한국농공학회논문집
제50권 제3호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, MAY. 2008, pp. 3-15

북한지역에 대한 기상학적 가뭄지수의 적용

Application of Meteorological Drought Indices for North Korea

남원호* · 유승환* · 장민원** · 최진용***,†

Nam, Won-Ho* · Yoo, Seung-Hwan* · Jang, Min-Won** · Choi, Jin-Yong***,†

Abstract

North Korea is one of the vulnerable countries facing the threat of a drought, so that it is unavoidable to experience fatal damage when drought is occurred, and it is necessary to improve the drought response capability of water resources systems. However, it is still difficult to find research efforts for drought characteristics and drought management in North Korea. This study is to quantify drought duration and magnitude and to analyze drought characteristics in North Korea. In order to quantitatively identify historical drought conditions and to evaluate their variability, drought indices are commonly used. In this study, drought indices including dry-day index, deciles of normal precipitation, Phillips drought index, standardized precipitation index and Palmer drought severity index are calculated and compared monthly using the weather data for the twenty one meteorological stations in North Korea. The indices compared with the drought damage records that have reported from 1990 to present to understand how the indices can explain the drought. A comparative study was also conducted to evaluate the relative severity of the significant droughts occurred during 2000 and 2001 which were reported as the worst drought in North Korea. Drought indices calculated from this study demonstrated that those can be the effective tools in quantitatively evaluating drought severity and measures of drought. Thus it is recommended the distributed trend of drought be considered when the plan or measures for drought in North Korea are established.

Keywords : Drought indices, North Korea, Dry-day index, Deciles of normal precipitation, Phillips drought index, Standardized precipitation index, Palmer drought severity index

I. 서 론

북한은 전 세계적으로 가뭄에 대한 취약성을 갖는 국가로서 자연재해에 대한 사회기반시설이 부족하여 경제적 · 사회적으로 고통을 겪고 있다(United Nations Development Programme, 2004). 특히 최근 홍수와 가뭄으로 인한 경제난으로 발생된 북한의 식량난 해결을 위한 기술적 접근 방법으로써 북한의 농업생산기반 실태와 가뭄 피해에 대한 연구들이 발표되었으나, 이들은 FAO(Food and Agriculture Organi-

* 서울대학교 생태조경 · 지역시스템공학부 대학원
** 경상대학교 지역환경기반공학과 조교수
*** 서울대학교 생태조경 · 지역시스템공학부 조교수
† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4583
Fax: +82-2-873-2087
E-mail address: iamchoi@snu.ac.kr
2008년 3월 11일 투고
2008년 4월 19일 심사완료
2008년 5월 2일 게재확정

zation)/WFP(World Food Program) 혹은 UNDP 등과 같은 국제기구의 조사 자료를 인용하여 북한의 가뭄의 발생과 피해에 대한 정보를 간략하게 소개하는데 그치고 있는 실정이다. 따라서 향후 북한지역의 가뭄관리를 위해서는 가뭄의 특성을 고려한 가뭄평가가 선행되어 지역별로 가뭄의 발생과 계절적 특성을 이해하고, 지속적인 가뭄 모니터링 및 이력의 관리를 통해 자연재해에 취약한 북한에서 가뭄에 대비할 수 있는 기반연구가 필요하다고 할 수 있다.

가뭄의 관리를 위해서 시간적인 가뭄의 발생과 공간적인 가뭄의 분포를 파악하는 것이 중요하며, 가뭄의 예측 및 극복을 위해서는 정확한 가뭄의 원인분석과 가뭄의 진행상황이나 강도(intensity)를 정의할 수 있는 객관적인 기준을 이용해야 한다. 이를 위해 가뭄의 심도를 객관적인 수치로 표현한 것으로서, 가뭄의 경향이나 그 정도를 파악하는데 유용한 수단으로 활용되는 가뭄지수(drought index)가 이용되고 있다(조홍제, 1996). 가뭄의 정도를 정량화하기 위하여 개발된 다양한 가뭄지수는 대상과 평가방법에 따라 가뭄을 표현하는 특성이 다르며, 각각의 다른 입력변수를 이용하여 가뭄의 심도와 기간을 분석하고 있다.

가뭄의 평가를 위해 일반적으로 사용하는 가뭄지수들은 파머가뭄심도지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI), 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI) 및 지표면 물공급지수(Suface Water Supply Index, SWSI)등이 있으며 국내의 수문, 기상학적 자료를 이용하여 여러 가지 형태의 가뭄지수의 적용성에 대해서 검토된 경우가 많다. 기상연구소(1993)에서는 PDSI를 이용하여 전국 25개 관측지점을 대상으로 1961년부터 1990년까지 30년에 대해 적용하였고, 조홍제(1996)는 월강수량의 초과확률에 근거한 Phillips 가뭄지수(Phillips Drought Index, PDI)로 가뭄시 도시 지역의 생활용수 및 공업용수의 부족에 대비한 용수수급대책 마련에 이용할 수 있도록 하였다. 윤용남 등(1997)은 PDSI의 기후특성인자와 가뭄지수의 산정식을 우리나라의 자료를 이용해 보완하여 전국 68개 지점을 대상으로 적용하였고, 김상민과 박승우(1999)는 전국 54개 관측소의 기상자료를 이용하여 SPI와 PDSI를 산정하고 이들 가뭄지수가 가뭄의 정도를 어떻게 반영하는지 고찰하였다. 유원희(2000)는 SPI를 시간단위 별로 하천유출량으로 계산하여 금강유역의 5개 기상관측지점에 대한 PDSI와 비교한 결과 시간단위 9개월에서 최대의 상관관계를 나타내었으며, 류재희 등(2002)은 SWSI를 낙동강 유역에 적용하여 PDSI, SPI와 비교하였고 지속기간 10개월에 해당하는 SPI가 PDSI와 유사한 특징을 보인다고 분석하였다. 하지만 이처럼 다양한 가뭄지수를 이용한 정량적 가뭄평가는 자료구득의 어려움 때문에 국내에만 적용되었으며, 북한에 대해서는 신수현(2005)과 장민원 등(2007)은 NOAA/AVHRR 위성영상을 이용하여 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 분석함으로써 가뭄을 평가한 연구가 진행되었을 뿐 가뭄지수를 이용한 가뭄의 심도 있는 분석은 미진한 형편이다.

따라서 본 연구에서는 과거 북한지역에 발생한 가뭄의 기간 및 크기를 평가하고 분석하기 위하여, 북한 21개 지역에 대한 과우일수(Dry-day Index), 십분위(Deciles of Normal Precipitation, Deciles), PDI, SPI 및 PDSI 등 총 5개의 기상학적 가뭄지수를 산정하여 비교하였다. 이를 바탕으로 하여 1990년 이후부터 2005년 사이에 발생했던 북한 가뭄의 가뭄피해 조사 기록과 비교하여 산정된 가뭄지수들이 과거에 발생했던 가뭄을 정량적으로 재현하는가를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 기본 자료 구축

가. 북한 가뭄 발생현황 조사 및 분석

각각의 가뭄지수가 지역적인 가뭄을 잘 표현하는지를 분석, 검증하기 위하여 우선 북한 가뭄에 대한 기록을 조사하였다. 이를 위하여 1990년 이후부터 2005년까지 가뭄 기록에 대하여 조사하였으며 가뭄의 상황, 피해 등과 관련된 자료를 분석하였다. 북한 가뭄에 대한 기록은 국내에서는 통일부에서 제공하는 주간북한동향, 한국농촌경제연구원에서 제공하는 북한농업동향, 북한의 중앙방송과 중앙통신 등 정부

기관의 간행물들을 조사하였고, 국외의 경우 UNDP, USDA(United States Department of Agriculture)의 FAS(Foreign Agricultural Service), FAO 등의 국제기구의 보고서를 중심으로 가뭄 발생 기록을 참고하였다.

나. 기상 자료 구축

본 연구의 적용을 위한 북한의 기상자료는 우리나라 기상청에서 제공하고 있는 북한지역 27개 지점의 기상자료로 세계기상통신망(Global Telecommunication System, GTS)을 통하여 구득된 자료로써, 기상요소로는 해면기압, 평균/최고/최저기온, 강수량, 상대습도, 평균풍속, 운량 등을 제공하고 있다. 27개 지점 가운데 자료의 결측이 있는 중강, 김책, 장진, 희천, 신계, 평강 지점을 제외한 21개 지역의 가뭄지수를 산정하였다. 가뭄 지수 산정을 위하여 선봉, 청진 등 11개 지역은 1976년부터 2005년까지 30년간, 삼지연, 풍산 등 10개 지역은 1981년부터 2005년까지 25년간의 월강수량 및 평균기온 등의 기상자료를 구축하여 사용하였다.

2. 기상학적 가뭄지수

북한의 수문, 토양, 통계 등과 같은 자료는 그 접근성이나 정확성에 있어서 제한이 있기 때문에 본 연구에서는 북한의 기상자료를 사용한 기상학적 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 분석하였다. 본 연구에서 이용한 기상학적 가뭄지수는 Table 1과 같다.

가. 과우일수(Dry-day Index)

과우일수는 평균 강우량에 비해 비가 적게 왔을 때를 의미하는 과우상태를 이용하여 기상학적인 가뭄을 평가하는 방법으로 Hershfield(1972)가 사용한 무강우일수(dry-day)의 개념을 사용한다. 매년 5월부터 8월사이의 일강우량 자료로부터 강우량이 5 mm 이하일 경우 무강우로 취급하고, 누가 강우량이 50 mm, 60 mm, 70 mm 등 여러 가지 기준에 달할 때까지의 과우지속일수를 계산한다. 과거 가뭄 기록으로부터 해당 가뭄년의 가뭄지속일수와 비교하여 과우지속일수를 결정하고 이때의 누가강우량을 과우량으로 정한 후, 해당 과우량에 해당하는 최대과우일수를 산정한다. 본 연구에서는 기존 연구 결과를 바탕(김현영, 1994)으로 과우량 70 mm에 해당하는 연별 최대 과우일수를 북한지역의 21개 측후소에 대하여 매년 5~8월 사이의 일별 강우자료를 이용하여 산정하였다. 이렇게 산정한 과우일수 자료를 이용하여 적정한 확률분포함수를 이용하여 빈도계산을 하면 가뭄정도를 확률적으로 표현하는 기준인 가뭄빈도별 과우일수를 산정할 수 있으며, 해당 연도의 과우일수를 통해 가뭄빈도년을 산정할 수 있다.

나. 십분위(Deciles of Normal Precipitation, Deciles)

십분위는 월별 강수자료를 10등분으로 분류하는 방법으로 Gibbs와 Maher(1967)에 의해서 개발되었다. 이 기법은 장기간의 강수량 자료를 가지고 발생시킨 분포를 각각 10%씩 나누고 이들 각각의 범주(category)를 "Deciles"이라 하여, 강우 발생 빈도가 가장 낮은 10%를 초과하지 않는 1번째 Deciles부터 강수자료 중 가장 큰 강수량이 되는 10번째 Deciles까지 연속적으로 계산하여 Deciles 값에 따라 5단계로 가뭄을 구분한다. 십분위 방법은 월별로 지정된 지역의 평균값에 대한 상대량을 나타내며 월별로 지수 값을 산출하는 방법으로 상대적으로 계산이 간편하고 강수의 정밀한 통계학적 분석을 제공하여 가뭄분류에 있어서 균일성을 가진다. 또한 호주의 가뭄경보시스템에서 가뭄에 대한 기상학적 측정방법으로 채택되었다(Smith et al., 1993).

다. Phillips 가뭄지수(Phillips Drought Index, PDI)

Phillips 가뭄지수는 미국 델라웨어시 수자원관리위원회(Delaware Comprehensive Water Resources Management Committee, 1983)가 월 강수량을 이용하여 개발한 방법으로 정상상태, 가뭄주의보상태(drought warning) 그리고 가뭄상태(drought emergency)의 가뭄정도를 나타낼 수 있는 수치적 기준을 제시한다. 여기서 가뭄주의보란 가뭄에 의한 용수수급에 차질이 예상되므로 비상 급수대책 마련 등 경계가 필요한 시점을 말하며, 가뭄경보란 가뭄에 따른 단계적 비상급수의 실시에 대한 필요성과 피해 경감

대책이 시급함을 나타낸다. Phillips 지수는 실제 가뭄 발생기간 및 그 정도를 명확히 알 수 있으며 일 단위의 가뭄예보까지 가능하다(조홍제, 1996). 본 연구에서는 북한의 21개 분석 대상지점에서 관측된 월 강수계열 자료를 이용하여 각 월별 전기간 자료에 대한 확률강우량을 산정하기 위해 대수정규분포를 이용하여 빈도해석을 실시하였으며, 각 확률구간에 대한 비초과 확률강수량을 결정하였다. 기준치보다 작은 월 강수량이 계속되는 경우를 가뭄현상으로 간주하여 월별 가뭄지수를 산정한 후 누적가뭄지수로부터 가뭄주의보와 가뭄경보를 산정하였다.

라. 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)

표준강수지수는 강수의 부족이 지하수, 저수지 저수량, 토양수분, 적설 및 하천수량에 다른 영향을 미친다는데 착안하여 McKee 등(1993)에 의해 개발되었다. SPI는 특정한 시간에 대한 계산 시간 단위를 3, 6, 9, 12개월 등과 같이 설정하고 시간 단위별로 강수 부족량을 산정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법이다. SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간 단위별 누가강수 시계열을 구성하고 이를 누가된 월수로 나누어 고려해준 월에 따른 이동 평균 강수 계열을 얻는다. 지속시간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월별로 분석하여 적정 확률분포형을 산정하고 개개 변량의 누가확률을 산정한 후 표준 정규 분포에 적용시켜 표준강수지수를 산정한다. 또한 가뭄의 시작과 끝이 정의되는 기간과 가뭄이 계속되는 매 월마다 강도를 누적하여 가뭄의 규모를 산정할 수 있다.

Table 1 Comparison of meteorological drought indices

Drought Index	Dry-day Index	Deciles	PDI	PDSI	SPI
Factors used	Daily precipitation	Monthly precipitation	Monthly precipitation	Precipitation, temperature, local AWC of the soil, latitude of the station	Precipitation
Output data	Dry-day Drought Frequency	Deciles 1~10	90 ~ -9.0 (The number of ten's value)	Real number value	Real number value
Evaluation Class	-	Five	Three	Eleven	Seven
Drought class (Severe, Extreme Droguht)	User defined	Deciles 1 ~ 2	D (Drought Emergnecy)	Value of less than -1.50	Value of less than -3.00
Timescale	Day	Month	Day, month	Month	A variety of time scales (3, 6, 12, 24 month)
Main concept	Using dry-day is defined as an observational-day with less than a 5 mm amount of precipitation	Dividing the distribution of the occurrences over a long-term precipitation record, each represents 10%	Based on exceedance probabilities of monthly precipitation	Derived from a moisture balance model, using historic records of precipitation, temperature, and the local available water capacity of the soil	Quantify the precipitation deficit for multiple timescales, relative to same months historically
Source	Hershfield (1972)	Gibbs and Maher (1967)	Delaware comprehensive water resources management committee (1983)	W. C. Palmer (1965)	Tom McKee et al. (1993)
Use	-	Australian Drought Watch System	-	NADSS (National Agricultural Decision Support System), Climate Prediction Center	National Drought Mitigation Center, (WRCC) Western Regional Climate Center

마. 파머가뭄심도지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)

Palmer(1965)는 물수지방정식의 수요-공급 개념을 바탕으로 한 습윤 공급의 편차를 측정하기 위한 파머가뭄심도지수를 개발하였다. Palmer는 가뭄을 주어진 지점에서 실제 수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년의 기간이 지속되는 현상으로 정의하였으며 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 나타내었다. PDSI 산정을 위한 입력 자료는 강수량, 기온, 일조시간 및 유효 토양수분량으로 매우 단순하며, 이러한 입력 자료를 사용하여 월열지수법(monthly heat index method)으로 잠재증발산량, 함양량, 유출량 및 손실량 등을 포함한 물수지 방정식의 기본 항목들을 계산한다. 물수지 분석을 통해 기후적으로 필요한 강수량을 계산하고 실제 강수량과의 차인 수분편차를 산정하여 가뭄지수를 결정한다. PDSI는 기후적인 편차를 고려해 서로 다른 지역에 대해 비교가 가능하며, 미국 전역에서 가뭄을 모니터링 하는 도구로써 가뭄대응계획과 관련되어 많이 이용되고 있다(Willek et al., 1994).

III. 결과 및 고찰

1. 북한지역의 가뭄 기록

북한지역의 가뭄 관련 기록에 따르면 북한은 1997년 이후 수년간 가뭄이 지속되었고, 특히 1999년, 2000년, 2001년 북한 전역에 극심한 가뭄이 발생하였다(FAO, 2001; 통일부, 2000; 한국농촌경제연구원, 2001; 장민원 등, 2007). Table 2는 북한에서 발생했던 가뭄 기록을 연도별 원인, 지역, 피해 정도

Table 2 Drought records in North Korea

Year	Drought Damages	Remarks
1997	○ Cause : no rainfall form Jun. to Jul. and high temperature ○ Record : - Pyeongan-do, Hamkyeong-do, Hwanghaebuk-do, Gangwon-do ○ Damage : 716,000 acre of farmland, 704,300 ton of rice and maize	- North's Official Korean Central News Agency - Korean Central Television
1999	○ Cause : little rainfall from Jan. to Jun. ○ Record : - Anju, Pyongyang, Haeju, Chongjin, Hamhung, Wonsan : little rainfall from Jan. to Feb. - Chongjin : 92 days, Wonsan : 119 days (by no rainfall from Feb. to May) - Pyeongyang : 27%, Pyeongan-do, Hwanghae-do, Gangwon-do : 25 ~ 34%, Jagang-do, Hamkyeong-do : 50% (by normal rainfall of Jun.)	- KREI Quarterly Agricultural Trends in North Korea (Vol. 1, no. 1 ~ 3) - Korean Ministry of Unification, the Weekly North Korea (No. 466) - Korean Central Television
2000	○ Cause : little rainfall, high temperature, abnormal dryness from Feb. to Jul. ○ Record : - 21.4% of normal rainfall of Feb. and 32.3% of normal rainfall of Mar. - 53% of normal rainfall form Apr. to Jun. - Hwanghae-do : 21%, 26% of normal rainfall of May, Pyeongan-do : 55%, 33% of normal rainfall of May, Pyeongyang : 31% of normal rainfall of May (The west of North Korea) - Pyeongannam-do, Hwanghaenam-do : 60% of normal rainfall from May and Jul. - Pyeongyang, Nampo, Sariwon, Haeju : 48~61% of normal rainfall from Feb. and Jun., 18.6% of normal rainfall of Jun.	- KREI Quarterly Agricultural Trends in North Korea (Vol. 2, no. 1 ~ 2) - Korean Ministry of Unification, the Weekly North Korea (no. 492, 493, 499) - USDA Foreign Agricultural Service
2001	○ Cause : little rainfall, high temperature(10 ~ 13℃ higher than normal) ○ Record : - 46 ~ 86% of normal rainfall form Jan. to Mar. - 11% of normal rainfall form Mar. to Jun. and 17% of rainfall last year - 72% of cultivation land damaged - drought-damaged area spreading to northern regions for May : from Nampo to Hamkyeongbuk-do	- KREI Quarterly Agricultural Trends in North Korea (Vol. 3, no. 1) - Korean Ministry of Unification, the Weekly North Korea (no. 542) - WFP/FAO(2001) - Kyoto News International

를 나타낸 것이다. 1997년 북한 중앙통신에 의하면 6월 이후 60여일째 비가 내리지 않아 평안도, 함경도, 강원도, 함경북도에 저수지와 강이 바닥이 드러나고 논과 밭의 농작물이 말라죽는 등의 가뭄피해를 입었다고 전했다. 1999년 북한농업동향에서는 1~2월 기간 동안 안주, 평양, 해주, 청진, 함흥, 원산 지역에서 강수량이 평년에 비해 현저히 낮아 심한 겨울 가뭄이 발생하였으며, 2~5월 기간 동안 청진지역에는 92일, 원산지역에는 119일간 비가 내리지 않았다고 전했다. 또한 주간북한동향에서는 6월의 평년대비 강수량이 매우 감소하여 북한 대부분의 지역에서 평년대비 강수량이 30% 수준으로 농작물 생육에 막대한 피해를 입었다고 발표하였다. 남한지역에서도 극심한 가뭄이 발생했던 2000년에는 북한농업동향에 따르면 북한 전역의 2월 강수량이 평년의 21.4%, 3월은 32.3% 수준으로 북한의 주요 농업지대에서 심한 가뭄이 발생하였다고 전했다. 또한 5월에는 황해남북도의 경우 평년의 21~26%, 평안남북도의 경우 33~55%로 북한 전역의 평년의 40.5% 비가 내려 가뭄현상이 보다 심화되고 있다고 발표하였다. 지역별 강수량 분포는 곡창지대인 평안도와 황해도의 강수량이 전 지역의 평균 강수량보다 적어 서해안 지방에 가뭄이 극심한 것으로 나타났고 전했다. 2001년 주간북한동향에 따르면 3월부터 6월까지 90일간

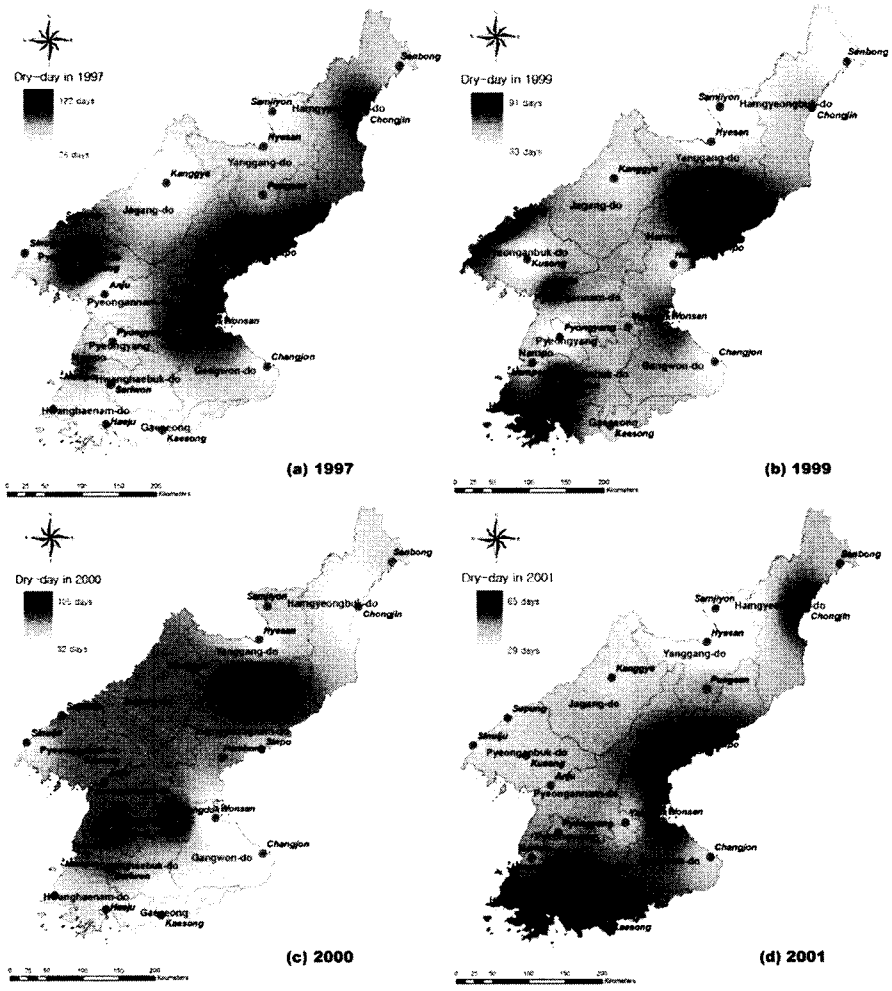

Fig. 1 Result of dry-day about dry-day index for North Korea.

북한지역에 가뭄이 지속되고 있으며, 이번 가뭄은 기후학적으로 볼 때 1000년 만에 한번 나타나는 것으로 관측 이래 본 적이 없는 현상으로 이 기간 동안 강수량은 전 지역에서 평균 18.3 mm로서 평년 강수량의 11%, 지난해의 17%에 불과하였고, 전제 농경지의 72%에 해당하는 133만여 정보에서 농작물의 80~90% 이상이 피해를 입었다고 전했다.

2. 가뭄지수에 의한 공간적 가뭄 평가

북한지역의 21개 측후소에 대하여 강우자료를 이용하여 각각의 가뭄지수를 산정하였으며, 과우일수, SPI, PDSI의 경우 공간적인 가뭄의 분포를 파악하기 위해 가장 일반적인 보간법으로 인접한 기지점들과의 거리의 함수로 나타내는 가중치의 평균을 이용하는 역거리 가중법(inverse distance weighting)을 이용하여 공간분포를 추정하였고, Deciles, PDI의 경우에는 가뭄심도별로 분류하였다.

가. 과우일수

북한지역의 21개 측후소에 대하여 과우량 70 mm에 해당하는 최대 과우일수의 공간분포를 나타내었다(참조 Fig. 1). 1997년의 경우 북한 전역의 평균 과우일수는 54일로 평안도, 강원도, 함경도 지역이 가뭄 상태로 나타났으며, 특히 구성과 신포 지역은 최대 과우일수가 각각 81일, 122일로 이는 100년 빈도의 가뭄 상태에 해당한다. 1999년과 2000년의 평균 과우일수는 각각 59일과 64일로 북한 전역에서 가뭄 상태가 나타났으며, 1999년의 경우 양강도의 풍산 지역(최대 과우일수 : 91일)과 평안북도의 수풍 지역(최대 과우일수 : 76일)에서 40년 빈도의 가뭄 상태가 나타났고, 나머지 지역의 경우도 10~20년 빈도의 가뭄 상태가 나타났다. 또한 2000년에는 풍산 지역(최대 과우일수 : 105일)에 100년 빈도의 가뭄 상태가 나타났으며, 자강도와 평안북도, 평안남도 지역에 20~50년 빈도의 가뭄 상태가 나타나 북한 전역에 극심한 가뭄이 발생한 것으로 판단된다. 하지만 2001년의 경우 대부분의 지역에서 10년 미만 빈도의 가뭄 상태가 나타나 2001년에는 극심한 가뭄이 나타나지 않았다. 과우일수와 가뭄빈도를 이용한 가뭄분석 결과 1997년, 1999년, 2000년에 북한지역에 가뭄이 발생했으며, 특히 1999년, 2000년에 북한 전역에서 극심한 가뭄이 발생한 것으로 판단된다.

나. Deciles

강우 발생 빈도를 기준으로 나눈 10단계의 월별 Deciles을 이용하여 가뭄 정도를 산정하였으며, 강우 발생 빈도가 가장 낮은 10, 20%를 초과하지 않는 강수량인 Deciles 1과 Deciles 2를 가뭄 발생 기준으로 설정하여 연도별로 가뭄상태가 높은 연도를 산정하였다(참조 Table 3). 분석 결과 1997년부터 2001년까지 북한 전역에 가뭄이 발생했으며 이 시기에 강수 발생 빈도가 낮은 강수량으로 인해 가뭄이 발생할 확률이 높은 것을 확인 할 수 있었다. 1997년의 경우 21개 지역 중에 평안남도 일부 지역과 황해도 지역을 제외한 13개 지역에서 가뭄 상태가 나타

Table 3 Result of deciles in North Korea

(unit : year)

Stations	Deciles 1, Deciles 2
Senbong	***1997(5)***, 1998(5)
Samjiyon	***1997(6)***, 1998(6), 2001(5)
Chongjin	***1997(5)***, ***2000(5)***, 2001(5)
Hyesan	***1997(5)***
Kanggye	***1997(5)***
Pungsan	***1997(5)***, 1998(6), 1999(6), ***2000(6)***
Supung	***1997(8)***, 1999(6)
Sinuiju	-
Kusong	***1997(6)***, ***2000(8)***
Hamhung	***1997(5)***, ***2000(5)***
Sinpo	***1997(8)***, 1998(7), 1999(6), ***2000(5)***, 2001(5)
Anju	***1997(5)***, 1998(5), 1999(5)
Yangdok	***1997(6)***, 1998(6), ***2000(5)***, 2001(5)
Wonsan	***2000(5)***
Pyongyang	-
Nampo	1998(5), 2001(5)
Changjon	***1997(6)***, ***2000(5)***
Sariwon	2001(6)
Yongyon	***2000(6)***, 2001(5)
Haeju	***2000(5)***, 2001(5)
Kaesong	-

* ( ) : number of month for Deciles

Table 4 Result of Phillips drought index in North Korea (unit : year)

Stations	Drought Warning	Drought Emergency
Senbong	1998(2)	1998(8)
Samjiyon	1997(3), 2000(3)	1997(9), 1998(10), 2000(2)
Chongjin	1997(4), 1998(4)	-
Hyesan	1997(2)	1997(1)
Kanggye	1999(2), 2000(5), 2001(4)	1999(2)
Pungsan	1997(3), 1998(9), 1999(3), 2000(2)	1999(6), 2000(7), 2001(7)
Supung	1997(2), 1999(2)	1997(10), 1998(12), 1999(7), 2000(12), 2001(12)
Sinuiju	1999(3), 2000(6)	-
Kusong	1997(2), 1999(3), 2000(2)	1997(7), 2000(8), 2001(2)
Hamhung	1997(4), 1999(7), 2001(3)	2001(9)
Sinpo	2001(12)	1997(12), 1998(12), 1999(12)
Anju	2000(6), 2001(4)	1999(3), 2001(1)
Yangdok	1998(3), 2000(3), 2001(2)	1998(9), 1999(12), 2001(2)
Wonsan	2000(9), 2001(4)	-
Pyongyang	1999(10), 2000(3), 2001(6)	2000(4)
Nampo	1998(9), 1999(6), 2000(5)	-
Changjon	1997(6), 1998(5), 2000(2)	1997(2), 2000(9), 2001(6)
Sariwon	1999(7), 2000(4), 2001(3)	2000(2)
Yongyon	1997(4), 2001(3)	1999(11), 2000(12)
Haeju	1999(7), 2000(5), 2001(3)	2000(5)
Kaesong	2001(3)	-

* ( ) : number of month for Drought Warning and Drought Emergency

났으며, 2000년과 2001년에는 각각 10개 지역, 8개 지역에서 가뭄 상태가 나타났다. 평안북도의 수풍 지역과 함경남도의 신포 지역의 경우 1997년에 8개월 동안 Deciles 1~2에 해당하는 가뭄상태가 발생하였으며, 특히 신포 지역은 1997년부터 2001년까지 가뭄상태가 지속되어 극심한 가뭄이 발생한 것으로 판단된다. 십분위의 경우 가뭄피해 지역의 정량적인 표현은 양호하나 월별 강수량에 따라 민감하게 반응하는 경향이 있어 강수로 인해 가뭄의 회복이 빠르게 나타났고, 가뭄분석 결과 1997년, 2000년에 북한 전역에서 극심한 가뭄이 발생한 것으로 판단된다.

다. PDI

북한의 주요지점에 대한 가뭄심도의 정도를 판단할 때 월강수량에 대한 가뭄주의보와 가뭄경보가 발생한 빈도를 살펴보면 Table 4와 같다. 분석 자료에 의하면 1997년과 1999년에는 양강도, 자강도, 평안남북도, 함경남도 등 중부지역을 중심으로 가뭄 상태가 나타났으며, 2000년에는 평안남북도와 황해남북도 등 서해안 지역에 가뭄 상태가 나타났다. 특히 풍산, 수풍, 신포 지역은 가뭄주의보 단계보다 가뭄경보 단계가 더 많이 발생하였으며, 1997년부터 시작된 가뭄이 회복되지 않고 지속되는 경향을 보이고 있어 가뭄으로 심각한 어려움이나 피해를 겪었을 것으로 판단된다. PDI를 이용한 가뭄분석 결과 가뭄주의보와 가뭄경보가 발생한 지역은 2000년이 가장 많았으며, 이 시기에 북한 전역에서 극심한 가뭄이 발생한 것으로 판단된다.

라. SPI

북한지역의 21개소 측후소에 대한 3, 6, 12개월 지속기간에 따른 SPI를 산정하였으며 상당한 가뭄(moderate drought)과 심한 가뭄(severe drought), 극심한 가뭄(extreme drought)에 해당하는 SPI 값

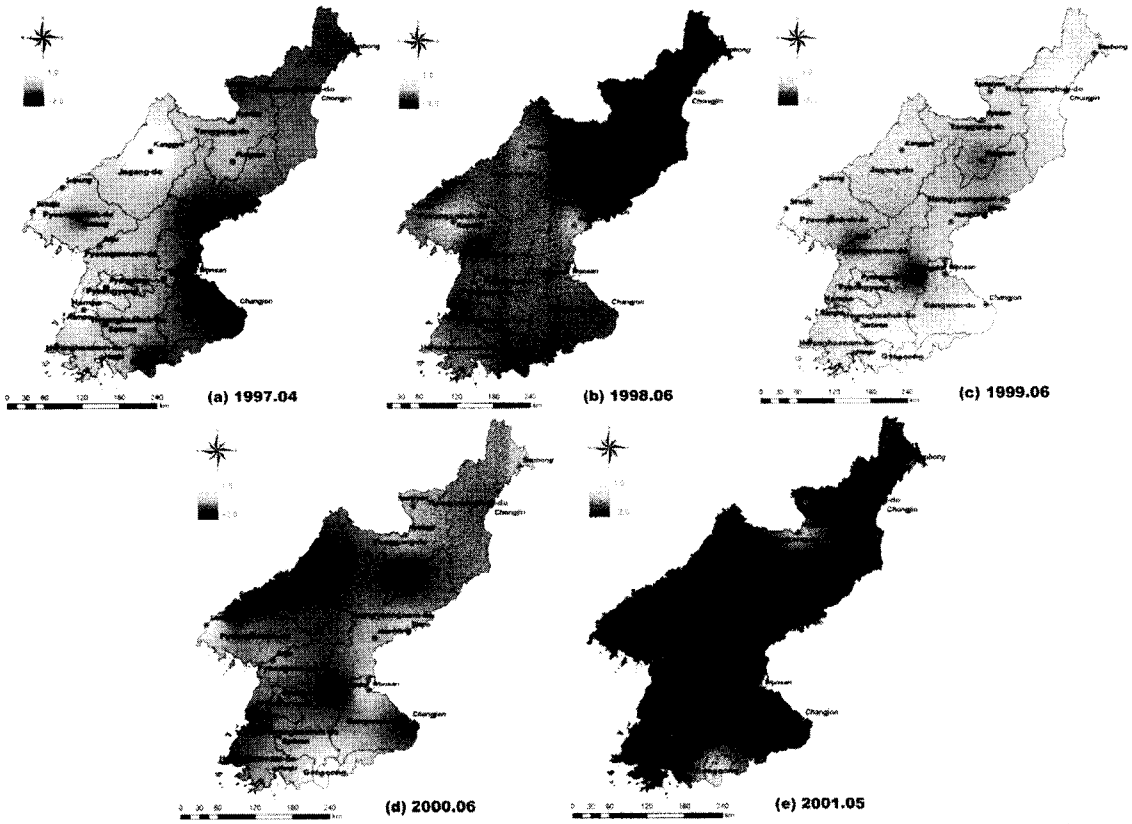

Fig. 2 Result of monthly SPI-12 for North Korea (1997 ~ 2001 year).

-1.0 이하를 가뭄이 발생한 것으로 설정하여 가뭄이 발생한 기간을 조사한 결과 1997년부터 2001년까지 수년간 북한 전역에 가뭄이 지속적으로 발생했으며, 지속기간이 길어질수록 극심한 가뭄이 발생한 연도의 빈도는 줄어드는 반면 지속기간 6개월 이상 가뭄이 발생한 연도는 증가하는 경향을 나타냈다.

짧은 지속기간의 SPI는 가뭄의 회복이나 습윤기에서 가뭄으로 변환하는 기간이 짧은 것을 알 수 있는데 이는 강우사상의 변화양상이 SPI의 지속기간에 그대로 반영되기 때문에 강우에 의한 지수의 변동이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 SPI의 지속기간이 길어질수록 강우가 발생했던 기록이 무강우월과 평균됨으로써 가뭄기간이 지속되는 동안 강수에 의한 가뭄의 회복이 느리게 나타나게 되는 것으로 분석되었다.

1997년 4월의 경우 함경남도의 신포 지역과 강원도의 원산, 장전 지역에서 심한 가뭄에 해당하는 -1.5 이하의 값이 나타났으며, 1998년 6월의 경우에는 함경북도의 선봉, 삼지연, 청진 지역과 함경남도의 신포 지역, 양강도의 풍산 지역에서 극심한 가뭄에 해당하는 -2.0 이하의 값이 나타났다. 1999년 6월에는 평안남도의 안주, 양덕 지역에서 가뭄이 나타났으며 극심한 가뭄이 발생했던 2000년 6월에는 수풍, 강계, 풍산, 양덕, 장전 지역을 중심으로 북한 전역에서 심한 가뭄과 극심한 가뭄이 나타났다. 2001년 5월에는 개성 지역을 제외한 북한 전역에서 심한 가뭄과 극심한 가뭄으로 표현되었으며, 특히 풍산, 신포, 원산 지역의 경우 극심한 가뭄이 많이 발생하여 가뭄의 발생 빈도가 높은 지역이라 판단된다.

마. PDSI

북한지역의 21개 측후소 대하여 PDSI 값을 산정하였으며, 상당한 가뭄과 심한 가뭄, 극심한 가뭄에 해당하는 PDSI 값 -2.0 이하를 가뭄이 발생한 것으

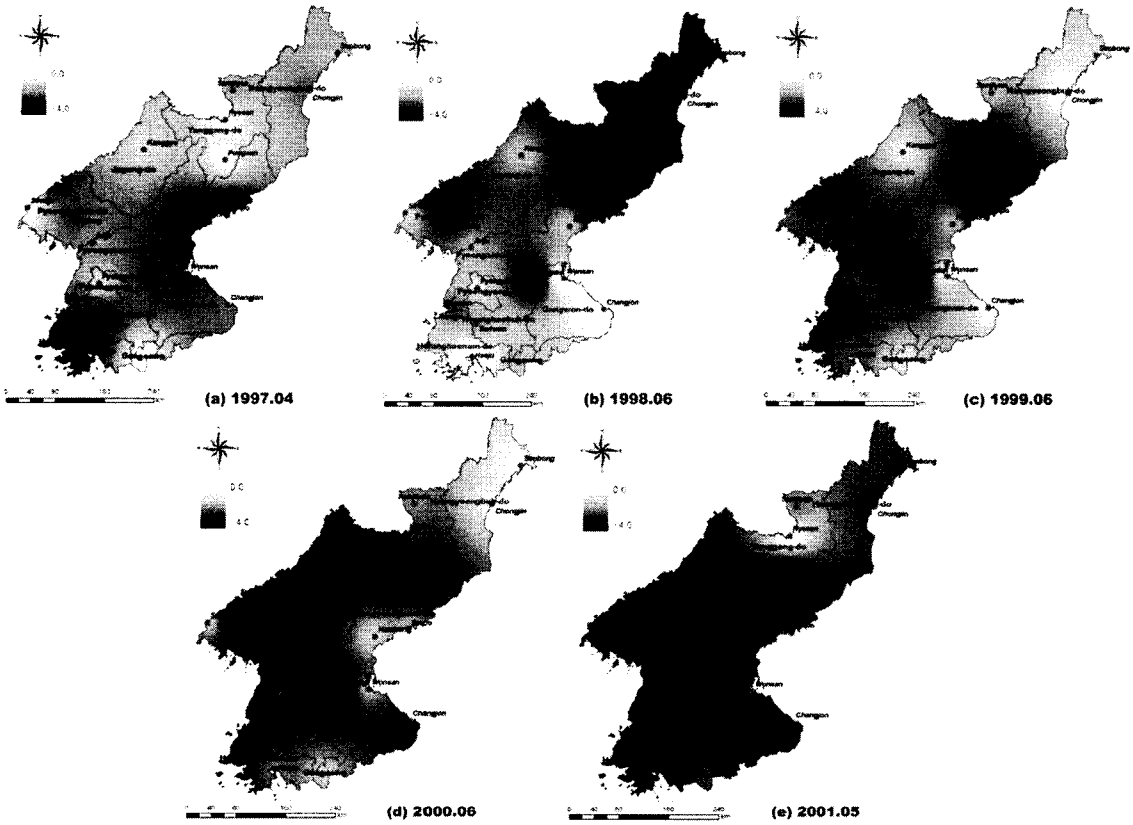

Fig. 3 Result of monthly PDSI for North Korea (1997 ~ 2001 year).

로 설정하여 가뭄이 발생한 기간을 조사한 결과 1997년부터 2001년까지 지속적으로 가뭄이 발생하였다. 따라서 가뭄이 발생했던 1997년부터 2001년까지의 PDSI에 대한 공간분포를 추정하였다(참조 Fig. 3).

1997년 4월의 경우 함경남도의 함흥, 신포 지역과 황해도의 사리원, 용연 지역를 중심으로 심한 가뭄 상태를 나타내는 -3.0 이하의 값이 나타났고, 1998년 6월의 경우에는 함경북도의 선봉, 삼지연, 청진 지역과 함경남도의 신포 지역, 양강도의 풍산 지역, 평안북도의 수풍 지역, 평안남도의 양덕 지역에서 극심한 가뭄 상태를 나타내는 -4.0 이하의 값이 나타났다. 1999년 6월에는 함경도의 풍산, 신포 지역과 평안도의 양덕 지역에서 극심한 가뭄이 나타났으며 2000년 6월에는 수풍, 풍산, 양덕, 용연 지역을 중심으로 북한 전역에서 심한 가뭄과 극심한 가뭄이 나타났다. 2001년 5월에는 12개월 지속기간 SPI와 마찬가지로 북한 전역에서 심한 가뭄과 극심한 가뭄으로 표현되어 2001년에 심한 가뭄이 발생했다고 판단된다.

12개월 지속기간 SPI와 PDSI의 공간분포를 비교해본 결과 1997년 가뭄 발생지역은 함경남도와 강원도였으며, 1998년 가뭄 발생지역은 함경북도 지역으로 일치했다. 또한 1999년, 2000년에는 북한 전역에서 가뭄이 발생했으며 특히 수풍, 풍산, 양덕 지역을 중심으로 SPI와 PDSI 값이 낮게 나타났다. 2001년에는 북한 전역에 극심한 가뭄이 발생하였으며 특히 평양과 풍산 지역을 중심으로 북한의 평안도와 황해도 지역에 가뭄이 발생한 것으로 판단된다.

3. 가뭄지수 비교·분석

본 연구에서는 과거 북한에 발생했던 가뭄사상들을 정량적으로 산정하기 위하여 선정된 가뭄지수에 대한 지역적인 가뭄심도의 표현정도를 검증하기 위해

Table 5 Comparison of drought duration about meteorological drought indices for North Korea (unit : year)

Stations	Dry-day Index	Deciles	PDI	PDSI	12-SPI
Senbong	1998	C	C~D	C~D	D
Samjiyon	2000	C, H	*A*~D, H	B~D, H	B~C, *I*
Chongjin	-	C	B, C	B, C, *I*	B, C, *I*
Hyesan	-	B	B	B~*E*	B~C
Kanggye	2000	*G*	F, H, *I*	*G*, H, *I*	H, *I*
Pungsan	1999, 2000	B, C, *E*, *G*	C~D, *E*~F, *G*~*I*	*C*~*F*, *G*~*I*	B~C, H~*I*
Supung	1997, 1999, 2000	*A*, *E*	*A*~*E*, *F*~*J*	B~D, F~*I*	B~C, F~H, *I*
Sinuiju	1999	*G*	E, H	*I*~J	H~*I*
Kusong	1997, 2000	B~C, *G*	*A*~B, *G*~*I*	B~C, H~*I*	*A*, H~*I*
Hambung	2000	*A*, *I*	*A*, *E*~F, *I*~J	*A*, *I*	B, *I*
Sinpo	1997, 1998, 1999	*A*~B, C, *E*	*A*~*F*, *I*~J	*A*~F, *I*	*A*~C
Anju	1999, 2000	D~*E*, *G*	D~*E*, H~*I*	D~*E*, *I*~J	*I*
Yangdok	1997, 1998, 2000	B, C, *G*, *I*	*C*~*F*, *G*, *I*	*C*~*I*	D~*E*, *G*, *I*
Wonsan	1997, 1999	*I*	*G*~H, *I*	*I*	*A*~B, *I*
Pyongyang	2000	*G*, *I*	*E*~F, H, *I*	H~*I*	H~*I*
Nampo	-	*I*	C~*E*, H	F, H, *I*	*I*
Changjon	-	B, *G*	B~C, *G*~*I*	H, *I*	A, C, H~*I*
Sariwon	1999, 2000	*I*	*E*, H, *I*	H~*I*	H~*I*
Yongyon	-	D, *G*, *I*	*E*~H, *I*	F, *G*~H, *I*	H~*I*
Haeju	1999	*I*	*E*, *G*~H, *I*	*I*~J	H~*I*
Kaesong	2001	*I*	*I*	-	-

※ *1997. Jan.~Jun. : A*, 1997. Jul.~Dec. : B, 1998. Jan.~Jun. : C, 1998. Jul.~Dec. : D, 1999. *Jan.~Jun. : E*, 1999. Jul.~Dec. : F, *2000. Jan.~Jun. : G*, 2000. Jul.~Dec. : *H, 2001. Jan.~Jun. : I*, 2001. Jul.~Dec. : J

※ underline : drought duration determined by drought records (Table 2)

북한의 21개 지역의 가뭄상태를 가뭄지수별로 비교함으로써, 각 가뭄지수에 의한 가뭄정도의 판단이 어느 정도의 신뢰를 가지고 있는지 분석하고자 하였다. 따라서 Table 5와 같이 각각의 가뭄지수별로 가뭄이 나타난 기간을 가뭄 기록에서 나타난 가뭄 기간과 비교하였다. 과우일수의 경우 가뭄빈도 10년 이상인 해를 기준으로 가뭄상태를 판단하였으며, Deciles의 경우에는 Deciles 1 또는 2가 3개월이상 지속된 기간을 가뭄상태로 판단하였다. PDI의 경우 가뭄주의보 또는 가뭄경보가 3개월 이상 지속되는 기간을 가뭄상태로 판단하였으며, PDSI와 SPI의 경우 심한 가뭄과 극심한 가뭄에 해당하는 -3.0 과 -1.5 이하의 값을 기준으로 가뭄상태를 판단하였다.

각 지수별로 가뭄의 기간과 정도를 비교해보면 과우일수의 경우 연강수량을 기준으로 가뭄을 판단하기 때문에 1997, 1999, 2000년 가뭄은 나타났지만, Deciles, PDI, PDSI, SPI에서 나타난 2001년 봄가뭄은 표현하지 못하였다. 1997년 6월, 7월의 경우 가뭄 기록이 있었던 평안도, 함경도, 강원도에서는 가뭄의 기간과 심도는 다르지만 모든 지수들이 가뭄을 표현하였다. 1999년 가뭄기록의 경우 PDI가 함경북도를 제외한 13개 지역에서 가뭄 상태를 표현하였으며, 극심한 가뭄기록이 있었던 2000년, 2001년의 경우 모든 지수들이 극심한 가뭄 상태를 표현하였다.

지역적으로 살펴보면 평안북도 수풍 지역의 경우 과우일수는 1997년, 1999년, 2000년의 가뭄을 표현하였으며, Deciles은 1997년과 1999년의 가뭄을 표현하였다. PDI의 경우 1997년부터 지속된 가뭄이 1999년까지 끝나지 않고 있는 것으로 나타났고, PDSI와 SPI의 경우에도 가뭄상태가 1년 이상 지속되는 것으

로 나타났으며 위의 세 지수의 경우 2001년에도 극심한 가뭄상태가 나타났다. 가뭄의 기간과 심도는 지수별로 다르지만 모든 지수들이 1997년, 1999년, 2000년 가뭄을 표현하였다. 함경남도 신포 지역의 경우 모든 지수들이 1997년, 1998년, 1999년 가뭄상태를 나타냈지만 1997년 심한 가뭄으로 인해 PDI와 PDSI는 1999년까지 가뭄이 지속되었다. 또한 과우일수를 제외한 Declies, PDI, PDSI, SPI의 경우 2000년과 2001년에 북한 전역에서 극심한 가뭄상태가 나타나 이 시기에 가뭄이 발생한 것으로 판단된다.

가뭄 정도를 확률적으로 표현하는 기준이 될 수 있는 과우일수는 연별 과우일수를 이용하여 산정하기 때문에 시기별 가뭄 상태와 진행 중인 가뭄을 평가할 수 없으며, Deciles의 경우 월단위 강수량의 확률 빈도를 이용하여 산정하므로 강우사상의 변화양상이 Deicles의 지속기간에 그대로 반영되기 때문에 일시적인 강우에 의한 지수의 변동이 크게 나타나고 있다. PDI의 경우 빈도해석을 이용하여 산정된 월별 가뭄지수의 누적 값을 사용하므로 다소 많은 량의 비가 내리더라도 가뭄해갈을 충분히 시켜주지 못하는 경우에는 가뭄상태가 지속되었고, SPI의 경우 강우가 발생했던 기록이 무강우월과 평균됨으로써 SPI 값이 상대적으로 크게 나타나 가뭄기간이 지속되는 동안 일시적인 강수에 의한 가뭄의 회복이 느리게 나타났다. PDSI의 경우 또한 누적되는 수분수지분석으로 인해, 계속되는 강수 부족으로 가뭄의 회복이 느리게 나타났다.

각각의 가뭄지수별로 가뭄의 피해기간과 강도의 차이가 발생하기 때문에 각 지수의 장단점과 특성을 파악하고 목적에 부합하는 가뭄지수를 활용하여 가뭄을 평가할 경우 효과적일 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 국내외의 북한에 대한 가뭄피해 관련 기록을 조사하였으며, 조사결과 북한은 1997년 이후 수년간 가뭄이 지속되었고 1999년, 2000년, 2001년 강수량의 부족으로 인해 북한 전역에 극심한 가뭄이 발생하였다. 이러한 과거 북한에 발생한 가뭄을 정량적인 방법으로 해석하기 위하여 북한 21개 지역의 기상자료를 활용하여 과우일수, Deciles, PDI, SPI 그리고 PDSI의 기상·기후학적 가뭄지수를 산정 및 비교하였으며, 공간분포를 추정하여 과거 북한의 가뭄 기록에서 나타난 가뭄 기간과 심도를 비교·검토하였다.

과우일수의 경우 1999년과 2000년에 북한 전역에서 극심한 가뭄이 발생하였지만 연강수량을 기준으로 가뭄을 판단하기 때문에 2001년의 가뭄은 표현하지 못하였다. Deciles와 PDI의 경우 지역별로 가뭄 상태의 시기와 기간은 다르지만 대부분의 지역에서 1997년부터 시작된 가뭄이 회복되지 않고 2001년까지 지속되어 가뭄으로 인한 피해를 겪었을 것으로 판단된다. 12개월 지속기간 SPI와 PDSI의 경우, 1997년부터 가뭄이 지속되어 2000년과 2001년에 북한 전역에서 심한 가뭄과 극심한 가뭄을 나타냈으며 공간분포를 비교해 본 결과 가뭄 발생 지역이 대부분 일치한 결과를 나타냈다. 지수별로 가뭄의 기간과 정도는 차이가 나지만 과거 가뭄년도의 월별 가뭄상황 및 심도를 잘 표현하는 것으로 분석되었으며, 특히 2000년과 2001년에 북한 전역에서 극심한 가뭄상태가 나타나 이 시기에 가뭄이 발생한 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 기상자료 이용한 가뭄지수를 바탕으로 과거 북한에 발생했던 가뭄을 정량적으로 재현하는가를 분석하였다. 이는 각 지수의 장단점 및 특성에 따라 목적에 부합하는 가뭄지수를 적용한다면 북한의 가뭄 피해에 대한 정량적인 가뭄 정도를 파악하는 데 있어서 효과적일 것이다. 따라서 추후 북한지역의 가뭄에 대비한 수리시설 및 농업생산기반 설계에 있어서 기초자료로써 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 『북한 가뭄 특성 분석 및 가뭄 우심 지도 작성』 과제의 일환으로 서울대학교 통일연구소의 연구지원으로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. 기상연구소, 1993, 우리나라 가뭄에 관한 연구.
2. 김상민, 박승우, 1999, 우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교, 한국농공학회 논문집, 41(5), pp. 43-52.
3. 김현영, 1994, 과우량과 과우일수, 한국관개배수, 1(2), pp. 235-237.
4. 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남, 2002, 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구, 한국수자원학회 논문집, 35(4), pp. 397-410.
5. 신수현, 2005, 다중시기 정규식생지수(NDVI)를 이용한 가뭄지수의 한반도 적용성 분석, 석사학위 논문, 인하대학교.
6. 유원희, 2000, 유출량 계열을 이용한 가뭄 지수 산정, 석사학위 논문, 인하대학교.
7. 윤용남, 안재현, 이동률, 1997, Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석, 한국수자원학회 논문집, 30(4), pp. 317-326.
8. 장민원, 유승환, 최진용, 2007, NOAA/AVHRR NDVI를 이용한 북한지역 봄가뭄 분석, 한국농공학회 논문집, 49(6), pp. 21-33.
9. 조홍제, 1996, 도시지역 용수관리를 위한 가뭄예경보지수에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 29(1), pp. 221-233.
10. 통일부, 2000, 주간북한동향.
11. 한국농촌경제연구원, 2001, 북한농업동향.
12. Delaware Comprehensive Water Resources Management Committee, 1983, The management of water resources in Delaware, Water conservation, water shortage subcommittee report, Document No.40-80/82/12/12.
13. FAO, 2001, Special Report: FAO/WFP Crop and Food Supply Assessment Mission to the Democratic People's Republic of Korea, Rome: Food and Agriculture Organization.
14. Gibbs, W. M. & J. V. Maher, 1967, Rainfall deciles as drought indicators, Bureau of Meteorology, Bulletin no. 48. Melbourne.
15. Hershfield, D. M., D. L. Brakensiek & G. H. Comer, 1972, Some Measures of Agricultural Drought, Water Resources Publications.
16. McKee, T. B., N. J. Doesken & J. Kleist, 1993, The relationship of drought frequency and duration of time scales, 8th Conference on Applied Climatology, January, Aneheim, CA, pp. 179-184.
17. Palmer, W. C., 1965, Meteorological Drought, Research Paper No. 45, U.S. Weather Bureau.
18. Smith, D. I., M. F. Hutchinson & R. J. McArthur, 1993, Australian climatic and agricultural drought : Payments and policy, Drought Network News, 5(3), pp. 11-12.
19. UNDP, 2004, Reducing Disaster Risk: a challenge for development, United Nations Development Programme, Geneva.
20. Willeke, G., J. R. M. Hosking, J. R. Wallis & N. B. Guttman, 1994, The National Drought Atlas, Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U. S. Army Crops of Engineers.