국내 가뭄관리 기관별 PDSI 산정방법의 표준화 및 평가

배덕호^{1)*} · 손경환¹⁾ · 김현경²⁾ · 이주현³⁾ · 이동률⁴⁾ · 안재현⁵⁾ · 김태웅⁶⁾

¹⁾세종대학교 건설환경공학과, ²⁾기상청, ³⁾충부대학교, ⁴⁾한국건설기술연구원, ⁵⁾서경대학교, ⁶⁾한양대학교

(접수: 2013년 10월 9일, 게재확정일: 2013년 11월 10일)

Standar Dization and Evaluation of PDSI Calculation Method for Korean Drought Management Agencies

Deg-Hyo Bae^{1)*}, Kyung-Hwan Sohn¹⁾, Hyun-Kyung Kim²⁾, Joo-Heon Lee³⁾,
Dong-Ryul Lee⁴⁾, Jae-Hyun Ahn⁵⁾, and Tae-Woong Kim⁶⁾

¹⁾Dept. of Civil and Environmental Eng., Sejong Univ., Seoul, Korea

²⁾Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea

³⁾Dept. of Civil Eng., Joongbu Univ., Chungcheongnam-do, Korea

⁴⁾Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-do, Korea

⁵⁾Dept. Urban Environmental System Eng., Seokeong Univ, Seoul, Korea

⁶⁾Dept. of Civil and Environmental Eng., Hanyang Univ., Gyeonggi-do, Korea

Abstract The objective of this study is to standardize the calculation method of Palmer Drought Severity Index (PDSI) for the three Drought Management Agencies (DMA) in south Korea, and to evaluate the PDSI applicability. For comparison and review of the method, the code and input data of PDSI are collected from each DMA. The calculation method is the same, but the used input data (number of meteorological stations, normal year period, Available Water Capacity (AWC) of the soil) are different. Through discussions with drought experts and literature review, the standardized method is determined. 61 stations which have the data period more than 30 years are selected. Also the normal year is fixed for 30 years and updated every 10 years. The observed AWC is utilized using GIS data. Empirical equation of PDSI is re-estimated according to domestic climate characteristics. For evaluating the standardized PDSI, past drought events are investigated and drought indices including the existing SPI and PDSI are used for comparative analysis. As results, although the accuracy of standardized PDSI through ROC analysis is lower than SPI, the newly standardized PDSI is better than existing PDSI from DMA. Also it reasonably explain the spatial drought situation through the spatial analysis.

Key words: DMA, standardized PDSI, input data, empirical equation, ROC, spatial analysis

1. 서 론

가뭄은 물수지 불균형에 따른 물 부족 현상으로 홍수와 달리 수개월에서 수년간 지속되고 광역적으로 발생하는 특성이 있다. 따라서 가뭄을 감지하더라도

구체적인 발생 시기, 장소, 원인을 규명하는 것이 어렵고 피해규모 및 영향력도 막대하다(Lee *et al.*, 2006). 국내에서는 이러한 가뭄은 짧게는 2~3년, 길게는 5~7년 주기로 빈번하게 발생한다고 알려져 있으며(KMA, 2012; Bae *et al.*, 2013), 이미 1994년, 1995년, 2001년, 2008년, 2012년 및 2013년에 큰 피해를 겪은바 있다. 더욱이, 최근 기후변화의 영향으로 앞으로 가뭄 발생이 더욱 빈번할 것이라는 견해가 나오고 있어 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다(NEMA, 2013).

*Corresponding Author: Deg-Hyo Bae, Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, 98 Gunja-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Korea.
Phone : +82-2-3408-3337, Fax : +82-33-640-2324
E-mail : skhdr@hanmail.net

가뭄 대책방법으로는 관개용수의 확보, 비상관정의 개발 등의 구조적인 수단과 가뭄지수를 이용한 가뭄의 감시 등의 비구조적인 수단으로 구분된다. 여기서 가뭄지수는 가뭄을 평가하고 대비케 하는 비구조적인 수단 중 하나로써 객관적인 지표를 마련하기 위해 개발된 정보이다. 그 동안 가뭄에 대한 관점 및 활용목적에 따라 다양한 가뭄지수들이 개발되어왔다. 그 중에서도 전세계적으로 가장 많이 활용되고 있는 가뭄지수는 Palmer(1965)에 의해 개발된 PDSI(Palmer Drought Severity Index)와 McKee 등(1993)에 의해 개발된 SPI(Standard Precipitation Index)가 있으며, 국내 가뭄관리 기관에서도 이 지수들을 웹기반으로 생산 및 제공하고 있다.

현재 가뭄관리 기관에서는 가뭄에 대한 능동적인 대처를 위해 가뭄지수를 이용하여 해당 지역의 가뭄상황을 정량적으로 표현하여 제시하고 있다. 그러나 기관별 가뭄에 대한 기준이 상이하고 관리의 다원화로 인해 생산된 정보는 많지만 가뭄판단에는 많은 어려움이 있는 실정이다. 한편, 기상청에서는 2011년 가뭄정보 공동 활용 워크숍을 개최하여 가뭄관리 기관에서의 가뭄정보를 이해하고 이를 공동으로 활용할 수 있는 방안을 모색한 바 있다. 주요 논의 사항 중 하나는 기관별로 공동 생산하는 가뭄지수(SPI 및 PDSI)의 결과가 서로 달라 가뭄판단에 많은 혼란이 야기되며, 이에 대한 해결 방안이 필요하다는 것이다. 그 예로 Fig. 1에서와 같이 SPI와 PDSI를 제공하는 3기관의 결과를 살펴보면 SPI는 동일하나 PDSI의 경우 기관마다 생산된 정보가 상이함을 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 가뭄관리 기관별 PDSI 산정방법의 검토를 통해 차이를 규명하고 동일한 PDSI를 생산하기 위한 표준화 방안을 제시하고자 한다. 또한 과거 가뭄기간 동안의 기존 및 표준화된 PDSI를 생산하고 국내 적용성을 평가하고자 한다. 본 연구의

2절에서는 기존 PDSI 산정의 주요 이론과 기관별 PDSI의 산정방법에 대한 현황 및 표준화 방법에 대해 기술하고자 한다. 3절에서는 표준화된 PDSI의 정보를 생산 및 평가한 사항에 대해 제시하고, 4절에서는 본 연구에서의 연구결과를 요약 기술하고자 한다.

2. PDSI 표준화 방법 도출

2.1 PDSI

Palmer(1965)는 가뭄을 “장기간의 이상 수분부족”이라 정의하였으며, 이상 수분부족은 “정상적인 기후에서 현저히 벗어난 비정상적인 수분부족 기간”이라 정의하였다. 이는 일반적으로 사소한 불편이나 고통 등을 발생시키는 수분부족이 아니라 수분의 부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기하는 현상으로써 최소한 2~3개월에서 길게는 1년 이상 장기간의 수분부족이 지속되는 것을 의미한다. Palmer는 이러한 가뭄의 정의에 근거하여 미국의 Kansas와 Iowa 지역에서 현 상황에 대한 기후적으로 필요한(Climatically Appropriate For Existing Conditions, CAFEC) 강수량과 실제 강수량의 비교를 통해 가뭄을 정량적으로 판단하는 PDSI를 개발하였다.

PDSI는 크게 수분수지 해석과 가뭄지수 산정으로 분류되며, 주요 입력자료는 월별 강수량, 기온 및 위도별 일조시간 보정계수, 상부 및 하부토층의 토양유효용량(Available Water Capacity of the soil, AWC)이 있다. PDSI에 관한 이론은 그 동안 국내에서도 여러 차례 기술된바 있으며(Yoon *et al.*, 1996; Lee *et al.*, 2006; KMA, 2007), 주요 내용을 간략히 제시하면 다음과 같다.

수분수지 해석에서는 물수지모형(water balance model)에 의해 계산되는 잠재성분(potential component)과 실제성분(actual component)으로 구분된 월별 증발

Fig. 1. Results of SPI and PDSI from drought management agencies.

산량, 손실량, 공급량 및 유출량을 모의하고, 기준기간 동안에 잠재성분과 실제성분의 비율을 계산하여 4개의 성분에 대한 계수(α_i , β_i , γ_i , δ_i)를 산정한다. 식 (1)과 같이 특정년도에 대한 잠재성분에 계산된 계수를 곱하여 정상평균치인 기후학적으로 필요한 (Climatically Appropriate For Existing Conditions, CAFEC) 강수량($\hat{P}_i$)을 계산한 후, 식 (2)에서처럼 실제강수량(P_i)과의 차를 통해 수분편차(d_i)를 계산한다.

$$\begin{aligned}\hat{P}_i &= \hat{E}t_i + \hat{R}_i + \hat{R}O_i + \hat{L}_i \\ &= \alpha_i PE_i + \beta_i PR_i + \gamma_i PRO_i - \delta_i PL_i\end{aligned}\quad (1)$$

$$d_i = P_i - \hat{P}_i \quad (2)$$

여기서, α_i 는 증발산계수, β_i 는 함양량계수, γ_i 는 유출량계수, δ_i 는 손실량계수, PE_i 는 해당월의 잠재증발산량, PR_i 는 잠재함양량, PRO_i 는 잠재유출량, PL_i 는 잠재손실량, i 는 1~12월을 의미한다.

가뭄지수 산정은 수분편차의 지역적 보정을 위한 기후특성인자(K)와 월별 가뭄지수 산정(X)의 경험식이 이용된다. 산정된 월별 수분편차를 이용하여 해당 지역에 대한 수분부족의 정도를 정량적으로 파악할 수 있으나, 시간 또는 지역별로 느끼는 가뭄의 심각성 파악에는 다소 무리가 있다. 따라서 시간 및 지역적인 편차에 대한 보정이 필요하며, 이를 위해 Palmer는 식 (3)의 기후특성인자를 고안하였다.

$$K_i = \frac{17.67K'_i}{\sum_{j=1}^{12} D_j \times K'_j} \quad (3)$$

$$K'_i = 1.5 \log_{10} \left[\frac{T_i + 2.8}{D_i} \right] + 0.5 \quad (4)$$

$$T_i = \left(\frac{\overline{PE}_i + \overline{R}_i + \overline{RO}_i}{\overline{P}_i + \overline{L}_i} \right) \quad (5)$$

여기서, D_i 는 수분편차(d)의 절대값의 월별 평균치의 합, T_i 는 대상지역의 수분요구량과 수분공급량의 비, K' 는 기후특성인자(K_i)의 중간 추정치를 의미한다.

이렇게 계산된 기후특성인자를 이용해 식 (6)의 수

분이상지수(Z)를 계산하고 전월(X_{i-1})의 가뭄지수를 이용해 해당월의 가뭄지수(X_i)를 구하는 식 (7)에 대입하여 최종지수를 계산한다.

$$Z_i = d_i K_i \quad (6)$$

$$X_i = X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3} \right) - 0.103 X_{i-1} \quad (7)$$

Palmer는 가뭄지수(X_i)에 따른 습윤기와 건조기의 범위를 Table 1과 같이 정의하였다.

2.2 기관별 PDSI 산정방법 검토

본 연구에서는 국내 가뭄관리 기관별로 상이한 PDSI를 표준화하고자 각 기관의 PDSI 산정방법과 입력자료를 검토하였다. 이를 위해 PDSI를 제공하는 3개의 가뭄관리 기관(A, B, C기관)으로부터 PDSI 산정 코드와 샘플자료를 수집하였으며, 기존 Palmer의 PDSI 이론을 참고하여 코드를 분석하고 차이를 검토하였다. A기관의 경우 Fortran 기반의 자체개발 프로그램, B기관은 NCDC(National Climate Data Center)에서 제공한 Fortran 프로그램 그리고 C기관은 NDMC(National Drought Mitigation Center)의 C 언어 프로그램을 사용하였다. 분석결과 프로그램의 구성, 형식 및 옵션 등은 모두 다르지만 이론 및 방식은 기존 Palmer의 내용을 그대로 반영하였다.

입력자료는 PDSI 산정에 필요한 월별 강수, 기온, 일조시간 및 토양유효용량으로 3기관 모두 동일하지만, Table 2와 같이 구체적인 자료활용의 내용에 차이가 있는 것으로 나타났다. 월별 위도별 일조시간 보정계수는 3기관 모두 Bras(1990)의 결과를 그대로 인용하였다. 기상관측소는 기상청의 종관기상관측장비(Automatic Synoptic Observation System, ASOS)로부터 관측된 강수 및 기온자료가 활용되지만, 가용된 관측소 개소수가 A기관이 76개소, B기관이 61개소, C기관이 63개소로 상이한 것으로 나타났다. 또한, 기준기간도 A기관과 C기관은 30년 이상, B기관은 30년 고정으로 다르게 적용한 것을 볼 수 있으며, 특히, A기관은 30년 이하의 자료기간을 보유한 관측소를 활용하는 것을 확인하였다. AWC는 A기관이 상부 25.4

Table 1. Range of PDSI according to dry and wet condition.

Dry condition	Class	Wet condition	Class
-0.5~-0.5	Near normal	$X \geq 4.0$	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 $\geq$ X	Extreme drought	-0.5~0.5	Near normal

Table 2. Comparison of PDSI input data by drought management agencies.

-	A	B	C
Monthly solar radiation by latitude	Same		
Meteorological data	· Precipitation · Mean temperature	· Precipitation · Mean temperature	· Precipitation · Mean temperature
Number of stations	76	61	63
Normal year period	More than 30 years	30 year	More than 30 years
AWC	· Upper : 25.4 mm · Bottom : 134.6 mm	· Upper : 25.4 mm · Bottom : 228.6 mm	Different depth for each region

mm, 하루 134.6 mm로 적용, B 기관은 상부 25.4 mm, 하부 228.6 mm로 전국을 동일하게 적용, 그리고 C 기관은 각 기상관측 지점마다 다르게 적용하였다.

2.3 문제점 검토 및 표준화 방법 도출

3기관에 대한 PDSI 산정방법에 대한 검토 결과 산정방법은 동일하나, 입력자료 활용에 차이가 있음을 알 수 있었으며, 이에 대한 PDSI의 표준화 방안은 다음과 같다. 우선, 입력자료 활용에서 기상관측소 개소수, 기준기간은 서로 연관된 자료로 이를 결정하기 위해서는 기존 PDSI에서의 방법을 검토하는 것이 적절할 것이다. 그러나 Palmer가 제안한 방법에서는 식 (1)의 계수들을 결정하기 위해 30년 이상의 자료가 활용된 것과 이 계수들을 고정값으로 두어 지수를 산정한 것 외에는 정확한 언급이 없다. 문제는 이 계수들 산정에 자료기간을 어떻게 정하느냐에 따라 값들이 달라져 PDSI 산정결과에도 큰 영향을 미치게 된다는 것이다. 즉, A와 C기관처럼 매년 자료기간이 늘어날 때마다 이 계수들을 재산정한다면 산정되는 변수들과 최종 PDSI가 매년 변하게 되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 기준기간을 30년으로 지정하고 10년 주기로 변화시키는 기상청의 방법을 적용하였다. 예를 들어 과거 30년을 기준기간으로 한다면 2012년 기준으로는 1981년 1월부터 2010년 12월까지가 대상 기간이 되며, 이 기간의 자료를 이용해서 계수를 산정한 후 PDSI 계산에 이용하는 것이다. 이것은 2013, 2014년 등 2020년까지 동일하게 되며, 2021년부터는 1991년 1월부터 2020년 12월 자료를 다시 적용해서 계산하게 된다. 물론 이렇게 하더라도 PDSI 값은 10년마다 조금씩 변할 수 있다. 하지만 이것은 장기 경향을 반영한 값이므로 해당 시기의 특성을 고려한 값이 산정된 것으로 평가할 수 있을 것이다. 관측소 개소수는 최소 30년 이상의 자료가 확보된 61개소를 PDSI 산정의 대상지점으로 선정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 또한, AWC의 적용은 Palmer는 미국 전역을 동일한 깊이로 가정하여 PDSI

산정에 활용하였다. 당시에는 이에 대한 관측정보가 없기 때문이고, 최근에는 GIS 및 위성기술의 발달로 지역별로 관측된 AWC 자료획득이 가능하다. 한편, 강부식(2008)은 우리나라를 대상으로 토양유효용량 구축 및 PDSI를 재산정한 결과 토양유효용량이 PDSI 산정에 큰 영향을 미치며, 기존보다 가뭄의 상황을 더욱 적절히 재현함을 제시한바 있다. 이는 Fig. 1의 결과에서도 확인이 가능하며, AWC가 164 mm로 가장 낮은 A기관의 경우 토양수분 저장용량이 적어 지수의 거동 이 크지만 AWC가 254 mm, 1,710 mm인 B 및 C기관은 A 기관에 비해 상대적으로 지수의 거동 폭이 낮은 것을 볼 수 있다. 따라서 AWC 결정은 매우 중요하며, 지역별로 동일한 AWC를 활용하는 것은 부적절하다고 판단된다. 본 연구에서는 PDSI의 표준화를 위해 가뭄지수 산정 지점별로 AWC를 고려하는 방법을 채택하였다.

PDSI의 경험식인 식 (3) 및 식 (7)의 활용과 관련하여 그동안 국내외적으로 많은 논란이 있었으며, 이를 개선하는 문헌들도 몇 차례 제시된바 있다(Yoon et al., 1997; Well et al., 2004; Lee et al., 2008). 주요 내용은 Palmer가 이용한 두 식은 미국 특정 지역의 기후정보로부터 도출한 것이기 때문에 우리나라에 직접 적용하는 것은 무리가 있다는 것이다. 현재 3기관에서는 기존 Palmer의 경험식을 그대로 사용하고 있어 국내 적용성의 향상을 고려한다면 이번 표준화 방법에 포함시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 최근의 기후자료로부터 국내 PDSI 산정을 위한 경험식을 재추정하고자 한다.

3. 표준화 방법 적용 및 평가

3.1 입력자료 구축

본 연구에서는 표준화된 PDSI의 생산 및 평가를 위해 입력자료인 관측소별 기상 및 토양유효용량 자료를 구축하였다. 기상자료는 과거 30년 이상의 자료를 보유한 기상청 ASOS 61개소의 월 강수 및 평균기온

Fig. 2. Construction and collection of input data for standardized PDSI.

자료를 수집하였고, 구축된 지점에 대해서는 Fig. 2a에 도시하였다. 토양유효용량은 농업과학기술원에서 제공하는 GIS 기반의 정밀토양도를 이용하였으며, 우리나라 전역의 AWC로부터 61개 지점에 대한 값을 추출하였다. Figure 2b는 국내 토양유효용량에 대한 범위를 분포시킨 것으로 최소 10 mm~619 mm로 기준에 동일하게 사용하였던 254 mm에 비해 약 2배 이상의 차이가 있는 것으로 나타났다.

3.2 경험식 재추정

기존 PDSI 산정에 활용되는 가뭄지수(X) 및 기후특성인자(K)의 공식은 모두 미국지역의 기후특성에 맞추어 만들어진 것이며, 우리나라 기후특성에 맞게 공식을 보완해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 Palmer 방법에 따라 과거 1981년~2010년 동안에 강릉, 서울, 대전, 포항, 대구, 전주, 광주, 울산, 여수 및 제주의 10개 지역의 강수 및 기온 등의 자료를 이용하여 우리나라에 대한 두 공식을 보완하였다. 가뭄지수 산정 공식은 관측소별 산정된 수분이상지수(Z)를 산정하고 최대가뭄기간의 ΣZ 를 계산하였다. ΣZ 와 $X = -4.0$ 과의 선형회귀방정식을 도출하고(Fig. 3), $X = -4.0$ 의 선에서 $t = 1$ 개월일 때, $t = 20$ 개월일 때의 ΣZ 값을 이용하여 i 번째 달의 PDSI 공식을 유도하였다. Palmer의 방법에 따라 급히 유도된 가뭄지수(X)의 공식은 다음

Fig. 3. ΣZ during maximum drought periods.

과 같다.

$$X_i = 0.910X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{4.84} \right) \quad (8)$$

월별 수분편차만으로도 지역적인 가뭄의 심도를 비교할 수 있을지도 모르나 Palmer는 기후가 상이한 지

Fig. 4. Relationship between $\left(\frac{(\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO})}{(\overline{P} + \overline{L})}\right)/\overline{D}$ and $\overline{K}$.

역 또는 같은 지역이라도 가뭄을 느끼는 정도가 다를 수 있으므로 지역적 및 시간적인 편차를 보정해 주어야 하는 점을 고려하여 기후특성인자인 K 를 고안하였다. 본 연구에서는 10개 지역에 대해 12개월 지속 기간동안 가뭄심도를 -4.0 으로 유지하기 위해 필요한 수분이상지수의 합을 이용해 $\overline{K}$ 를 유도하였으며 식은 다음과 같다.

$$K = -26.40 / \sum_{i=1}^{12} d \quad (9)$$

이렇게 계산된 K 와 $\left(\frac{(\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO})}{(\overline{P} + \overline{L})}\right)/\overline{D}$ 의 관계를 이용해 Fig. 4에서처럼 회귀분석을 통하여 K' 를 계산하는 식을 유도하였으며, 식은 다음과 같다.

$$K' = 0.781 \left(\frac{(\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO})}{(\overline{P} + \overline{L})} \right) / \overline{D} + 0.45 \quad (10)$$

10개 지역에 대해 K' 를 계산하고 $\sum_{i=1}^{12} \overline{D} K'$ 로부터 대상지역의 평균값 K 를 계산한 후, 최종 기후특성인자를 계산하였다. 각 지역에 대한 K 값의 평균은 542.44 mm 로 계산되며, 기후특성인자 K 는 다음의 식과 같다.

$$K = \frac{542.44}{\sum_{i=1}^{12} \overline{D} K'} \quad (11)$$

3.3 적용성 평가

본 연구에서는 표준화된 PDSI의 적용성을 평가하고자 1991년~2009년까지의 과거 기록된 가뭄피해사례(Son *et al.*, 2011)에 최근 2012년 및 2013년 가뭄 사례를 추가 수집하였으며, 3기관의 PDSI, SPI3 지수와 비교분석하였다. 분석방법은 가뭄의 평가에 주로 활용되는 ROC(Receiver Operation Characteristic)분석 및 지역별 분석을 적용하였다. 여기서, ROC 분석은

Fig. 5. Evaluation of drought index using ROC analysis.

기록된 가뭄사례와 가뭄지수의 가뭄발생 유무에 대한 상호비교를 통해 적중률(Hit Rate, HR) 및 비적중률(False Alarm Rate, FAR)을 산정하여 지수의 정확도를 평가하는 방법으로, $HR = 1$, $FAR = 0$ 이면 지수가 가뭄사례를 완벽히 재현하였음을 뜻한다(Kim and Lee, 2011; Bae *et al.*, 2013). 대상지역은 가뭄사례가 주로 행정구역별로 제시됨에 따라 각 61개소에서 산정된 PDSI값을 행정구역별(경기도, 강원도, 충청도, 전라도 및 경상도)로 평균하였다.

Figure 5는 금회 표준화된 PDSI, 3기관의 기존 PDSI 및 SPI3에 대한 ROC 분석을 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 X축은 FAR, Y축은 HR을 의미하며, 각 점들이 그래프의 좌상단에 위치할수록 정확도가 높음을 뜻한다. 3기관의 PDSI 결과를 살펴보면 HR은 C, B, A기관 순으로 C기관이 가장 높으나 FAR은 A, B, C기관 순으로 A기관이 가장 낮게 추정되었다. C기관의 PDSI가 가뭄을 과대 모의하고, A기관은 과소 모의함을 알 수 있으며, 3기관들 중에서는 B기관의 PDSI가 적절한 것으로 확인되었다. 표준화된 PDSI(New PDSI)는 B기관의 PDSI보다 좌상단 위에 위치하였으며, 나머지 2기관들과의 비교에서도 이와 동일한 것으로 나타났다. 다만, FAR에서 볼 수 있듯이 SPI3보다는 가뭄을 과대 모의하여 정확도가 낮은 것으로 확인되었다. 이는 SPI3은 단기간 지속되는 가뭄, PDSI는 장기간 지속되는 가뭄의 평가에 유리한 특성이(Ryu *et al.*, 2002) 있으나, 그동안 국내에서는 94년~95년 및 2008년~2009년을 제외하고는 모두 1~3개월 정도의 단기가뭄의 발생이 많았기 때문이다. 따라서, ROC 분석을 통한 표준화된 PDSI의 정확도 평가결과 SPI3 보다는 정확도가 낮지만 기존 3기관에서 생산한 PDSI

Fig. 6. Spatial analysis of drought index for 2008~2009 year.

Fig. 7. Spatial analysis of drought index for 2012 year.

보다는 높은 것으로 판단된다.

지역별 분석은 가뭄을 평가하는 방법 중에 하나로 각 지점별로 산정된 가뭄지수를 공간적으로 분포시켜 실제 가뭄이 발생한 지역과의 일치여부를 평가하는 방법이다. ROC 분석과 달리 기록된 피해사례를 객관적으로 평가하는데 한계가 있으나, 지역별 가뭄상황의 반영 유무를 판단하는데 있어 유용하다. 본 연구에서는 Barnes 객관분석 기법(Barnes, 1964)과 NCL (NCAR Command Language) 프로그램을 이용하여 가뭄도를 작성한 후 과거 극심했던 가뭄사상을 토대로 지역별로 표준화된 PDSI의 적절성을 평가하였으며, 평가기간은 과거 2008년, 2012년 가뭄사상을 선정하였다. 2008년 가뭄은 피해기간이 2008년 9월부터 시작하여 2009년 5월까지로 2009년까지 이어진 대가뭄으로 볼 수 있다. 피해 지역은 강원 및 중부 내륙지방과 남부지방 전역에 심각하게 발생하였으며, 특히 태백시는 87일 동안 제한급수가 실시되는 등 피해가 가장 극심한 지역인 것으로 조사되었다. 2012년 가뭄은 5월 말에서 6월까지의 단기가뭄으로 피해 지역은 경기(화성, 시흥 등), 강원(횡성, 원주 등), 충남, 전북 및 전남 지역으로 조사되었다.

Figure 6은 2008년 11월에서 2009년 5월까지 2개월 단위로 표준화 및 B기관의 PDSI에 대한 가뭄도를 예로써 나타낸 것이며, 가뭄해갈 반영의 적절성 평가를 위해 4월에 대한 결과도 도시하였다. 2008년 11월의 경우 두 지수 모두 서울 및 경기일부를 제외한 남한 전역에 가뭄이 발달한 것으로 표현하였으며, 1월, 3월에도 계속 지속되는 것으로 나타났다. 그러나 가뭄이 해갈된 5월에는 B기관의 PDSI는 이를 적절히 재현하지 못하였으나, 표준화된 PDSI는 가뭄이 점차 약화되는 것으로 나타났다. Figure 7의 2012년 가뭄사례의 경우 표준화된 PDSI는 5월에 우리나라 경기북부, 충청 및 전북 서해지역을 중심으로 가뭄이 점차 시작되고 6월에 강원 및 전남지역까지 확장되었다가 7월 및 8월에 가뭄이 해갈되는 것으로 나타나 가뭄상황을 적절히 재현하는 것으로 확인되었다. 반면 B기관의 경우 강원도, 경남 동해 및 전남 남해안에서 가뭄이 나타나 가뭄상황을 적절히 재현하지 못한 것으로 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기관별 PDSI 산정방법을 표준화하고 적용성을 검토하였다. 본 연구에서 분석된 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 국내 3기관에서 PDSI 산정의 코드와 입력자료를 수집 및 분석하였다. 기존 Palmer의 PDSI 산정이론을 토대로 3기관의 산정방법을 검토한 결과 모두 동일한

것으로 나타났다. 입력자료의 경우 기상관측소 개소수가 A기관은 76, B기관은 61, C기관은 63개소, 기준기간은 A기관과 C기관은 30년 이상, B기관은 30년 고정으로 다르게 적용한 것을 볼 수 있다. AWC는 A기관이 상부 25.4 mm, 하부 134.6 mm로 적용, B기관은 상부 25.4 mm, 하부 228.6 mm로 전국을 동일하게 적용, 그리고 C기관은 각 기상관측 지점마다 다른 AWC를 적용하였다.

2) 기존 문헌검토와 국내 가뭄전문가들과의 논의 및 자문을 거쳐 기관별 PDSI의 표준화 방안을 도출하였다. 기상관측소 개소수는 30년 이상의 장기간 자료를 보유한 61개소를 선정, 기준기간은 30년 고정 10년 주기로 변경하는 방법을 적용, AWC는 PDSI 산정 지점에서 관측된 자료를 활용, PDSI의 기후특성인자(K)와 가뭄지수(X)의 산정 경험식을 국내 기후특성에 맞는 경험식으로 재추정하는 것으로 결정하였다.

3) 표준화된 방법에 따라 우리나라에 61개 ASOS 관측소의 기상자료를 구축하고 국립농업과학원에서 제공하는 정밀도양도를 이용하여 AWC 값을 구축하였다. 또한, 식 (8), 식 (11)과 같이 우리나라 기후특성에 맞는 경험식을 추정하였다. ROC 분석 및 지역별 분석을 이용하여 표준화된 PDSI를 생산 및 평가하였으며, 기존 3기관에서의 PDSI 및 SPI 지수와 비교분석하였다. ROC분석결과 표준화된 PDSI의 정확도가 SPI3보다는 낮지만 기존 3기관에서 생산한 PDSI보다는 높은 것으로 나타났다. 지역별 분석에서도 표준화된 PDSI가 기존에 비해 지역별 가뭄의 상황을 더 적절히 재현하는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 개발한 표준화된 PDSI는 현재 기상청의 실시간 가뭄감시 및 정보 제공 시스템에(Bae *et al.*, 2012) 장착되어 테스트 운영 중에 있으며, 3기관의 공동 활용을 위해 협의 중에 있다. 이 연구는 그동안 문제되어왔던 기관별 가뭄이해 부족 및 다원적 가뭄정보 제공 체계의 문제 해결의 첫 시발점으로 국내 가뭄정보제공의 일원화에 큰 기여를 할 것으로 기대된다. 다만, PDSI의 국내 적용성은 다른 지수(예: SPI, SRI, SSI 등)에 비해 낮은 실정이며, 이를 개선하기 위한 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(CATER-2012-3100)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Bae, D.-H., K.-H. Son, and H.-A. Kim, 2013: Derivation &

- Evaluation of Drought Threshold Level Considering Hydro-meteorological Data on South Korea. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **46**, 287-299.
- _____, J.-B. Ahn, J.-Y. Hong, G.-S. Kim, J.-S. Chung, U.-S. Jung, and J.-K. Kim, 2012: Development of Real-Time Drought Monitoring and Prediction System on Korea & East Asia Region. *Atmos.*, **22**, 267-277.
- Barnes, S., 1964: A technique for maximizing details in numerical map analysis. *J. Appl. Meteorol.*, **3**, 395-409.
- Bras, R. L., 1990: *Hydrology*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Kim, K.-S., and J.-W. Lee, 2012: Evaluation of Drought Indices using the Drought Records. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **44**, 639-652.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2007: Development of industrial meteorological index, technical report of KMA.
- _____, 2012: Development of climatological-hydrological alarm system for climate change adaptation, KMA report.
- Lee, D.-R., J.-W. Moon, S.-J. Choi, and S.-K. Kang, 2008: An Evaluation of the Palmer Drought Severity Index in Korea. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **39**, 352-356.
- Lee, J.-H., S.-M. Jung, S.-J. Kim, and M.-H. Lee, 2006: Development of Drought Monitoring System : 1. Applicability of Drought Indices for Quantitative Drought Monitoring. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **39**, 787-800.
- Mckee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, California.
- NEMA (National Emergency Management Agency), 2013: Development of national information system for drought disaster monitoring, NEMA report.
- Palmer, W. C., 1965: Meteorological drought, Research paper. **45**, U.S. Weather Bureau.
- Ryu, J.-H., D.-R. Lee, J.-H. Ann, and Y.-N. Yoon, 2002: A Comparative Study on the Drought Indices for Drought Evaluation. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **35**, 397-410.
- Son, K.-H., M.-H. Lee, and D.-H. Bae, 2011: Drought Analysis and Assessment Using Land Surface Model on South Korea. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **40**, 1063-1074.
- Thorntaite, C. W., and J. R. Mater, 1955: The water budget and its use in irrigation, Water-Yearbook of Agriculture 1955, U.S. Dept. of Agriculture, pp. 346-358.
- Wells, N., S. Goddard, and M. J. Hayes, 2004: A self-Calibrating Palmer Drought Severity Index. *J. Climate*, **17**, 2335-2351.
- Yoon, Y.-N., J.-H. Ann, and D.-R. Lee, 1997: An Analysis of Drought Using the Palmer's Method. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **30**, 143-152.

※ 영어로 작성되지 않은 한글 및 일본어 참고문헌은 편집진에서 영어로 번역하였습니다. 번역된 참고문헌은 다음과 같습니다.

- 1) 기상청, 2007: 산업기상지수 산출기술 개발.
KMA (Korea Meteorological Administration), 2007: Development of industrial meteorological index, technical report of KMA.
- 2) 기상청, 2012: 기후변화에 대응하기 위한 기후수문 조기경보체계 개발 및 구축.
KMA, 2012: Development of climatological-hydrological alarm system for climate change adaptation, KMA report.
- 3) 소방방재청, 2013: 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축.
NEMA (National Emergency Management Agency), 2013: Development of national information system for drought disaster monitoring, NEMA report.