

## 가뭄심도 분류기준의 개선방안 제시 Development on Classification Standard of Drought Severity

권진주\* / 안재현\*\* / 김태웅\*\*\*

Kwon, Jinjoo / Ahn, Jaehyun / Kim, Taewoong

### Abstract

As drought is phenomenon of nature with unavailability and repeated characteristic, it is necessary to plan to respond to it in advance and construct drought management system to minimize its damage. This study suggested standard for classification of drought, which is appropriate for our nation to respond to drought by assessing drought severity in the regions for this study. For data collection, 61 locations were selected - the locations keep precipitation data over 30 years of observation. And data for monthly precipitation for 37 years from 1973 were used. Based on this, this study classified unified drought interval into four levels using drought situation phases which are used in government. For standard for classification of drought severity fit to our nation, status of main drought was referred and these are classified based on accumulated probability of drought - 98~100% Exceptional Drought, 94~98% Extreme Drought, 90~94% Severe Drought, 86~90% Moderate Drought. Drought index (SPI, PDSI) was made in descending order and quantitative value of drought index fit to standard of classification for drought severity was calculated.

To compare classification results of drought severity of SPI and PDSI with actual drought, comparison by year and month unit were analyzed. As a result, in comparison by year and comparison by month unit of SPI, drought index of each location was mostly identical each other between actual records and analyzed value. But in comparison by month unit of PDSI for same period, actual records did not correspond to analyzed values. This means that further study about mutual supplement for these indexes is necessary.

**Keywords** : Drought, Drought Index, Drought Severity, SPI, PDSI

### 요 지

가뭄은 불가피성과 반복성을 가진 자연 현상이므로 가뭄 발생 전 사전대비계획과 가뭄발생시 가뭄관리체계 구축을 통해 그 피해를 최소화해야 한다. 본 연구에서는 대상지역의 가뭄심도를 평가하여 가뭄상황에 대처하고자 우리나라에 적합한 가뭄 분류기준을 제시하였다. 관측년수 30년 이상의 강우자료를 확보한 61개 지점에 대해 1973년부터 37년 기간의 월강우량 자료를 사용하였고, 현재 국가에서 사용하고 있는 가뭄상황단계를 그대로 적용하여 가뭄 구간을 총 4등급으로 구분하였다. 기존의 주요 가뭄발생현황을 참고하여 우리나라에 맞는 가뭄심도의 분류기준을 가뭄 발생의 누적확률 98~100%는 예외적인 가뭄, 94-98%는 극심 가뭄, 90~94%는 심한 가뭄, 86~90%는 보통 가뭄으로 구분하였다. 각 지점의 가뭄지수(SPI, PDSI)를 내림차순으로 작성하여 가뭄심도 분류기준에 맞는 가뭄지수의 정량적 값을 산정하였다.

\*서경대학교 대학원 도시환경시스템공학과 석사과정 (e-mail: allwlswn@nate.com)

Graduate Student, Dept. Urban Environment System Eng., Seokeong Univ., Seokyeong-ro, Sungbuk-gu, Seoul 136-704, Korea

\*\*교신저자, 서경대학교 이공대학 토목건축공학과 부교수 (e-mail: wrr@skuniv.ac.kr, Tel: 02-940-7770)

Corresponding Author, Associate Prof, Department of Civil & Architectural Eng., Seokeong Univ., Seokyeong-ro, Sungbuk-gu, Seoul 136-704 Korea

\*\*\*한양대학교 공학대학 건설환경공학과 부교수 (e-mail: twkim72@hanyang.ac.kr)

Associate Prof, Dept. of Civil and Environmental Eng., Hanyang Univ., Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do 426-791, Korea

SPI와 PDSI의 가뭄심도 분류 결과와 실제 가뭄을 비교하기 위해 년 단위 비교와 월 단위 비교를 분석한 결과, 년 단위 비교와 SPI의 월 단위 비교는 각 지역의 가뭄지수 평가가 대부분 일치하게 나타났으나 같은 기간의 PDSI의 월 단위 비교는 일치하지 않는 기간도 나타났다. 이는 이들 지수의 상호보완에 대한 추후 연구의 필요성을 보여주는 것으로 판단되었다.

**핵심용어** : 홍수 취약성 평가, Fuzzy TOPSIS, 그룹의사결정, 순위상관분석

## 1. 서 론

우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화에 의해 홍수 및 이상가뭄이 빈발하고 있다. 특히 우리나라는 1990년 이후 남부지역을 중심으로 겨울에서 봄철까지의 만성적인 가뭄 횟수가 증가하고 여름철에는 태풍과 집중호우가 빈번하게 발생함으로써, 가뭄 및 홍수로 인한 피해가 늘어나고 있는 실정이다(Korea Water Resources Corporation, 2002). 가뭄의 진행 상태 혹은 심도를 객관적인 기준으로 표현할 때 활용되는 것이 가뭄지수이며 이는 가뭄을 객관적인 기준으로 평가함으로써 기본 자료보다 좀 더 유용한 평가를 할 수 있다.

가뭄지수에 관련한 연구사례로 Kim et al. (1995)은 미국의 서부지역에서 개발된 SWSI를 우리나라 지형과 수문학적 특성에 맞게 바꾸어 강수량과 저수량을 고려하는 용수공급지수를 제시하였다. Yoon et al. (1997)은 Palmer 가뭄지수(PDSI, Palmer Drought Severity Index)를 활용하여 우리나라에 맞는 기후특성인자 K 및 가뭄지수를 구하는 공식을 개발하였고 지역적인 시간별 가뭄지수를 분석하고 우리나라의 대표적인 가뭄상상을 대상으로 지속기간에 따른 전국 가뭄지수도를 작성함으로써 가뭄의 공간적 특성을 연구한 바 있다. Ryu et al. (2002)는 PDSI (Palmer Drought Severity Index), SPI (Standardized Precipitation Index), SWSI (Surface Water Supply Index) 등과 같은 여러 가뭄지수를 낙동강 유역에 대하여 산정하여 적용한 결과, 각각의 지수들은 다른 가뭄형태를 재현하므로 각 가뭄지수의 특성을 파악하고 가뭄을 평가해야 한다고 제시하였다. Lim et al. (2001)은 낙동강 유역의 가뭄을 평가하고자 강우지표와 PDSI를 적용한 결과, 6개월 미만의 강우지표와 유출지표로 짧은 기간의 가뭄상태를 재현할 수 있고, 장기간의 가뭄상태에는 9개월 이상의 강우지표 및 PDSI가 적당하다고 제시하였다. 또한, 여러 가지 가뭄을 표현하고 정량화 할 수 있는 보다 정확한 가뭄지수의 산정이 필요하다고 평가하였다. Lee et al. (2001)은 가뭄피해 및 전국 기상 수문 현황과 함께 가뭄의 심도분석을 통하여 2001년 가뭄을 기상학적으로 5~100년 빈도, 농업가

뭄으로 2~5년 빈도, 수문학적으로 10~50년 빈도로 평가하였다. Lee et al. (2006)은 가뭄기간에 저수지의 용수공급능력을 모니터링 할 수 있는 새로운 가뭄지수인 물공급능력지수(WSCI, Water Supply Capacity Index)를 개발하여 우리나라의 10개 다목적 댐에 적용한 결과를 SPI, PDSI, SWSI와 비교하고 그 적용성을 평가하였다. Lee et al. (2006)은 PDSI, SPI, MSWSI (Modified SWSI) 등의 가뭄지수를 월 단위로 산정하여 과거 가뭄을 분석하였다. Kim and Yoo (2006)은 우리나라 59개 지점에 대해 3개월 SPI를 산정하고 그 결과를 이용해 경험적 직교함수를 유도함으로써 공간적 특성을 분석하였다. Kim et al. (2009)은 기상학적 가뭄지수인 SPI, PDSI, EDI (Effective Drought Index)를 산정하여 비교분석을 수행하였다. 세 가뭄지수의 가뭄 심도는 각기 달랐으나 변화경향은 대부분 일치하는 것으로 분석하였으며, 각각의 가뭄지수를 조합함으로써 명확하게 기상가뭄을 판단하고 가뭄전망의 기초자료로 활용할 수 있음을 기대하였다. 농업 가뭄 평가와 관련하여 Kwon et al. (2007)은 보완된 SWSI 가뭄지수를 과거 농업가뭄에 적용하였다. 이를 PDSI, SWSI와 비교한 결과, 하나의 가뭄지수로 전국 혹은 지역적인 가뭄평가는 불가능하며 논 관개지역의 가뭄평가에는 저수지 유입량 및 방류량 자료가 필수적으로 사용되어야 한다고 분석하였다. Ahn et al. (2009)은 농업용 저수지의 수문학적 가뭄 평가를 위해 SWSI (Surface Water Supply Index)를 보완한 ASWSI (Agricultural Surface Water Supply Index)를 산정하고 금강유역의 농업가뭄 분포도를 작성하여 그 적용성을 검토하였다.

외국의 사례로는 McKee et al. (1993)은 강수량 부족이 물 공급원에 영향을 주어 가뭄이 발생한다는 점에 착안하여 강수량에 대한 확률분포를 기반으로 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)를 개발하였다. SPI는 가뭄의 지속기간을 고려하고 다양한 시간구간을 설정하여 각 지속기간에 대한 강수부족량을 산정할 수 있는 지수이며, 단기-중기-장기 가뭄에 대해 분석할 수 있어 가뭄 모니터링에 널리 이용되고 있다. Palmer (1965)는 가뭄을 “장기간 이상수분부족”으로 정의하고 이상습윤부

죽은 “정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족기간”으로 정의하였으며, 기후적으로 상이한 미국 중부 Kansas지역과 중서부 Iowa의 두 지역을 선정하여 시공간적으로 비교가 가능한 Palmer의 가뭄지수인 PDSI를 개발하였다. Edwards and McKee (1997)은 SPI의 정의와 산정방법을 기술하였고 미국 Kansas의 McPherson지방을 대상으로 1911~1995년의 3, 12, 48개월 SPI를 계산하였다. Guttma (1998)은 스펙트럼 분석을 이용하여 미국 전역을 대상으로 PDSI와 SPI를 비교하였다. Shafer and Dezman (1982)은 PDSI의 광범위한 토양수분조건을 지형적으로 변화가 심한 산악지역의 용설에 적용하는데 따른 한계를 보완하기 위해서 강수, 적설, 하천유출, 저수지 저수량을 이용한 SWSI (Surface Water Supply Index)를 개발하였다. Tsakiris et al. (2006)은 농업적 가뭄을 평가할 목적으로 RDI (Reconnaissance Drought Index)를 개발하여 농업적 가뭄에 대한 지역적 평가를 수행한 후 그 결과를 SPI와 비교하였으며 단순히 강수량을 이용하여 산정되는 SPI보다 물수지 상의 부족량을 보다 잘 표현할 수 있다고 판단하였다.

현재 전 세계적으로 다양한 가뭄 지수들이 개발되면서, 그 가뭄지수들이 가지고 있는 가뭄 분류기준의 등급 또한 다양해졌으며 이에 따른 가뭄 등급의 혼란이 발생하고 있다. 이러한 등급의 다양성을 해결하기 위해 Steinmann (2003)은 가뭄지수별 다양한 분류를 동일한 등급으로 산정하기 위한 빈도의 통일화를 제시한 바 있으며, 이는 특정구간에서 발생하는 빈도가 동일하게 발생하도록 한계를 조정하여 가뭄등급의 구간을 설정하는 방식이다.

본 연구는 우리나라 주요 가뭄발생현황을 참고하여 가뭄심도의 분류기준을 작성하고 대표적인 가뭄지수(SPI,

PDSI)의 등급을 기준에 맞게 분류하였다. 이는 가뭄 모니터링 시스템의 사용자들이 등급의 다양함으로 인한 혼란을 겪지 않도록 하기 위함이며, 낙동강유역을 대상으로 분류 결과와 실제 가뭄의 비교를 통해 각 가뭄지수별 등급 통일화의 적용성을 판단하고자 한다.

## 2. 분석자료의 구축

### 2.1 대상지 선정 및 우리나라 가뭄의 발생빈도

본 연구에서는 강우자료의 확보가 용이하고 과거로부터 관측 자료의 신뢰성을 확보할 수 있는 기상청의 관측 자료를 활용하였다. 따라서 기상청의 총 76개의 강우관측소 중 관측연수 30년 이상의 관측 자료를 확보한 61개 지점에 대한 월강우 자료를 수집하였다.

또한, 기상학적 가뭄지수인 PDSI, SPI의 가뭄심도를 분류하기 위해 National Disaster Management Institute (1998)와 Korea Water Resources Corporation (2005)에서 정리하여 제시한 가뭄발생현황(Tables 1 and 2)을 참고하였다. 이때 제시한 주요 가뭄은 총 7회이나, 1960년 이전의 자료는 자료의 신뢰성이 많이 떨어지기 때문에 1960년 이후부터의 자료를 활용하였다. 이를 통해 1960~2000년까지의 주요가뭄은 1967~1968년, 1973년, 1976~1978년, 1981~1982년, 1994~1995년으로 총 5회로 설정하였다. 2000년 이후의 주요 가뭄은 2001년 봄철부터 6월 중반까지 연속되었던 2001년 가뭄과 2008년 9월부터 2009년 초 겨울까지 발생했던 태백지역의 2009년 가뭄 등 총 2회를 선정하였다. 따라서 1960년부터 50년 동안 주요 가뭄은 7회 발생하였으며, 이를 이용해서 가뭄의 정도에 따라 발생 빈도를 산정하였다.

Table 1. Drought Occurrences (National Disaster Management Institute, 1998)

Year	Rainfall (mm) (may, June, July)	Lack of Rain		Water Reserve Rates		Area of Drought (ha)	Damage of Drought (Million Won)	Cost of Compensation (Million Won)
		Days	Frequency (year)	%	Frequency (year)			
1967	307.4	56	7	5	25	420,547	626,615	5,758
1968	122.2	72	50	4	30	470,422	700,928	5,558
1976	368.7	32	2	37	3	28,218	42,044	2,548
1977	287.5	54	7	29	5	60,222	89,370	13,920
1978	717.6	41	2	13	15	-	-	37,201
1981	658.2	50	5	46	2	145,457	216,730	51,783
1982	300.8	54	7	27	7	231,244	344,533	48,257
1992	392.4	65	20	23	7	31,523	46,969	21,400
1994	231.3	68	30	15	15	231,569	249,281	61,866

## 2.2 가뭄지수의 선정

가뭄은 국지적 특성이 강하게 나타나므로 가뭄의 진행 상태 혹은 심한 정도를 객관적인 기준으로 표현할 필요가 있다. 이때 활용되는 것이 가뭄지수(Drought Index)이며 이는 가뭄을 객관적인 기준으로 평가함으로 기본 자료보다 좀 더 유용한 평가를 할 수 있다.

그러나 이러한 가뭄지수들이 가뭄평가에 있어 절대적인 지표가 되진 않는다. 즉, 하나의 지수가 모든 조건에서 나머지 지수들보다 우위에 있지 않으며, 각 지수들의 특징에 따라 사용 측면에서 좀 더 적합한 가뭄평가를 할 수 있다는 것이다. 따라서 평가 및 의사결정을 위한 가뭄지수의 이용은 하나 이상의 가뭄지수를 참고하는 것이 유용하다고 할 수 있다. 가뭄평가를 위해 실제 이용되고 있는 지수들은 이용자들의 목적에 맞게 다양하게 연구되어 왔다. 본 연구에서는 Lee et al. (2006)의 연구내용을 토대로 국내외에서 가장 일반적으로 이용되는 가뭄지수 중 기상학적 가뭄지수인 표준강수지수(SPI)와 파머가뭄지수(PDSI)를 선정하였으며, 각 가뭄지수에 대해 2.2.1과 2.2.2에 간단히 설명하였다.

### 2.2.1 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)

표준강수지수(SPI)는 Mckee et al. (1993)이 가뭄은 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량

의 감소로 시작된다는 것에 착안하여 개발한 지수이다. 즉, 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양함유수분, 하천유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 가정에 의해 개발한 것이다. SPI는 특정한 시간에 대한 강수량의 평균치와 강수량의 차를 표준편차로 나눈 것이며, 여기서 평균치와 표준편차는 과거의 강수량 자료로부터 결정된다(Mckee, 1993).

표준강수지수는 사용자의 요구에 따라 다양한 시간축적(3, 6, 9, 12개월)에 대해 계산 가능하며, 시간단위별로 강수 부족량을 산정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법이다. 일반적으로 강수량 자료는 12개월이나 그 이하의 시간간격에 대해서는 정규분포의 형태를 띠지 않으므로 SPI를 산정하기 위해서는 강수 분포를 정규분포의 형태로 변환시켜야 하며(Edward and Mckee, 1997), 강수형태는 Gamma 분포를 따르는 것으로 알려져 있다(Edward and Mckee, 1997). SPI의 가뭄심도 분류는 Table 3과 같다.

### 2.2.2 Palmer 가뭄심도지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)

Palmer (1965)는 가뭄을 장기간의 이상습윤부족 상태라고 정의하였으며, 이상습윤부족을 정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족 기간으로 정의하였다. 그리고 물수지방정식의 수요-공급 개념을 바탕으로 한 습윤 공급의 편차를 측정하기 위한 Palmer 가뭄지수를

Table 2. Major Drought According to Past Events (Korea Water Resource Corporation, 2005)

Year	Damage Area (Basin)	Month
1939	Nakdong-river	June
1967-1968	Yeongsan, Nakdong-river	July
1973	Yeongsan, Nakdong-river	June
1976-1978	Yeongsan, Nakdong-river	June
1981-1982	Nakdong-river	August
1994-1995	South Region of Chungcheong-do	September
2001	Han-river	June

Table 3. Drought Classification by SPI

Ranges	Description	Ranges	Description
2.0 ~	Extremely wet	-0.99 ~ 0.99	Near normal
1.5 ~ 1.99	Very wet	-1.0 ~ -1.49	Moderately dry
1.0 ~ 1.49	Moderately wet	-1.5 ~ -1.99	Severe dry
-0.99 ~ 0.99	Near normal	-2.0 ~	Extremely dry

개발하였다. 이러한 가뭄을 지수화하기 위해서는 정상적인 기후조건 하에서 주어진 지역의 일정기간 동안 필요한 강수량을 산정하여 실제 발생한 강수량과 비교하여 기후적으로 필요한 강수량으로부터 벗어나는 습윤 공급량의 크기를 산정하였다. PDSI의 가뭄심도 분류는 Table 4와 같다.

### 3. 가뭄지수에 따른 가뭄심도 분류기준

#### 3.1 가뭄 발생빈도에 따른 가뭄심도 분류

본 연구에서는 통일화된 가뭄 구간을 보통 가뭄(Moderate Drought), 심한 가뭄(Severe Drought), 극심 가뭄(Extreme Drought), 예외적인 가뭄(Exceptional Drought) 총 4 등급으로 구분하였다. 과거 자료를 분석하여, 가장 심각했던 가뭄은 우리나라 수자원계획의 지표로 이용될 정도로 심각했던 1994~1995년의 가뭄으로 이는 예외적인 가뭄(Exceptional Drought)으로 평가하였고, 1967~1968년과 2009년 가뭄을 극심 가뭄(Extreme Drought), 1981~1982년, 2001년 가뭄을 심한 가뭄(Severe Drought), 1973년, 1976~1978년 가뭄을 보통 가뭄(Moderate Drought)으로 분류하였다. 본 연구에서 제시한 가뭄 정도에 따른 가뭄지수의 등급 분류와 이에 따른 과거 가뭄의 분류는 Table 5와 같다.

이를 발생 확률로 환산하여 분석하면 보통 가뭄, 심한 가뭄, 극심 가뭄은 전체 발생확률의 약 4%씩을 차지하며, 예외적일 경우는 약 2%에 해당됨을 알 수 있다. 이때, 예외적

인 가뭄은 전체의 2%를 차지함에 따라 가뭄 발생의 누가확률 98~100%를 예외적인 가뭄(Exceptional Drought), 극심, 심한, 보통 가뭄은 각각 4%를 차지하므로 94~98%를 극심 가뭄(Extreme Drought), 90~94%는 심한 가뭄(Severe Drought), 86~90%는 보통 가뭄(Moderate Drought)으로 구분하였다. 이러한 가뭄심도별 빈도 확률의 분류를 정리하면 Table 6과 같으며 Fig. 1에 표현하였다.

#### 3.2 가뭄지수곡선 작성

가뭄지수(SPI, PDSI)를 가뭄심도 분류 기준표에 맞게 분류하기 위해 유황곡선(flow duration curve)의 개념을 적용하여 내림차순으로 가뭄지수를 분포시켜 가뭄지수 곡선을 작성하였다. 유황곡선은 물 관리를 위한 유출량 정보를 보여주는 중요한 곡선으로, 수문사상의 값을 내림차순의 크기로 정렬하면 각 유출량의 크기와 같거나 보다 큰 것에 대한

Table 6. Standard of Drought Severity Classification

Category	Description	Frequency
WET	Wet	~ 50%
N	Normal	50 ~ 86%
D1	Moderate Drought	86 ~ 90%
D2	Severe Drought	90 ~ 94%
D3	Extreme Drought	94 ~ 98%
D4	Exceptional Drought	98% ~

Table 4. Drought Classification by PDSI

Ranges	Description	Ranges	Description
-0.5 ~ 0.5	Near normal	4.0 ~	Extremely wet
-1.0 ~ -0.5	Incipient drought	3.0 ~ 4.0	Very wet
-2.0 ~ -1.0	Mild drought	2.0 ~ 3.0	Moderately wet
-3.0 ~ -2.0	Moderate drought	1.0 ~ 2.0	Slightly wet
-4.0 ~ -3.0	Severe drought	0.5 ~ 1.0	Incipient wet spell
-4.0 ~	Extreme drought	-0.5 ~ 0.5	Near normal

Table 5. Drought Classification According to Past Events

Category	Description	Drought Occur (Year)	# of Times in 100 yrs	Severity of Events
N	Normal		28	1 in 4 yrs
D1	Moderate Drought	1973, 1976~78	2	1 in 25 yrs
D2	Severe Drought	1981~82, 2001	2	1 in 25 yrs
D3	Extreme Drought	1967~68, 2009	2	1 in 25 yrs
D4	Exceptional Drought	1994~95	1	1 in 50 yrs
Total			35	

시간 백분율을 계산할 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3은 이러한 개념으로 61개 모든 대상지점의 가뭄지수 SPI (3개월)와 PDSI를 평균하여 내림차순으로 도시화한 모습이다.

### 3.3 가뭄지수에 따른 가뭄심도 분류기준 제시

내림차순으로 작성된 가뭄지수곡선을 분석하여 가뭄심

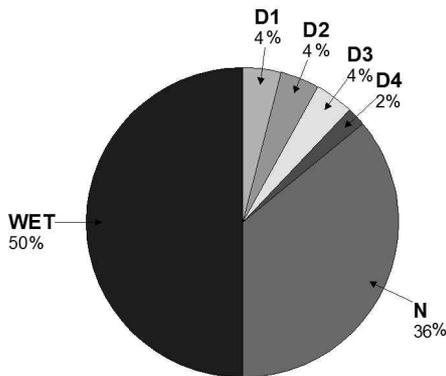


Fig. 1. Classification Standard for Korean Drought Severity

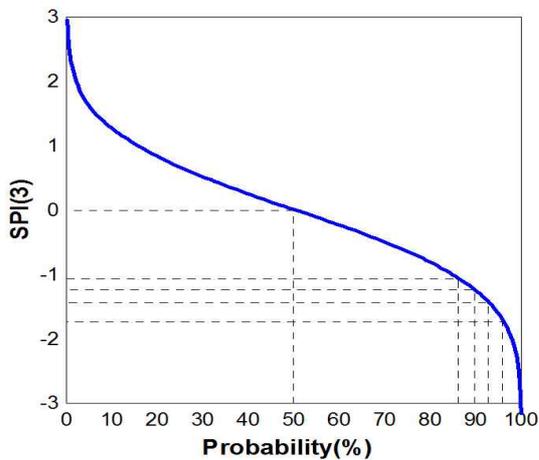


Fig. 2. SPI(3) Drought Index Curve

도 분류기준(Table 6)에 맞는 가뭄지수의 정량적 값을 산정하였다. 이는 Table 7에 나타내었으며 SPI와 PDSI 모두 총 6가지 상태로 표현함으로 가뭄지수별 여러 등급으로 인한 불편함을 최소화하였다. 예를 들면, 50% 확률의 SPI (3개월), PDSI 값은 0으로, 90%확률의 SPI (3개월) 값은 -1.3, PDSI지수 값은 -3으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 Table 7에 나타낸 SPI와 PDSI의 기준을 이용해서 가뭄의 심도를 분류하는 것을 제시하였다.

## 4. 적용 및 비교

### 4.1 낙동강 유역 적용 결과

작성된 가뭄심도 분류 기준 표를 낙동강 전 유역에 적용하였다. Figs. 4 and 5는 울진의 SPI와 PDSI를 도시하고 가뭄심도 분류 기준을 적용한 모습이다. 적용결과 SPI에 가뭄심도를 분류했을 경우가 PDSI에 분류한 경우보다 조금 더 일치하는 모습을 보였다. Figs. 6 and 7은 낙동강 유역 영덕의 SPI와 PDSI 분포 모습이며, 울진지역과 유

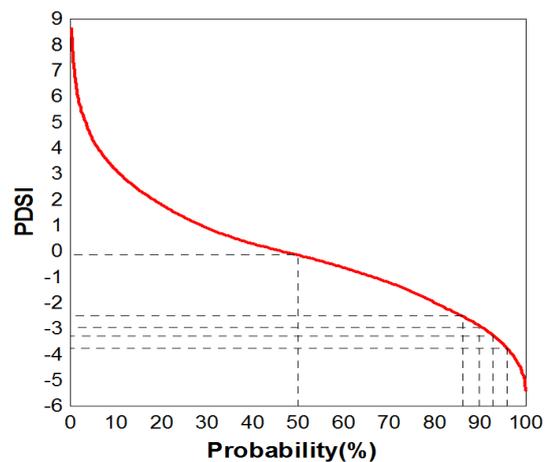


Fig. 3. PDSI Drought Index Curve

Table 7. Drought Severity Classification

Category	Description	Frequency (%)	Standardized Precipitation Index (SPI)	Palmer Drought Severity Index (PDSI)
WET	Wet	0~50	~ 0.0	~ 0.0
N	Normal	50~86	0.0 ~ -1.0	0.0 ~ -2.5
D1	Moderate drought	86~90	-1.0 ~ -1.3	-2.5 ~ -3.0
D2	Severe drought	90~94	-1.3 ~ -1.5	-3.0 ~ -3.5
D3	Extreme drought	94~98	-1.5 ~ -2.0	-3.5 ~ -4.3
D4	Exceptional drought	98~100	-2.0 ~ less	-4.3 ~ less

사한 결과를 보였다. 이를 통해 도출된 Table 8의 가뭄지수 분류기준이 대상지역의 가뭄상황을 잘 나타내고 있음을 파악할 수 있었다. 다만 본 연구에서 제시한 기준은 전체 자료를 평균한 것으로서 일부 지점의 국부적인 특성을 완전히 반영하기에는 한계가 있으며 전체적인 가뭄상황의 판단기준으로 활용한다면 그 적용성이 매우 높을 것으로 판단된다.

#### 4.2 년 단위 비교

가뭄지수의 1년 중 제일 작은 값을 선택해서 실제 가뭄과의 차이를 살펴보았다. 가뭄지수가 월 단위의 단위시간을 가짐에도 불구하고 년 단위 비교를 시행한 이유는 유역의 각기 다른 특성으로 가뭄의 진행에 있어서 지체시간을 가질 수 있기 때문이며, 비교하는 시간을 넓게 설정하고 최하의 지수 값을 선택한다면 이러한 점을 보완할 수 있을 것으로 보인다. Table 6은 각각 과거 가뭄기록과 SPI의 년 단위 비교를, 가뭄기록과 PDSI의 년 단위 비교를 나타낸 것이다. 빈 칸은 wet (습윤)이나 normal (정상)의 경우를 나타낸다.

연간자료 비교를 살펴본 결과, 가뭄이 발생한 1994~1995년, 2001년, 2009년에 대한 각 지역의 가뭄지수 평가가

대부분 일치하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 SPI의 경우 2005~2006년에 대부분의 지역에서 가뭄이 발생되었고 표현하였으나, PDSI는 일부 지역에서 2006년에 심한 가뭄이 발생한 것으로 나타났다. 이는 지역의 국지적인 특성에 따른 가뭄지수의 변화를 보여주는 것이라 판단된다.

#### 4.3 월 단위 비교

월 단위 비교는 2000년 이후 낙동강 유역에 가뭄이 발생한 두 연도인 2001년과 2009년을 기준으로 비교를 실시하였다. 2001년 가뭄의 경우, 가뭄기록조사보고서(Ministry of Construction and Transportation, 2002)와 가뭄관리 종합대책 수립연구(Korea Water Resources Corporation, 2002)를 참고할 때 낙동강유역의 안동시를 중심으로 의성군, 영덕군, 문경시 등의 지역으로 발생함을 볼 수 있다(Fig. 8).

따라서 본 연구에서는 안동시, 의성군, 영덕군, 문경시의 가뭄지수와 과거 가뭄기록을 비교하였으며, 2009년 가뭄은 태백지역에서 심각하게 발생했으므로, 주변지역인 낙동강유역의 영주시, 울진군, 봉화군을 선정하여 비교했다.

Table 9는 2001년도 월별 과거 가뭄기록과 낙동강유역의 SPI와 PDSI의 비교를, Table 10은 2009년 태백지역에서 발생했던 과거 가뭄 기록과 SPI와 PDSI의 비교를 보여준다.

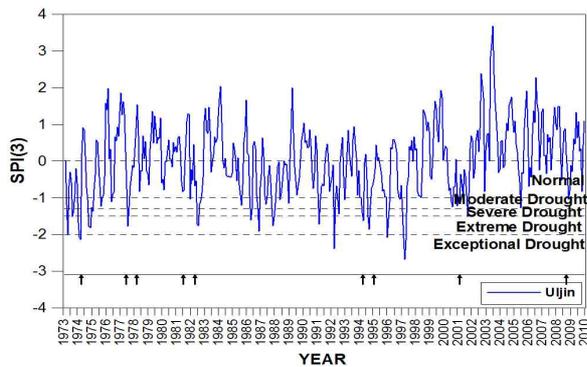


Fig. 4. Uljin (SPI)

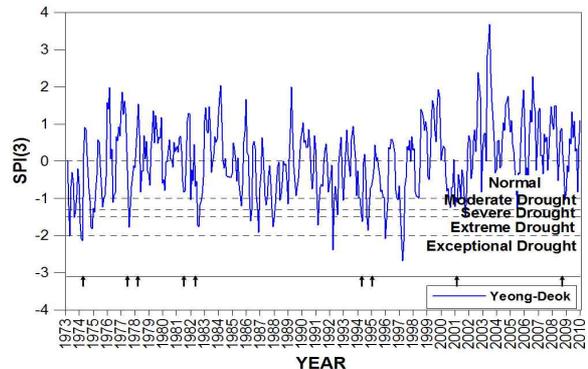


Fig. 6. Yeongdeok (SPI)

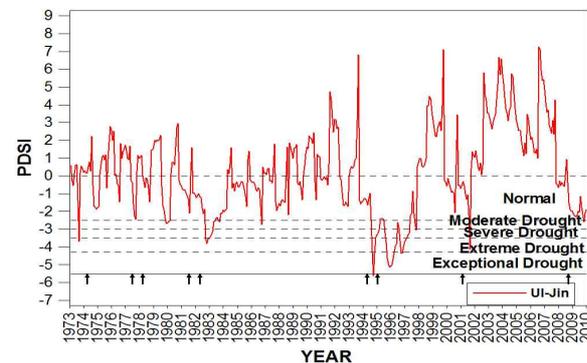


Fig. 5. Uljin (PDSI)

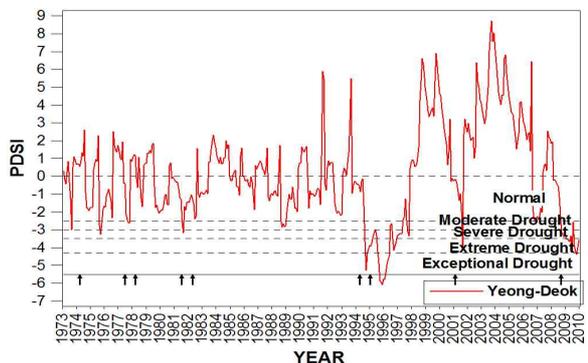


Fig. 7. Yeongdeok (PDSI)

월 단위 비교를 살펴본 결과, Table 9에 나타난 2001년 SPI의 경우 가뭄이 심해진 11~12월 세 지역의 실제 가뭄 기록(Worsen Drought)과 분석 결과(WET~N)가 일치하지 않았고, PDSI의 분석결과는 가뭄해소시기인 같은 해 7~8월에 심한가뭄 (D3~D4)을 나타내어 실제기록과 일치하지 않음을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 SPI와 PDSI 라는 가뭄지수의 고유 특성을 반영한 결과로 판단되며, 이들 지수의 상호 보완에 대한 추후 연구 필요성을 보여주는 것으로 생각된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 순수 국내자료를 이용하여 가뭄지수에 따른 가뭄심도분류표를 작성하기 위해, 강우 관측자료를 30년 이상 확보한 국내 61개 지점에 대해 현재 국가에서



Fig. 8. Spatial State of Lack of Water for Drought 2001

Table 8. Comparison Between Drought Record and SPI / PDSI

Year	Record	Nakdong River Basin													
		All		Ulleungdo		Uljin		Pohang		Daegu		Ulsan		Busan	
		SPI	PDSI	SPI	PDSI	SPI	PDSI	SPI	PDSI	SPI	PDSI	SPI	PDSI	SPI	PDSI
1994	D4	D4	D4	D3	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D3	D4	D3	D4
1995	D4	D2	D4	D4	D4	D3	D4	D2	D4	D3	D4	D3	D4	D3	D4
2001	D2	D4	D4	D3	D4	D4	D4	D3	D4	D3	D4	D4	D4	D4	D4
2004						D2		D3		D1		D1	D1		D3
2005		D2		D1		D1		D3		D4	D2	D4	D4	D2	
2006									D1	D1	D4	D3	D3	D2	D4
2008	D3	D3	D4	D1		D3	D3	D3	D4	D3	D4	D3	D3	D3	D4
2009	D3	D3	D4			D2	D4	D3	D4	D4	D4	D3	D4	D2	D3

D1: Moderate Drought, D2: Severe Drought, D3: Extreme Drought, D4: Exceptional Drought.

Table 9. Comparing Drought Record and SPI / PDSI (2001)

Year/Month	Drought Record	Uiseong		Yeongdeok		Mungyeong	
		SPI	PDSI	SPI	PDSI	SPI	PDSI
2001/01		WET	WET	N	N	WET	WET
2001/02		WET	WET	N	N	WET	WET
2001/03	Drought Occurs	WET	N	N	N	WET	N
2001/04	Severe Drought	D2	N	D4	N	D2	N
2001/05		D4	D2	D4	D2	D4	D2
2001/06	Resolve Drought	N	N	N	N	N	N
2001/07		D2	D4	N	D3	N	D3
2001/08		D4	D4	D1	D4	D1	D4
2001/09	Drought Occurs	D4	D4	N	WET	D3	D4
2001/10		N	D4	WET	WET	N	D4
2001/11	Worsen Drought	WET	D4	WET	WET	N	D4
2001/12		WET	D4	WET	WET	WET	D4

N: Normal, D1: Moderate Drought, D2: Severe Drought, D3: Extreme Drought, D4: Exceptional Drought.

**Table 10. Comparing Drought Record and SPI / PDSI (2008~2009)**

	Drought Record	Yeongju		Uljin	
		SPI	PDSI	SPI	PDSI
2008/10	Low Rainfall occurs	N	N	D2	D3
2008/11	Low Rainfall occurs	N	N	D3	D3
2008/12	Request Drought Plan	D1	N	N	D3
2009/01	Restrict Water Supply	D3	N	D1	D4
2009/02	Declare Special Disaster Area	N	N	D1	D4
2009/03	Organize Emergency Response Commission	WET	N	D1	D4
2009/04	Suspend Normal Water Supply	WET	N	N	D4
2009/05	Normal	WET	N	N	D3

N: Normal, D1: Moderate Drought, D2: Severe Drought, D3: Extreme Drought, D4: Exceptional Drought

사용하고 있는 가뭄상황단계를 그대로 적용하고자 가뭄 구간을 총 4등급으로 구분하였다. 주요 가뭄발생현황을 참고하여 우리나라에 맞는 가뭄심도 분류기준을 가뭄발생의 누가확률에 맞게 작성하였으며(Table 6), 각 지점의 가뭄지수(SPI, PDSI)를 내림차순으로 작성하여 기준에 맞게 가뭄지수의 정량적 값을 산정하였다.

가뭄을 정량적으로 평가할 수 있는 가뭄지수를 이용한 국내형 가뭄심도분류표를 작성하고 이를 실제 가뭄과 비교한 결과, 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 작성된 가뭄심도의 분류표를 대상지역인 낙동강 유역에 적용하여 과거 가뭄 발생 해와 비교 분석한 결과, 이는 대상지역에서 가뭄상황을 잘 나타내고 있었다. 그러나 본 연구에서 제시한 기준은 전체 자료를 평균화한 것으로 일부 지점의 국부적인 특성을 완전히 반영하기에는 한계가 있으며 전체적인 가뭄상황의 판단기준으로 활용한다면 그 적용성이 매우 높을 것으로 판단된다.
- 2) SPI와 PDSI의 가뭄심도 분류 결과와 실제 가뭄을 비교하기 위해 년 단위 비교를 시행한 결과, 가뭄이 발생한 1994-1995년, 2001년, 2009년에 대한 각 지역의 가뭄지수 평가가 대부분 일치하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 SPI의 경우 2005-2006년에 대부분의 지역에서 가뭄이 발생되었다고 표현되었고, PDSI는 일부 지역에서 2006년에 심한 가뭄이 발생한 것으로 나타났다. 이는 지역의 국지적인 특성에 따른 가뭄지수의 변화를 보여주는 것이라 생각된다.
- 3) 2001년의 월 단위 비교 결과, SPI의 경우 가뭄이 심해진 11~12월 세 지역의 실제 가뭄기록과 분석 결과(WET~N)가 일치하지 않았고, PDSI의 경우 가뭄해소시기인 같은 해 7~8월에 심한가뭄(D3~D4)

을 나타내어 부분적으로 일치하지 않음을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 SPI와 PDSI라는 가뭄지수의 고유 특성을 반영한 결과로 판단되며, 이들 지수의 상호 보완에 대한 추후 연구 필요성을 보여주는 것으로 생각된다.

본 연구에서 제시한 가뭄심도 분류표는 낙동강유역에 대해서만 적용되었으나 향후 우리나라 전 지역에 대한 확대 적용 및 활용을 요구하며, 이에 대한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 자료기간의 연장에 따라 가뭄심도 기준도 달라질 수 있으므로 추후 지속적인 업데이트가 요구된다.

### 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업의 지원으로 수행한 ‘국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축’ [NEMA-자연-2011-40]과제의 성과입니다.

### 참고문헌

Ahn, S.R., Kwon, H.J., Park, J.Y., and Kim, S.J. (2009). "Assessment of Agricultural Drought Using Reservoirs Information." *Conference on Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, pp. 68-73.

Edwards, D.C., and McKee, T.B. (1997). "Characteristics of 20th century Drought in the United States at Multiple Time Series." Master thesis, Colorado State University, Colorado.

Guttma, N.B. (1998). "Comparing the Palmer Drought Index

- and the Standardized Precipitation Index.” *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 34, No. 1, pp. 113-122.
- Kim, D.H., and Yoo, C.S. (2006). “Analysis of Spatial Distribution of Droughts in Korea through Drought Severity-Duration-Frequency Analysis.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 39, No. 9, pp. 745-754.
- Kim, M.S., Oh, T.S., Moon, Y.I., and Kwon, H.G. (2009). “Analysis and Comparison of Meteorological Drought Index” *Conference on Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 3406-3409.
- Kim, S.J., Lee, K.Y., and Sin, D.W. (1995). “Drought Index Calculation for Irrigation Reservoirs.” *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, The Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 37, No. 6, pp. 103-111.
- Korea Water Resources Corporation (2002). *Report of Drought Monitoring System of Measure Establishment Study*.
- Korea Water Resources Corporation (2005). *Report of Establishment for Drought Monitoring System*.
- Kwon, H.J., Lim, H.J., and Kim, S.J. (2007). “Drought Assessment of Agricultural District using Modified SWSI.” *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 10, No. 1, pp. 22-34.
- Lee, D.R., Moon, J.W., Lee, D.H., and Ahn, J.H. (2006). “Development of Water Supply Capacity Index to Monitor Droughts in a Reservoir.” *Conference on Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 39, No. 3, pp. 199-214.
- Lee, H.K., Choi, B.M., and Lee, H.G. (2001). “Analysis of Drought Status and Restoration Measure from 2001 in Korea.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 34, No. 4, pp. 32-44.
- Lee, J.H., Jung, S.M., Kim, S.J., and Lee, M.H. (2006). “Development of Drought Monitoring System: I. Applicability of Drought Indices for Quantitative Drought Monitoring.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 39, No. 9, pp. 787-800.
- Lim, K.J., Sim, M.P., Sung, K.W., and Lee, H.J. (2001). “Estimation of drought indicator using various time series.” *Conference on Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 34, No. 6, pp. 673-685.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). “The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales.” *8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- Ministry of Construction & Transportation (2002). *Report of 2001 Drought Investigation Record*, Korea Institute of Construction Technology, pp. 14-29.
- National Disaster Management Institute (1998). *Analysis and Investigation of Causes of the Drought Damage*, pp. 8.
- Palmer, W.C. (1965). “Meteorological Drought.” *Research Report*, No. 45, U.S. Dept. of Commerce Weather Bureau.
- Ryu, J.H., Lee, D.R., Ahn, J.H., and Yoon, Y.N. (2002). “A Comparative Study on the Drought Indices for Drought Evaluation.” *Conference on Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 35, No. 4, pp. 397-410.
- Shafer, B.A., and Dezman, L.E. (1982). “Development of surface water supply index to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas.” *Proc. Western Snow Conference*, Reno, Nevada, pp. 164-175.
- Steinmann, A. (2003). “Drought Triggers: A stochastic Approach to Evaluation.” *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 39, No. 5, pp. 1217-1234.
- Taebaek-si (2009). *A Drought White Paper*.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. (2006). “Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI).” *Water resources management*, Vol. 21, No. 5, pp. 821-833.
- Yoon, Y.N., Ahn, J.H., and Lee, D.R. (1997). “Hydrological Drought Analysis using Palmer Drought Index Method.” *Conference on Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 30, No. 4, pp. 317-326.

논문번호: 12-063	접수: 2012.06.14
수정일자: 2012.08.27/09.20/10.12	심사완료: 2012.10.12