척(3개월, 6개월, 9개월, 12개월)에 대해 계산될 수 있는 장점이 있으며, 짧은 기간의 시간축척은 농업적 관심에 사용될 수 있고, 비교적 장기간의 시간축척은 수자원 공급 관리에 사용될 수 있다. SPI의 산정 결과에 대하여 -1 이하를 가뭄으로 판단하며, -1부터 -1.5까지를 약한가뭄, -1.5부터 -2까지를 심한가뭄, -2 이하를 극심한가뭄으로 분류하고 있다.

나. 저수지 가뭄지수

저수지 가뭄지수(RDI)는 순별 가용저수량의 최소값에 대해서 가뭄발생의 위험과 크기를 빈도개념을 이용하여 나타낸다. 저수지가뭄지수는 순별 최소가용저수량 시계열에 대한 빈도분석을 시행하여 가뭄발생의 위험을 재현기간과 크기로 추정하고 이를 통해 지역의 용수공급능력, 즉 가뭄에 대한 저항능력을 상대적으로 평가할 수 있다. K-S검정(Kolmogorov-Smirnov Test)으로 순별 가용저수량에 대한 최적 확률분포함수를 찾고 순별 가용저수량의 최소값의 비초과확률 $P(X \leq x)$ 를 산정한다. 저수지 가뭄지수의 산정결과에 대하여 -1.5부터 -4.0까지를 약한가뭄으로, -4.0 이하를 심한가뭄으로 분류하고 있다.

$$RDI = \frac{P_{AS} - 50}{12} \quad (1)$$

여기서, P_{AS} 는 순별 최소 가용저수량에 대한 비초과확률(%)이다.

다. 토양수분지수

토양수분지수는 농촌용수 종합정보시스템의 가뭄관리시스템에서 제한적으로 제공되고 있는데, 농작물의 생산량이 감소되는 것을 기준으로 토양수분이 유효수분 백분율의 50% 이하를 농업적 가뭄으로 정의한다. 토양수분지수는 일별 모의가 가능하고 자연상태의 가뭄을 표시하며 단기 가뭄평가에 적합한 것으로 알려져 있으나, 토양수분을 바탕으로 가뭄을 평가하기 때문에 비 식생지역의 가뭄을 반영하기에는 적합하지 않다. 토양수분지수의 산정결과에 대하여 -1부터 -2까지 약한가뭄, -2부터 -3까지 심한가뭄, -3부터 -4까지 극심

한 가뭄, -4 이하를 극한가뭄으로 분류하고 있다.

$$SMI = \left[\frac{5(SM - WP)}{(FC - WP)} - 5 \right] \quad (2)$$

여기서, SM은 토양수분, WP는 위조점, FC는 포장용수량이며 WP 및 FC는 대상지구의 토성에 따라 결정된다.

라. 통합농업가뭄지수

통합농업가뭄지수(IADI)는 논벼 대상의 저수지가뭄지수와 밭작물 대상의 토양수분지수를 통합하여 농업지역의 가뭄 정도를 나타내는 가뭄지수이다. 통합농업가뭄지수는 가뭄의 크기를 서열화 할 수 있다는 점에서 그리고 가뭄대책지원의 우선지역을 선정한다는 점에서 객관적인 방법이다. 저수지가뭄지수와 토양수분지수를 대상의 논, 밭 경작면적의 비율로 가중치를 두는 방법으로 개발되어진 통합농업가뭄지수는 단계구분에 따라 약한가뭄에서 극심한 가뭄까지 -1부터 -5까지의 정수로 표현되고, 가뭄의 표현 단계는 토양수분지수와 동일하게 분류하고 있다.

$$IADI = \frac{a \times RDI + b \times SMI}{100} \quad (3)$$

여기서, a 는 대상지역 농경지 중 논 면적 비율이고, b 는 밭의 면적 비율로서 두 계수의 합은 100%가 된다. RDI와 SMI는 대상 지역의 저수지 가뭄지수와 토양수분지수이다.

III. 결과 및 고찰

1. 가뭄지수 산정

백산저수지 및 이동저수지 농업지구의 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 발생시기 및 가뭄심도 등의 특성을 분석하기 위하여 각 가뭄지수를 산정하였다. 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 발생시기 차이를 분석하기 위하여 각 가뭄지수는 순별로 산정하였다. 기상학적 가뭄지수인 SPI 지수를 산정하기 위하여 2002년부터 2016년까지 대상지구 인근 기상청 기상관측소인 정읍 및 수원 기상관측소의 일별 강우자료를 순별로 합산하여 순별 SPI 지수를 산정하였다.

저수지 가뭄지수인 RDI는 동일한 기간으로 대상 저수지의 일별 저수량 자료를 수집하고 이를 순별 최소치 시계열 자료로 작성하였다. 작성된 36개 순별 시계열 자료에 대하여 평균, 표준편차, 분산도, 왜곡도 등의 확률매개변수를 산정하여 표준정규분포에 대한 K-S 검정을 실시하였다. 그 결과, 백산저수지 농업지구의 최대편차는 0.077에서 0.256, 이동저수지

농업지구는 0.068에서 0.255로 나타나 유의수준 5 %에서의 한계값 0.264를 만족하여 표준정규분포 모형의 순별 비초과 확률로서 RDI 지수를 산정하였다.

토양수분지수인 SMI를 산정하기 위하여 농촌진흥청에서 제공하는 농업기상정보서비스 (www.weather.rda.go.kr) 시스템으로부터 대상지구의 토양수분자료를 획득하였으며, 토양도로부터 위조점과 포장용수량을 결정하였다. 백산저수지

농업지구의 포장용수량 및 위조점은 각각 0.32 0.16, 이동저수지 농업지구는 0.19 0.07이다. 통합농업가뭄지수인 IADI는 대상지구별로 산정된 RDI 및 SMI 결과 값과 눈, 밭 비율을 이용하여 산정하였다. Table 3은 2015년도에 대하여 대상지구별로 SPI, RDI, SMI, IADI 지수의 순별 산정 결과이며, 각 가뭄지수의 정상상태를 표현하는 0 이상의 값은 모두 0으로 표시하였고 가뭄을 나타내는 음의 값을 나타내고 있다.

Table 3 Drought calculation results of each index in 2015

2015 year		Beaksan				Edong			
		SPI	RDI	SMI	IADI	SPI	RDI	SMI	IADI
Jan.	First	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.7	0.0
	Middle	-0.3	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.9	0.0
	Last	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0
Feb.	First	-1.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	-1.8	0.0
	Middle	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0
	Last	-0.9	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.0	0.0	0.0
Mar.	First	-0.2	0.0	-0.3	0.0	-0.8	0.0	0.0	0.0
	Middle	0.0	0.0	-0.2	0.0	-0.9	0.0	0.0	0.0
	Last	-0.5	0.0	-0.2	0.0	-0.6	0.0	0.0	0.0
Apr.	First	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Middle	-0.5	-2.3	0.0	-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	Last	-0.4	-2.1	-0.1	-1.4	-0.7	0.0	0.0	0.0
May	First	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.0	-0.8	0.0
	Middle	-0.5	-1.6	0.0	-0.9	-0.9	0.0	-4.0	-0.7
	Last	-0.6	-2.8	-1.5	-2.3	-1.4	-1.1	-2.9	-1.7
Jun.	First	-0.6	0.0	-4.5	-0.4	-0.6	0.0	-2.8	-0.7
	Middle	-0.2	0.0	-3.2	-0.3	-0.1	0.0	-1.7	-0.1
	Last	-0.6	0.0	-2.2	0.0	-0.6	0.0	-0.1	0.0
Jul.	First	-1.3	0.0	-1.8	0.0	-2.5	-1.9	-2.0	-1.9
	Middle	-0.4	0.0	-0.9	0.0	-1.3	-3.5	-4.0	-3.6
	Last	-0.9	0.0	-1.0	0.0	-0.4	-3.8	-3.4	-3.7
Aug.	First	-1.5	-2.6	-4.1	-3.1	0.0	-3.1	-2.5	-2.9
	Middle	-0.4	-3.9	-4.5	-4.1	-0.2	-1.6	0.0	-0.9
	Last	-1.0	-3.8	-1.7	-3.1	-1.1	-2.1	0.0	-1.3
Sep.	First	-0.1	-2.7	-3.1	-2.8	-1.4	-3.2	-0.1	-2.1
	Middle	-0.5	-3.2	-4.0	-3.5	-0.9	-3.4	-1.3	-2.7
	Last	-0.6	-3.4	-4.5	-3.8	-0.8	-3.4	-2.3	-3.0
Oct.	First	0.0	-3.1	-1.7	-2.6	0.0	-3.3	-1.3	-2.6
	Middle	-0.3	0.0	-2.1	0.0	-1.0	-3.1	-1.2	-2.5
	Last	0.0	0.0	-2.0	0.0	-0.5	-2.9	-1.9	-2.6
Nov.	First	0.0	0.0	-0.9	0.0	0.0	-3.1	-1.2	-2.5
	Middle	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.2	-0.9	-2.4
	Last	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.2	-0.8	-2.4
Dec.	First	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.1	-0.5	-2.3
	Middle	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-2.6	-0.2	-1.8
	Last	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	-2.6	0.0	-1.5

SPI, RDI, SMI, IADI 지수를 2015년 1월부터 2016년 12월 까지 순별로 산정한 결과, 백산저수지의 경우 SPI 지수는 2015년 8월 상순에 -1.5로 가장 심한 가뭄을 나타내고 있으며, RDI는 2015년 8월 중순에 -3.9, SMI는 2015년도 5월 상순, 8월 중순, 9월 하순, 2016년도 8월 상순부터 9월 상순까지 -4.5, IADI는 2015년도 8월 중순에 -4.1로 가장 극심한 가뭄을 표현하고 있다. 이동저수지의 경우 경우 SPI 지수는 2015년 7월 상순에 -2.5, RDI는 2016년 8월 하순에 -4.1, SMI는 2016년도 4월에 -4.5, IADI는 2015년도 7월 하순에 -3.7로 가장 극심한 가뭄을 표현하고 있다.

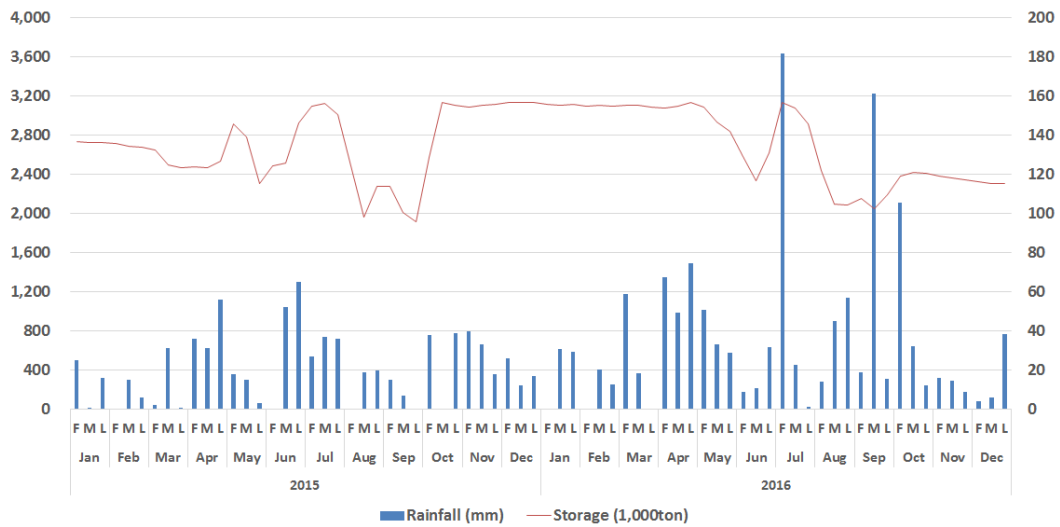
Table 3과 같이 각각의 가뭄지수는 가뭄이 발생하고 해결 되는 시기와 가뭄의 심도가 순별로 상이한 것으로 나타나는

데, 이는 기상학적 가뭄과 농업가뭄을 평가하는 인자 즉, 강우량, 저수량, 토양수분의 부족 및 회복 기간이 다르기 때문이다. 강우량의 증가 혹은 부족에 따라 저수량과 토양수분의 증가 혹은 부족 시기의 차이가 발생하는 것은 자명한 사실이며, 기상학적 가뭄지수와 농업가뭄 지수의 거동 특성을 분석함으로써 농업가뭄 인자의 미세측 지구에서 기상학적 가뭄지수를 이용하여 농업가뭄을 추정하고자 한다.

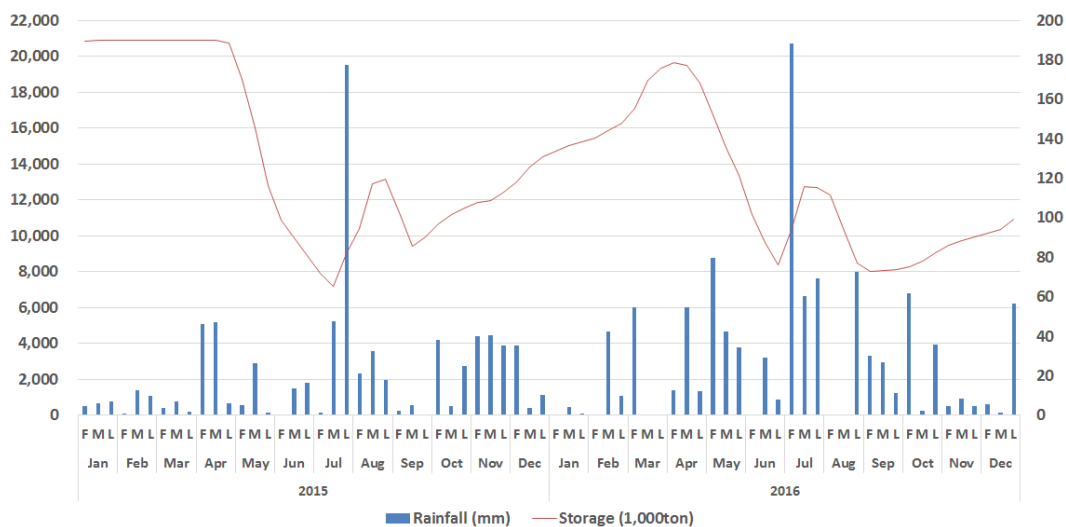
2. 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 거동 분석

가. 가뭄인자의 거동 분석

기상학적 가뭄지수로부터 농업가뭄을 추정하기 위하여 각각의 가뭄에 영향을 미치는 가뭄인자의 시기별 거동 특성을



(a) Beaksan



(b) Edong

Fig. 1 Comparison of rainfall and storage

고찰하였다. 2015년부터 2016년까지의 관개기인 4월부터 9월까지의 순별 강우량과 저수량의 변화를 살펴본 결과, 백산 저수지의 경우에는 2015년 4월 하순에 56 mm, 6월 하순에 65 mm의 강우량에 대하여 저수량은 각각 10일 후인 5월 상순에 약 290만톤, 7월 상순에 약 300만톤으로 저수량이 증가하였다. 또한, 이동저수지의 경우에는 2015년 7월 하순에 177 mm, 2016년 7월 상순에 188 mm의 강우량에 대하여 저수량은 각각 10일에서 20일 후에 13.1백만톤과 12.7백만톤으로 침투 저수량을 나타내었다 (Fig. 1).

또한, 백산저수지 무강우 시기인 2015년 8월 상순과 9월 하순, 이동저수지의 무강우 시기인 2015년 7월 초순과 2016

년 8월에 대하여 저수량은 약 10일에서 20일 후에 최저 저수량을 나타내고 있다. 기상학적 가뭄에 영향을 미치는 강우량과 농업가뭄에 영향을 미치는 저수량의 부족 및 증가 추세를 분석한 결과, 최대 강우량과 무강우 시기에 대하여 약 10일에서 20일 후에 저수량이 최대치 및 최저치를 기록하는 경향을 나타내었다. 강우량과 저수량은 기상학적 가뭄과 농업가뭄에 영향을 미치는 인자로서, 관개기 농업용 저수지의 저수량은 해당 관개지역의 작부시기별 공급량에 따라 증가 및 감소되지만, 강우량과 저수량의 최대 및 최저치의 거동 경향을 이용하여 기상학적 가뭄으로부터 농업가뭄의 추정이 가능할 것으로 사료된다.

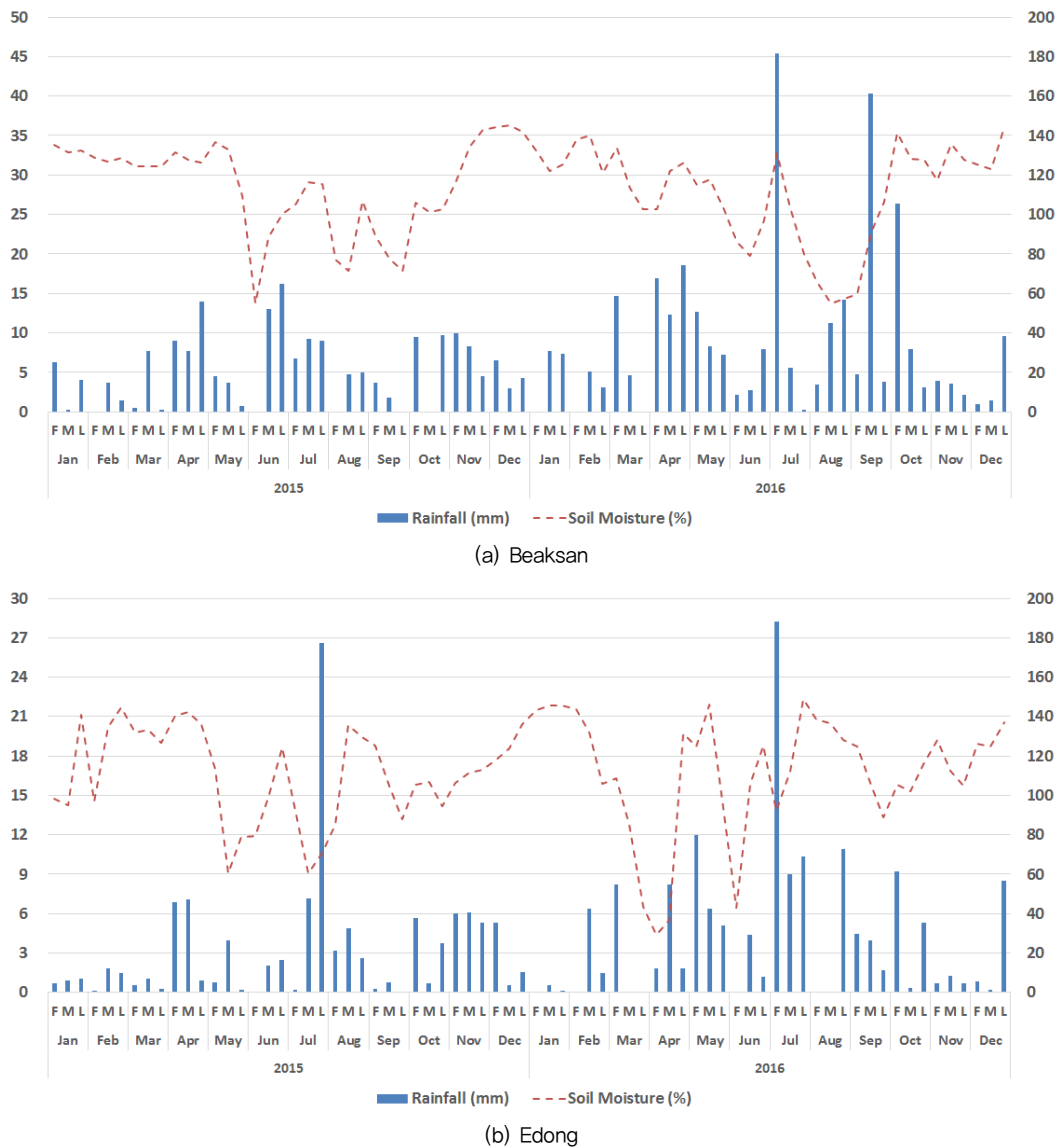


Fig. 2 Comparison of rainfall and soil moisture

농업가뭄지수인 SMI에 영향을 미치는 토양수분 인자의 경우에는 강우량에 따라서 증가 혹은 감소하는 추세가 저수량 인자보다 일정한 경향을 나타내고 있다. 백산저수지의 경우에는 2016년 7월 상순을 제외하고 강우량의 증가 및 감소에 따라 약 10일 후에 토양수분의 증가 및 감소 추세를 보이고 있다. 이동저수지의 경우에는 대부분의 시기에서 강우량과 토양수분의 거동이 약 10일에서 20일 간격을 유지하면서 증가 및 감소 추세가 동일하게 나타나고 있다 (Fig. 2).

대상지구의 토양수분은 관개지역의 인근이 아닌 발지역에서 관측이 이루어지고 있어 약 65% 이상이 논관개 지역인 대상지구의 가뭄을 대표하는 가뭄인자는 아니다. 하지만, 통합 농업가뭄지수는 논관개 및 발관개 지역의 면적 비율을 사용

하여 산정하게 되므로, 토양수분 미계측 지역에서는 강수량과 토양수분의 거동 특성을 이용하여 농업가뭄의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

나. 가뭄지수의 거동 분석

가뭄에 영향을 미치는 인자 즉, 강우량, 저수량, 토양수분의 거동 특성 분석결과를 바탕으로, 기상학적 가뭄지수인 SPI와 농업가뭄지수인 IADI의 변화를 비교하였다. 관계기인 4월부터 9월까지의 가뭄지수 산정 결과를 분석한 결과, 백산저수지의 경우 SPI는 2015년 8월 초순 무강우의 영향으로 -1.5를 나타내어 가장 심한가뭄을 나타내고 있는 반면, IADI는 그보다 10일 후인 8월 중순에 -4.1로 가장 낮은 값을 보이고 있

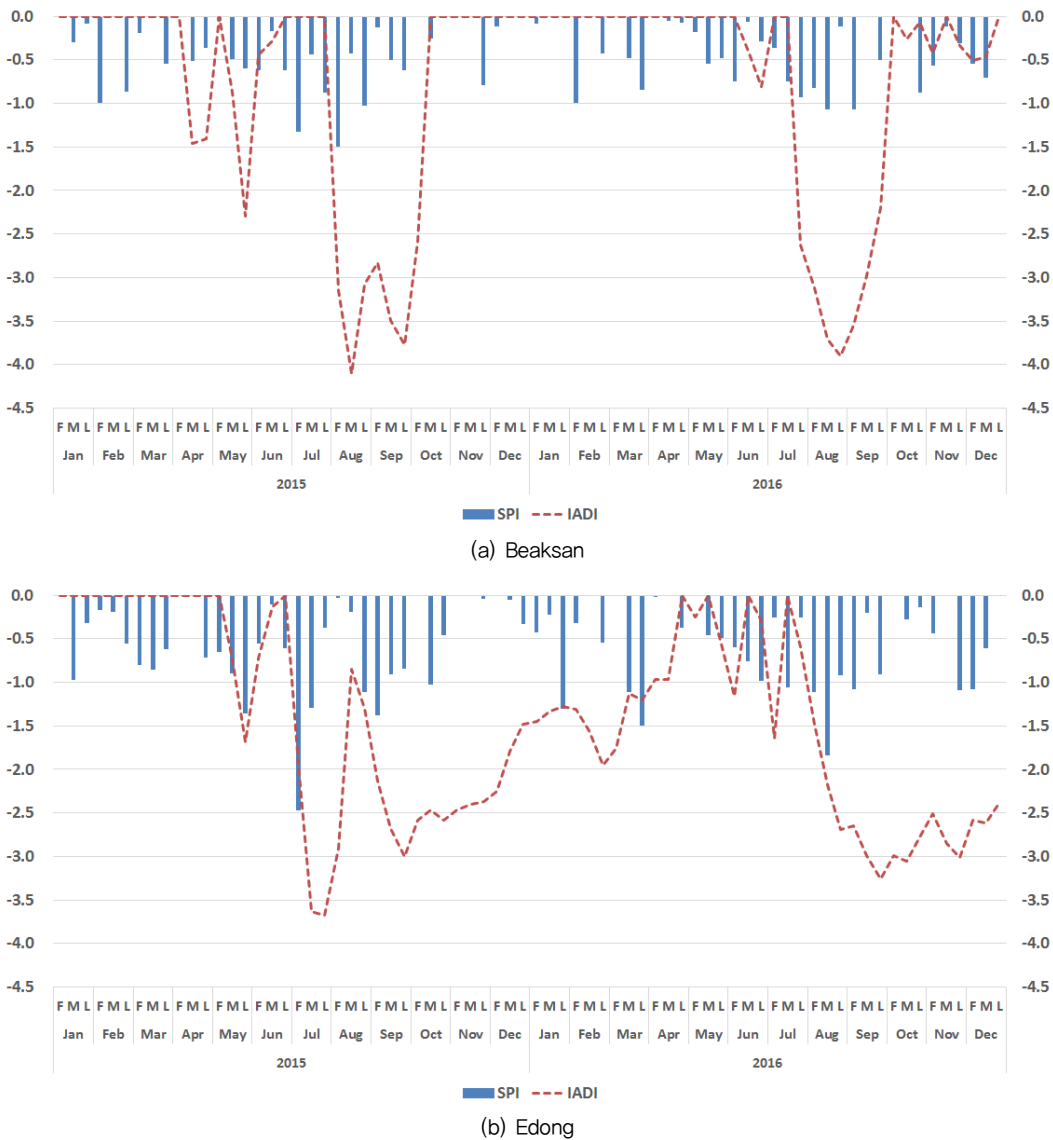


Fig. 3 Behavior Characteristics of SPI and IADI

다. 이동저수지의 경우에는 2015년 7월 상순에 약 1 mm의 강우가 발생하여 SPI는 -2.5로 산정된 반면, IADI는 그보다 20일 후인 7월 하순에 -3.7을 나타내어 가장 극심한 가뭄을 나타내고 있다 (Fig. 3).

기상학적 가뭄과 농업가뭄에 영향을 미치는 인자 및 가뭄지수의 거동은 대부분의 기간동안 2개의 대상지구 모두에서 가뭄의 발생 시기는 농업가뭄이 기상학적 가뭄보다 약 10일에서 20일 후에 발생하였다. 또한, 가뭄의 심도는 1.5배에서 2.5배 크게 표현되고 있는데, 이는 기상학적 가뭄지수인 SPI는 -2를 가장 극심한 가뭄으로 분류하는 반면 통합농업가뭄지수인 IADI는 -4를 극심한 가뭄으로 분류하기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, 관개기에서 기상학적 가뭄이 발생한 후 10일에서 20일 이후에 약 2배의 심도를 가진 농업가뭄이 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 이에 SPI와 IADI의 산정 결과를 관개기에 대한 상관분석을 실시하여 기상학적 가뭄으로부터 추정되는 농업가뭄의 발생시기 및 심도를 결정하였다. 농업가뭄을 추정하기 위하여 2015년도부터 2016년도에 대하여 관개기인 4월부터 9월까지의 SPI와 IADI 산정

값의 상관분석을 실시하였다. 각각의 기상인자 및 가뭄지수의 거동 특성 분석결과에 근거하여, 기상학적 가뭄지수 (SPI)의 가뭄 발생시기를 10일 및 20일 후로 이동시키고 가뭄 심도는 2배 및 2.5배를 증가시켜 통합농업가뭄지수 (IADI)와 비교하였다.

기상학적 가뭄과 농업가뭄의 상관분석을 실시한 결과, 각 가뭄지수에 대한 초기 산정값의 상관도 (R^2)는 0.08로 상관성이 매우 낮게 나타났으며, 이는 SPI와 IDAI의 산정 범위가 다르기 때문으로 사료된다. 따라서, 기상학적 가뭄지수의 심도를 2배 증가시키고 가뭄 발생시기를 10일 후로 이동시킨 결과 상관도는 0.26으로 다소 상승되었고, 가뭄심도 2배 및 발생시기 20일 후로 이동, 가뭄심도 2.5배 및 발생시기 20일 후로 이동시킨 결과 상관도가 각각 0.39와 0.55로 상승되었다.

상관도 0.55는 높은 상관관계를 나타내는 수치는 아니지만 0.5 이상의 상관관계를 보이고 있어, SPI 산정 결과에서 가뭄심도는 2.5배, 가뭄 발생시기는 20일 이후로 이동시킴으로써 농업가뭄을 추정하고자 한다. 즉, 기상학적 가뭄이 발생한 시점으로부터 약 20일 이후에 2.5배 정도의 가뭄심도를 가진 농업가뭄이 발생할 것으로 추정할 수 있다.

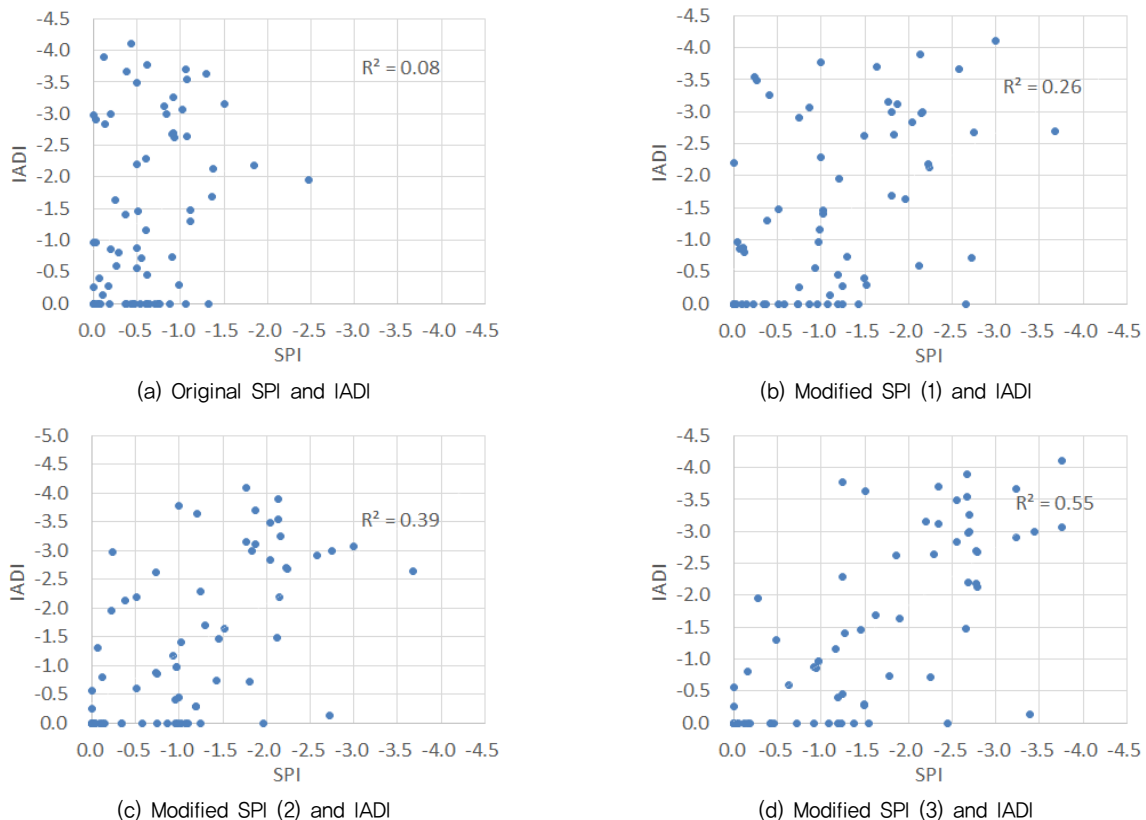


Fig. 4 Correlation analysis of SPI and IADI

(Modified SPI (1): 2 times and 10 days delay, Modified SPI (2): 2 times and 20 days delay, Modified SPI (3): 2.5 times and 20 days delay)

3. 기상학적 가뭄지수를 이용한 농업가뭄 추정

기상학적 가뭄지수와 농업가뭄지수의 상관분석 결과를 이용하여 기상학적 가뭄으로부터 농업가뭄을 추정하고 그 결과를 검증하였다. 우리나라 관개지역에 대한 범용적인 적용 가능성을 검증하기 위하여 내현저수지(충남 보령시), 풍전저수지(충남 서산시), 덕동저수지(경북 경주시), 덕림저수지(전북 고창군) 관개지역을 선정하였다.

검증 대상지역에 대하여 1987년부터 2016년까지의 기상청 기상관측소의 강우자료를 수집하고 순별로 정리하여 SPI 가뭄지수를 산정하였다. 순별 SPI 산정값으로부터 가뭄발생 시기를 20일 이후로 이동시키고 가뭄심도를 2.5배 증가시켜 4개 대상지역의 2016년도 농업가뭄을 추정하다. 추정된 농업가뭄지수를 검증하기에는 레퍼런스가 매우 제한적인 실정이며, 해당 기간의 뉴스 매체 보도자료를 이용하여 추정된 농업가뭄과 실제 가뭄상황을 비교하였다.

내현저수지 및 풍전저수지는 2016년 8월 중순과 하순에 저수율이 50% 이하로 내려간 저수지로서, 농업가뭄지수가 -3에서 -4의 값으로 추정되고 있어 해당 시기의 가뭄상황을 표현하고 있다 (Fig. 4). 덕동저수지의 경우에는 2016년 8월

초순 저수율이 평년대비 20% 수준을 나타내었는데, 추정된 농업가뭄지수는 동일한 시기에 -3 이하로 산정되었고, 덕림저수지는 8월 중순과 하순에 저수율이 50% 이하로 내려갔으며 이때 -4 이하의 극심한 가뭄으로 표현하고 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 농업가뭄을 평가하기 위한 저수량이나 토양수분자료 등의 시계열 자료가 부족할 경우, 상대적으로 양질의 시계열 자료인 강우자료로서 산정되는 기상학적 가뭄으로부터 농업가뭄의 추정이 가능할 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 특성을 분석하고 그 결과를 바탕으로 농업가뭄 추정을 위한 기상학적 가뭄지수의 활용성을 평가하였다. 전국적으로 계속되고 있는 양질의 강우자료를 바탕으로 산정된 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 발생시기, 심도, 시간 등의 차이를 정량적으로 분석하여, 저수량이나 토양수분과 같은 농업가뭄인자 미계측 지역에서 농업가뭄을 추정하기 위한 기상학적 가뭄지수의 활용성을 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

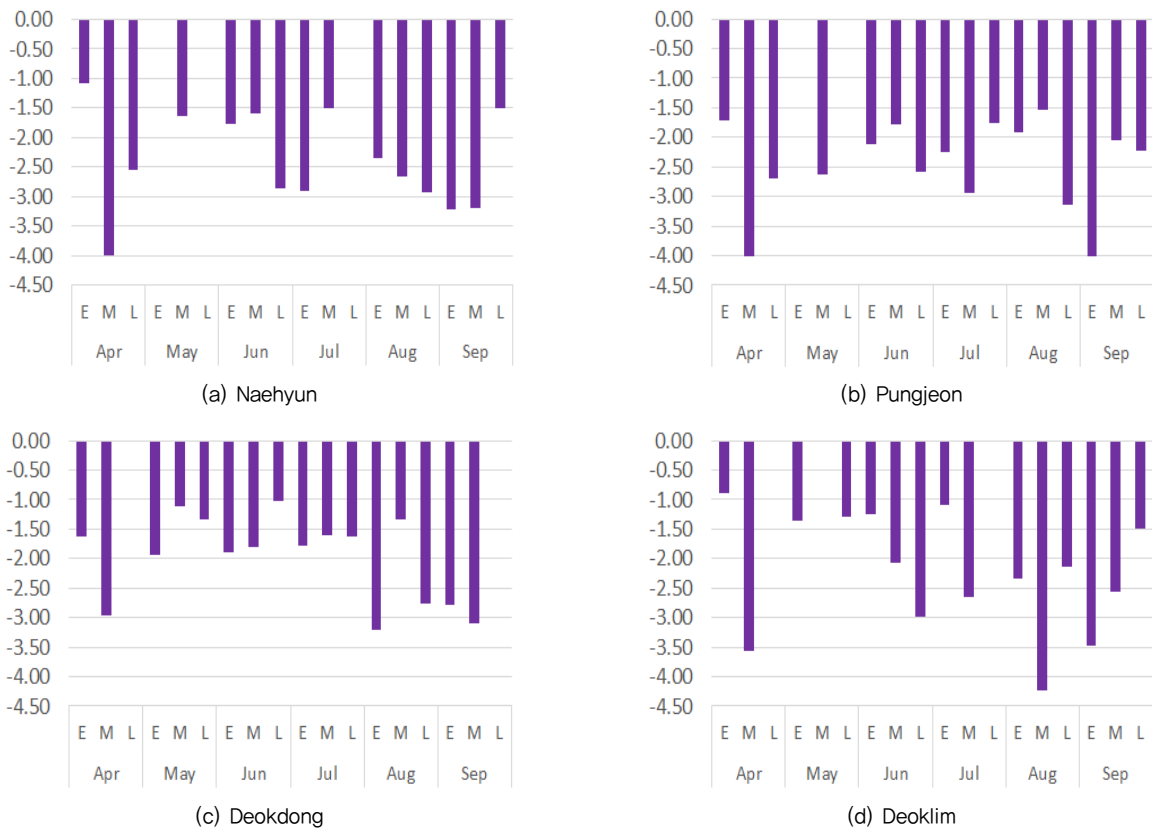


Fig. 5 Evaluated agricultural drought in 2016 year based on modified SPI

- (1) 백산저수지와 이동저수지 농업지구를 대상으로 2002년부터 2016년까지 인근 기상관측소의 강우자료를 이용하여 기상학적 가뭄지수인 SPI를 산정하고, 2015년과 2016년도에 대하여 통합농업가뭄지수와와의 거동 특성을 분석하였다.
- (2) 가뭄에 영향을 미치는 인자 즉, 강우량, 저수량, 토양수분 자료의 변화를 분석한 결과, 최대 강우량 및 무강우가 발생한 시기에 대하여 약 10일에서 20일 후에 저수량이 최대치 및 최저치를 기록하였고, 토양수분 역시 강우량과 동일한 추세로 증가 및 감소 추세를 나타내었다.
- (3) 기상학적 가뭄지수와 통합농업가뭄지수의 거동을 분석한 결과, 농업가뭄의 발생시기는 기상학적 가뭄보다 약 10일에서 20일 이후에 발생되었고, 그 심도는 약 1.5배에서 2.5배의 크기로 표현되었다.
- (4) 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 거동 특성을 정량적으로 산정하기 위하여 기상학적 가뭄지수의 가뭄 발생시기를 10일 및 20일 후로 이동시키고 가뭄 심도는 2배 및 2.5배를 증가시켜 통합농업가뭄지수와 상관관계를 분석한 결과, 발생시기는 20일 이후, 심도는 2.5배를 증가시킨 경우 상관도가 0.55로 가장 높게 산정되었다.
- (5) 정량적인 상관관계를 바탕으로 전국적으로 4개의 대상지구에 대하여 기상학적 가뭄지수로부터 농업가뭄을 추정 및 검증한 결과, 대부분의 저수지에서 2016년 8월에 20~50%의 저수율을 기록한 극심한 가뭄상황을 모두 표현하고 있다.

본 연구에서는 토양수분자료 수집의 한계로 인하여 2개의 대상지구에 대하여 2015년과 2016년도에 국한하여 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 상관관계를 분석하였으나 향후, 농업가뭄지수를 산정하기 위한 시계열 자료가 확보되고 다양한 농업지구에 대한 상관성이 검증된다면 농업가뭄인자 미계측 지역에 대하여 농업가뭄의 추정을 위한 기상학적 가뭄지수의 활용성이 제고될 것이다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (과제번호: 313004-4).

REFERENCES

1. Ahn, S. R., 2009. Development of Assessment Technique for Hydrological Drought of Agricultural Reservoirs and Their Water Supply Capacity : For Geum River Basin, Master's Thesis, Graduate School, Konkuk University.
2. 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.
3. Jang, M. W., 2000. A Study on Agricultural Drought Analysis for Irrigated Paddy Blocks from a Reservoir, Master's Thesis, Graduate School, Seoul National University.
4. Kim, H. Y., Y. J. Suh, and S. H. Oh, 1996. Methodology for Drought Evaluation in Koera, *The Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal* 3(1): 20-31.
5. Kim, S. J., K. Y. Lee, and D. W. Shin, 1998. Statistical Analysis of Irrigation Reservoir Water Supply Index, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4): 58-66.
6. Lee, D. R., J. W. Moon, E. H. Lee, and J. H. Ahn, 2006. Development of Water Supply Capacity Index to Monitor Droughts in a Reservoir, *Journal of Korea Water Resources Association* 39(3): 199-214.
7. Nam, W. H., J. Y. Choi, S. H. Yoo, and M. W. Jang, 2012. A decision support system for agricultural drought management using risk assessment, *Paddy and Water Environment* 10(3): 197-207.
8. Nam, W. H., J. Y. Choi, M. W. Jang, and E. M. Hong, 2013. Agricultural Drought Risk Assessment using Reservoir Drought Index, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(3): 41-49.
9. Park, H. K., 2010. Estimation of Soil Moisture and Drought Index Using Satellite Data and CART Algorithm, Master's Thesis, Graduate School, Kyungpook National University.
10. Yoon, Y. N., M. K. Park, and D. R. Lee, 1999. An Application of Drought Frequency Formula for the Determination of Reservoir Capacity and the Evaluation of Water Supply Capability, *Korea Water Resources Association Convention*.