

ORIGINAL ARTICLE

## 표준강수지수를 활용한 제주도 가뭄의 공간적 분류 방법 연구

박재규 · 이준호<sup>1)</sup> · 양성기<sup>1)\*</sup> · 김민철<sup>1)</sup> · 양세창<sup>2)</sup>

한국농어촌공사, <sup>1)</sup>제주대학교 토목공학과, <sup>2)</sup>제주특별자치도의회

### Drought Classification Method for Jeju Island using Standard Precipitation Index

Jae-Kyu Park, Jun-ho Lee<sup>1)</sup>, Sung-Keel Yang<sup>1)\*</sup>, Min-Chul Kim<sup>1)</sup>, Se-Chang Yang<sup>2)</sup>

Korea Rural Community Corporation, Naju 58217, Korea

<sup>1)</sup>Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

<sup>2)</sup>Jeju Special Self-Governing Provincial Council, Jeju 63119, Korea

#### Abstract

Jeju Island relies on subterranean water for over 98% of its water resources, and it is therefore necessary to continue to perform studies on drought due to climate changes. In this study, the representative standardized precipitation index (SPI) is classified by various criteria, and the spatial characteristics and applicability of drought in Jeju Island are evaluated from the results. As the result of calculating SPI of 4 weather stations (SPI 3, 6, 9, 12), SPI 12 was found to be relatively simple compared to SPI 6. Also, it was verified that the fluctuation of SPI was greater for short-term data, and that long-term data was relatively more useful for judging extreme drought. Cluster analysis was performed using the K-means technique, with two variables extracted as the result of factor analysis, and the clustering was terminated with seven-time repeated calculations, and eventually two clusters were formed.

**Key words** : Jeju, SPI, Cluster center, Drought, Classification method

#### 1. 서론

지구온난화에 의한 기후변화는 전 세계적으로 강수의 편중이나 이상기온 현상 등이 나타나며 가뭄, 태풍과 집중호우가 빈번히 발생하고 있다. 기후변화는 광의적인 의미로 현재의 기후계가 자연적인 요인과 인위적인 요인에 의해 점차 변화하는 현상을 말한다. 최근 기후변화의 중요한 요인은 주로 인위적인 요인에 의해 기존의 기후변화 속도가 급격하게 증가하는

것으로 정의하고 있다(Song and Choi, 2012). 지구온난화로 인해 지난 100여 년 동안 지구의 평균기온은 약 0.74℃ 증가 하였으며(IPCC, 2007), 특히 1990년 이후 우리나라 남부지역의 봄철가뭄과 여름철에는 태풍과 집중호우가 빈번하게 발생하여 가뭄과 홍수로 인한 피해가 점차 늘어나고 있는 실정이다(Kwon, 2013).

가뭄은 자연재해로서 홍수재해와는 달리 진행속도가 서서히 찾아오는 현상으로 발생부터 발전단계에

Received 2 September, 2016; Revised 22 November, 2016;

Accepted 27 November, 2016

\*Corresponding author : Sung-Keel Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea  
Phone : +82-64-754-3451  
E-mail : skyang@jejunu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이르기까지 수개월에서 수년에 걸쳐 나타나고 있어 시작과 끝을 명확히 정의하기는 매우 어렵다. 또한 가뭄은 다른 재해와 달리 그 피해가 광범위한 지역에 발생할 수 있어 피해규모와 대책 등은 가뭄상황에 따라 단편적이고 제한적일 수밖에 없다(Lee, 2013; Lee, 2016). 자연현상과 물에 대한 수요 간의 상호작용으로 인한 사회에 영향을 미치고 있어 가뭄으로 매년고통을 받고 있으며, 선진국에서도 겪고 있는 가뭄은 경제적, 환경적 영향 그리고 개인에 대한 고통까지 모든 사회가 이러한 자연재해에 경험하며 취약함을 분명히 보여 주고 있다(Kim, 2011). 최근 국내에서는 가뭄정보분석센터가 설립되어 충청 및 수도권 지역에 대해 가뭄모니터링 및 전망정보를 생산하고 있으며, 국가 가뭄 예·경보에 차질이 없도록 시스템 구축을 추진하고 있다.

가뭄 관련 연구로는 McKee et al.(1993)은 강수량 부족이 물 공급원에 영향을 미치게 되어 가뭄이 발생하는 것으로 보고 강수량에 대한 확률분포를 기반으로 한 표준강수지수(SPI, standardized precipitation index)를 개발하였다. Yoon et al.(1997)은 Palmer 가뭄지수(PDSI, palmer drought severity index)를 활용하여 가뭄지수를 구하는 공식을 개발하였다. Lee (2006)은 새로운 가뭄지수인 물공급능력지수(WSCI, water supply capacity index)를 개발하여 기존 가뭄지수와 비교하고 그 적용성을 평가하였으며, Song et al.(2014)은 지하수위 자료를 이용하여 제주도 지하수계의 가뭄영향 평가를 하였다. 이러한 연구들은 가뭄 분석이 기상대에 국한되어 있어 가뭄의 공간 분석하기는 한계가 있다. 따라서 표준강수지수의 특성과 가뭄심도, 가뭄지속기간 등과 같은 복합적 구분 요소가 존재하기 때문에 상호 의존적인 관계를 고려한 가뭄 지역의 동질성 구분이 필요하다.

제주도는 수자원의 98% 이상을 지하수에 의존하기 때문에 기후변화에 따른 수자원 영향에 대해 지속적인 관심과 연구가 필요한 특수지역이다(Song and Choi, 2012). 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 월별 평균 강수계열의 확률분포함수를 추정하여 누가표준강수지수에 따른 가뭄기준에 맞게 분류하고 제주도의 각 지역의 가뭄특성과 지역 분류를 통해 향후 수자원 정책 및 가뭄대책 수립 시 기초정보를 제공

하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 표준강수지수

표준강수지수(SPI, standardized precipitation index)는 McKee(1993)에 의해 개발된 지수로서 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량 등이 상대적으로 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 개발한 가뭄지수이다. 표준강수지수는 특정한 시간에 대한 강수량의 평균치와 강수량의 차를 표준편차로 나누는 것이며, 여기서 평균치와 표준편차는 과거의 강수량 자료로부터 결정된다(Mckee, 1993). 강수량의 분포가 정규분포의 형태를 가지고 있지 않아 정규분포로 변환시켜야 하며 일반적으로 Gamma 분포를 따르는 것으로 알려져 있다(Edward and Mckee, 1997). 이러한 Gamma 분포의 확률밀도 함수는 다음과 같다.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \text{ for } X > 0 \quad (1)$$

여기서,  $a$ 는 형상 매개변수,  $\beta$ 는 축적 매개변수,  $X$ 는 강수량

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} y^{a-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Gamma 확률밀도 함수의 매개변수인  $a$ ,  $\beta$ 는 지점별, 시간축적별(3개월, 6개월, 9개월, 12개월 등)로 추정되며 계산된 매개변수를 사용하여 지점별로 시간 간격에 대한 강수의 누적 확률을 계산하며 이는 다음의 식으로 계산된다.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\hat{a})} \int_0^x x^{\hat{a}-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (3)$$

각 강우사상의 누적확률을 산정한 후, 표준정규분포에 적용시켜 표준강수지수를 산정하게 된다. 산출된

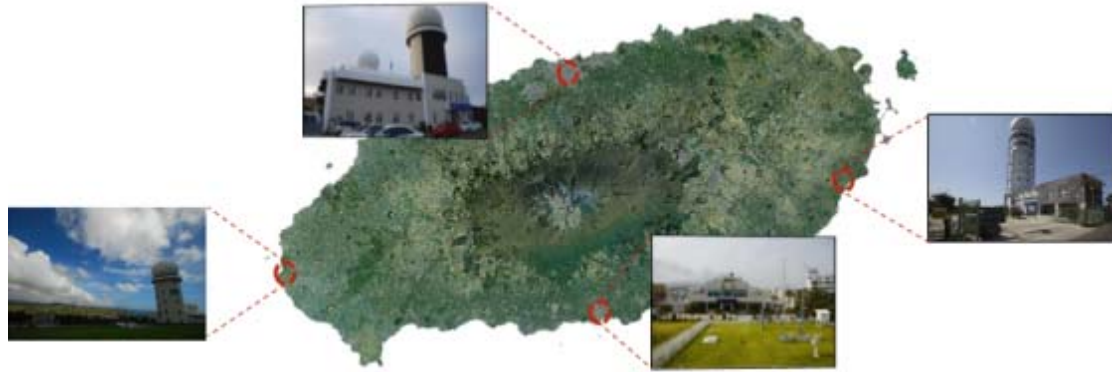


Fig. 1. Location map of weather stations used in study.

표준강수지수를 토대로 가뭄 속성인자를 산정하고 이때, 지속시간 및 가뭄의 심도를 산정하였다.

## 2.2. 입력자료 선정

제주도의 관측소는 총 24개소가 설치·운영되고 있어 관측밀도는 높은 편이나 표준강수지수를 산정하기 위해서는 최소한 30년 이상의 장기간 자료가 필요하다. 따라서 Fig. 1과 같이 제주, 서귀포, 성산, 고산의 4개 관측소를 선정하고, 30년 이상의 실측 강수량 자료를 이용하여 제주도의 표준강수지수를 산정하였다 (Table 1).

본 연구에서는 가뭄지수를 활용하여 가뭄경향을 분석하기 위해 북부지역의 제주기상대, 동부지역의 성산기상대, 남부지역의 서귀포기상대에서 최소 30년간 강수량 자료를 활용하였으나 서부지역의 고산기상대는 관측년수가 28년으로 30년 미만이지만 지역적(북부, 남부, 서부, 동부) 가뭄특성을 분석하기 위하여 가뭄지수 분석에 포함하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 관측소별 가뭄지수 적용

표준강수지수는 특정한 시간에 대한 계산 단위를 3, 6, 9, 12개월 등과 같이 설정하고 시간 단위별로 강수부족량을 계산하여 개개의 용수 공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법이다. 월별 평균 강수계열의 확률분포함수를 추정하여 누가표준강수지수에 따른 가뭄의 판정은 Table 2와 같다.

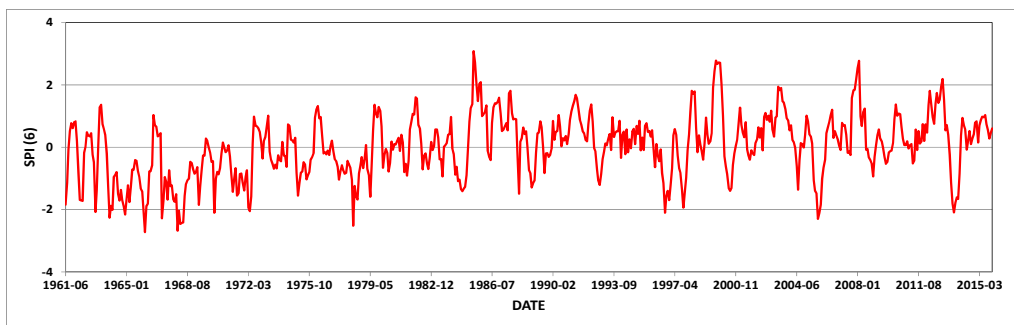
가뭄 현상 분석을 위하여 제주도내 4개의 기상관측소에 대하여 가뭄지수 분류기준을 적용하였다. 활용된 SPI 지속기간이 각 관측소별 6개월과 12개월인 SPI 6, SPI 12을 제시하고자 제주, 서귀포, 성산기상대는 최소 30년 이상의 강우자료를 대상으로 분석하였으나, 지역특성을 고려하기 위해 고산기상대는 관측년수가 28년이지만 1988년부터 2015년까지 대상으로 추가 분석을 실시하였다.

Table 1. Specification of weather stations

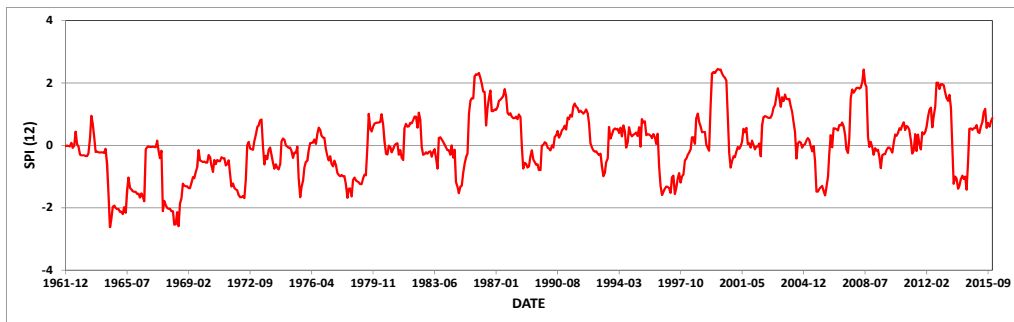
Weather station	Latitude	Longitude	E.L. (m)
Jeju	33° 30' 51.0"	126° 31' 46.7"	20.5
Seogwipo	33° 14' 46.0"	126° 33' 55.2"	47.0
Seongsan	33° 23' 13.6"	126° 52' 48.7"	17.8
Gosan	33° 17' 37.7"	126° 09' 61.1"	71.5

**Table 2.** Classification of drought intensity using SPI

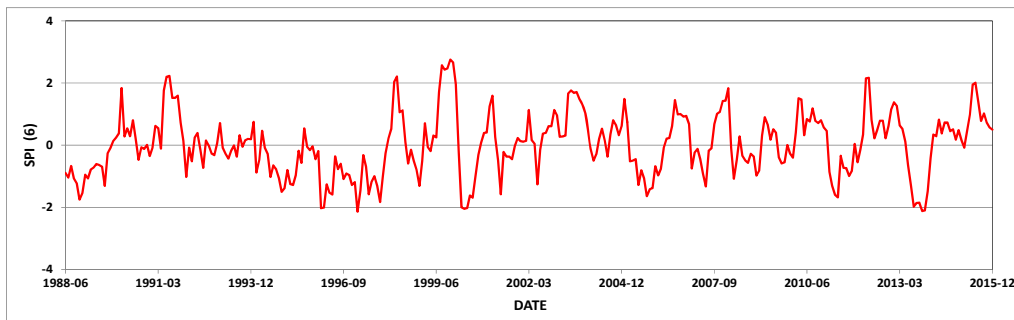
SPI value	Classifications
2.00 <	Extreme wet
1.50 ~ 1.99	Very wet
1.00 ~ 1.49	Moderately wet
-0.99 ~ 0.99	Near normal
-1.00 ~ -1.49	Moderate drought
-1.50 ~ -1.99	Severe drought
-2.00 >	Extreme drought



(a) Jeju weather station of SPI 6

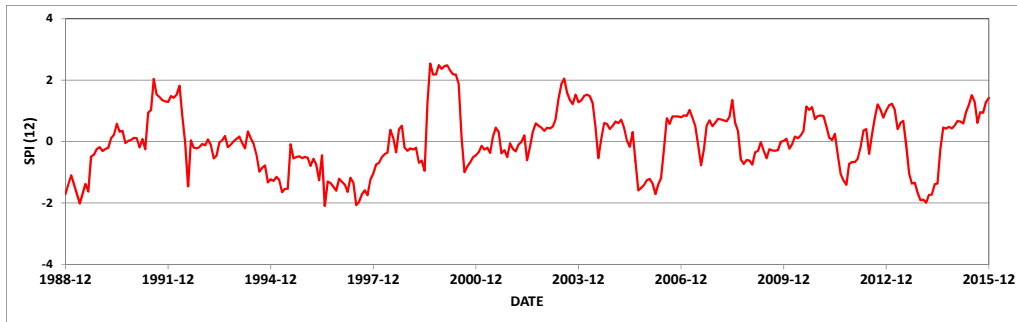


(b) Jeju weather station of SPI 12

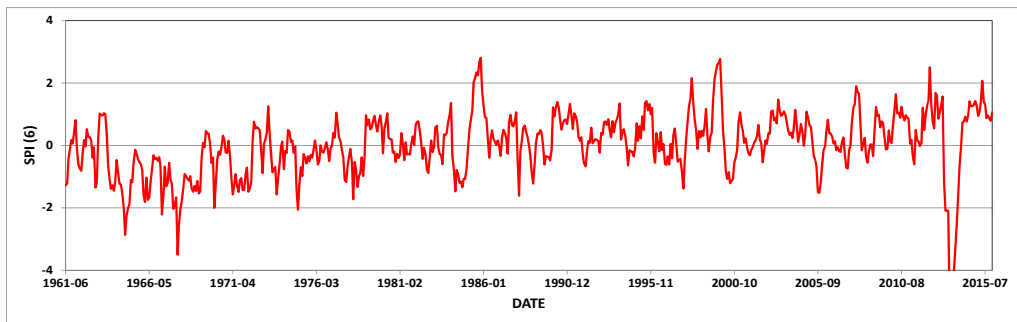


(c) Gosan weather station of SPI 6

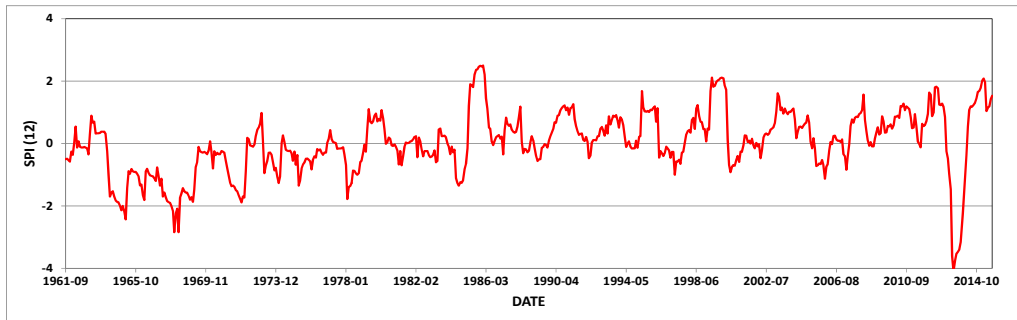
**Fig. 2.** Monthly standardized precipitation index showing SPI 6 and SPI 12.



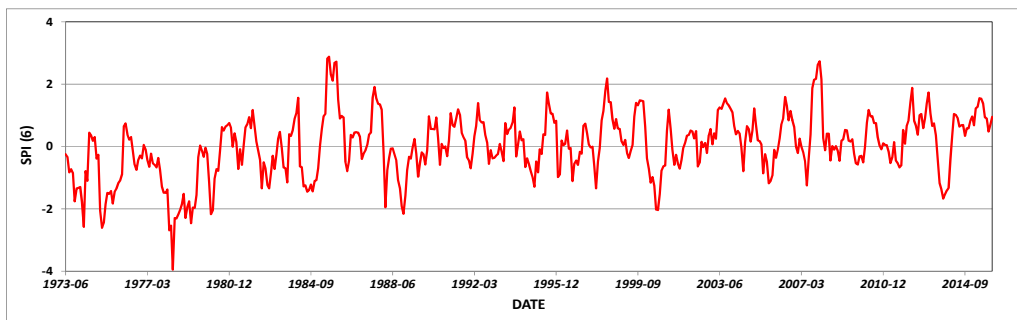
(d) Gosan weather station of SPI 12



(e) Seogwipo weather station of SPI 6

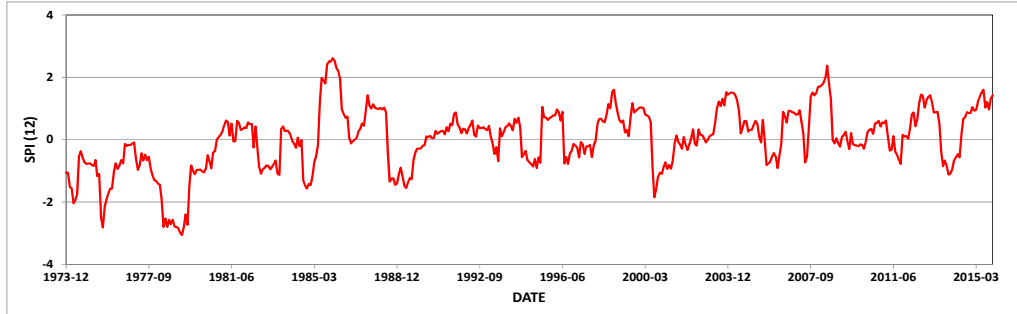


(f) Seogwipo weather station of SPI 12



(g) Seongsan weather station of SPI 6

Fig. 2. Continued.



(h) Seongsan weather station of SPI 12

Fig. 2. Continued.

4개소 기상대의 관측소별 표준강수지수를 살펴보면 SPI 12가 SPI 6에 비해 비교적 단순한 변동 경향을 가지고 있는 것으로 확인되었다. SPI 12에서도 가뭄으로 나타나는 경우는 발생한 가뭄의 정도가 심함을 의미하며, 전반적으로 시간에 따른 증가나 감소 경향을 보기는 어려우며, 다른 기간(3, 6, 9개월)의 표준강수지수보다 계절 변동도 약하게 나타났다. 따라서 단기기간일수록 그 변동성이 심하고 장기간일수록 변동이 매우 적어지게 되는 것을 확인하였다. 단기간 표준강수지수는 상대적으로 약한 정도의 가뭄도 관측이 가능하고, 장기간의 표준강수지수는 비교적 심한 가뭄을 판단하기 위한 자료로 활용이 가능하다.

과거 가뭄 현상 분석을 위하여 활용한 SPI 지속기간이 각각 6개월과 12개월인 SPI 6, 12를 이용하여 극심한 가뭄을 지시하는 1.5 이하가 발생한 기준으로 분석을 실시하였다. 제주도북부지역에 위치한 제주기상대의 월별 SPI 6과 SPI 12의 경우에는 1966년 2월에 -2.72, 1964년 8월에 -2.36 순서로 가뭄이 극심했던 것으로 분석되었으며(Fig. 2(a, b)), 서부지역의 고산기상대의 경우 1997년 2월에 -2.14, 1996년 7월에 -2.1 순서로 극심했던 것으로 분석되었다(Fig. 2(c, d)). 남부지역의 서귀포기상대의 SPI 6, 12는 2013년 6월에 -5.21, 2013년 9월에 -4.1 순서로 가뭄이 극심했던 것으로 분석되었으며(Fig. 2(e, f)), 동부지역의 성산기상대의 경우 1978년 5월에 -3.95, 1979년 3월에 -3.06 순서로 가뭄이 극심하였던 것으로 분석되었다(Fig. 2(g, h)). 다음 Table 3은 최근 2015년부터 30년간(1986~

2015)의 각 기상대의 SPI 6, 12의 가뭄지수를 제시하였다.

각 지역의 기상대별로 연평균 가뭄지수를 분석한 결과, 가뭄이 극심했던 해는 1964년, 1965년, 1968년, 1978년, 2013년으로 나타났다. 1968년의 경우에는 북부와 남부지역이 상대적으로 가뭄이 매우 극심했으며, 1978년은 북부와 동부지역이 상대적으로 가뭄이 극심하였다. 또한, 1997년은 북부와 서부지역이 극심한 가뭄으로 나타나 지역별로 각기 다른 가뭄의 상태를 보여주고 있어 관측소별 통계적 분석을 통해 지역 구분을 실시하였다.

### 3.2. 표준강수지수에 따른 지역 구분

지역별 가뭄의 특성분석은 분석하기 위한 표준강수지수 분석 결과로만 구분할 수 없어 월별 표준강수지수의 특성과 가뭄심도, 가뭄지속기간 등과 같은 복합적 구분 요소가 존재하기 때문에 상호 의존적인 관계를 고려하기 위한 가뭄 지역의 동질성을 구분해야 한다. 따라서 가뭄 속성 인자들 간의 상관관계가 높은 변수인 가뭄지속시간과 가뭄 심도를 변수로 넣어 분석을 수행하였다.

인자분석 결과 Fig. 3과 같이 요인별 고유치가 생성되었으며 일반적으로 인자분석 후 주성분의 수를 결정하기 위한 누적 기여율이 70% 이상인 3번째 요인부터는 가뭄의 특성인자를 설명해 주는 요인으로 판단하기가 어렵기 때문에 Table 4과 같이 가뭄 속성인자 12개의 변량을 71.8%를 설명해 주는 2개의 요인을 주요인자로 채택하였다.

**Table 3.** Summary of annual SPI 6 and SPI 12 at Jeju, Gosan, Seogwipo and Seongsan weather station

	Jeju		Gosan		Seogwipo		Seongsan	
	SPI6	SPI12	SPI6	SPI12	SPI6	SPI12	SPI6	SPI12
1986	0.88	1.53	-	-	0.34	1.32	0.28	1.23
1987	0.96	1.31	-	-	0.47	0.36	0.75	0.69
1988	-0.32	0.18	-1.17	-1.71	-0.22	0.21	-0.89	-0.10
1989	-0.05	-0.34	-0.56	-1.14	-0.09	-0.17	-0.47	-0.98
1990	0.40	0.19	0.28	0.08	0.85	0.63	0.24	0.06
1991	1.02	1.00	1.06	0.89	0.54	0.85	0.48	0.44
1992	0.04	0.44	-0.19	0.42	0.07	0.04	0.31	0.35
1993	0.25	-0.16	0.01	-0.10	0.65	0.57	0.10	0.07
1994	0.25	0.39	-0.58	-0.45	0.09	0.36	-0.23	0.07
1995	0.45	0.45	-0.45	-0.92	0.88	0.59	0.49	0.00
1996	-0.85	-0.52	-1.20	-1.11	-0.20	0.38	-0.32	0.15
1997	-0.67	-1.18	-1.16	-1.52	-0.28	-0.44	-0.09	-0.26
1998	0.60	0.19	0.33	-0.18	0.81	0.62	1.04	0.92
1999	1.45	1.18	1.26	0.84	1.37	1.17	0.64	0.67
2000	-0.27	1.03	-0.67	0.85	-0.43	0.69	-0.96	-0.23
2001	0.25	0.12	0.00	-0.14	0.21	-0.11	0.00	-0.45
2002	0.65	0.39	0.28	0.08	0.23	0.03	0.11	0.00
2003	1.20	1.39	1.08	1.20	0.95	0.96	0.98	0.80
2004	-0.01	0.52	0.19	0.76	0.44	0.72	0.35	0.87
2005	-0.71	-0.49	-0.63	-0.32	-0.24	0.01	-0.22	-0.03
2006	0.38	-0.38	0.43	-0.21	0.17	-0.27	0.65	0.27
2007	0.78	0.80	0.01	0.43	0.29	0.09	0.57	0.68
2008	0.58	1.33	-0.09	0.28	0.23	0.62	0.39	1.18
2009	-0.04	-0.25	0.03	-0.28	0.53	0.41	0.01	-0.06
2010	0.56	0.36	0.75	0.45	0.95	0.92	0.43	0.27
2011	0.12	0.17	-0.76	-0.25	0.22	0.56	-0.20	-0.12
2012	1.29	1.24	0.80	0.33	1.27	1.27	0.97	0.80
2013	-0.41	0.55	-0.66	-0.19	-2.64	-1.53	-0.36	0.27
2014	0.33	-0.39	0.25	-0.67	0.84	-0.49	0.60	-0.01
2015	0.68	0.72	0.87	1.01	1.17	1.58	1.05	1.22

인자분석의 결과로 추출된 2개의 변수로 비계측적 군집방법 중 하나인 K-means 기법을 이용하여 군집 분석을 실시하였으며, 여기서, 비계측적 군집화 방법은 상대적으로 비교적 극단치의 영향이 적은 것이 특징이다. K-means 군집방법은 각 군집화 과정에서 발생하는 오류를 최소화하는 방향으로 군집화를 계속하

게 되며 결국 오류가 발생하지 않는 군집화 단계에서 군집이 종료된다. 본 연구에서는 7번의 반복 계산을 걸쳐 군집이 종료되었으며 최종적으로 2개의 군집이 형성되었다. 2개의 변수를 사용한 군집분석의 결과는 다음 Table 5와 같다.

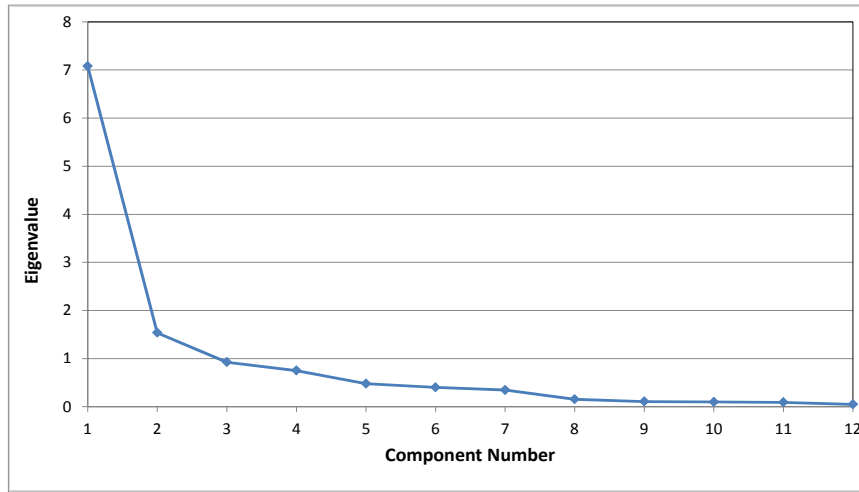


Fig. 3. Scree plots after principal component analysis.

Table 4. Total variance explained of components

Component	Initial eigenvalues			Extraction sums of squared loadings			Rotation sums of squared loadings		
	Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %
1	7.078	58.980	58.980	7.078	58.980	58.980	4.667	38.895	38.895
2	1.536	12.796	71.776	1.536	12.796	71.776	3.946	32.881	71.776
3	0.924	7.696	79.472						
4	0.750	6.250	85.722						

Table 5. Final cluster centers of weather stations

Cluster	1	2
weather station	Jeju, Gosan	Seogwipo, Seongsan

4. 결론

지구온난화에 의한 기후변화는 전 세계적으로 강수의 편중이나 이상기온 등의 현상들이 빈번하게 발생하여 가뭄 및 홍수로 인한 피해가 점차 늘어나고 있다. 제주도는 수자원의 98% 이상을 지하수에 의존하고 있기 때문에 기후변화에 따른 수자원 영향에 대해 지속적인 관심과 연구가 필요한 지역이다. 표준강수지수를 활용한 제주도 가뭄의 공간적 특성을 분석하기 위하여 가뭄 속성 인자들 간의 상관관계가 높은 변

수인 가뭄지속시간과 가뭄 심도를 변수로 넣어 각 지역의 가뭄특성과 지역 분류를 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 표준강수지수를 산정하기 위해 제주, 고산, 서귀포, 성산의 4개 관측소를 선정하여 최소 30년간의 강수량 자료를 활용하여 가뭄 경향을 분석하였으나 서부지역의 고산기상대는 관측년수가 28년으로 30년 미만이나 지역적 가뭄 분류하기 위해 분석에 포함하였다.



2) 4개소의 기상대의 관측소별 표준강수지수(SPI 3, 6, 9, 12)를 산정한 결과, SPI 12가 SPI 6에 비해 비교적 단순한 경향을 가지고 있는 것으로 확인되었으며 단기간일수록 변동성이 심하고 장기간 표준강수지수는 비교적 극심한 가뭄을 판단하기 위한 자료로 활용이 가능한 것을 확인하였다.

3) 제주도 북부지역에 위치한 제주기상대의 월별 SPI 6과 SPI 12의 경우에는 1966년 2월에 -2.72, 1964년 8월에 -2.36 순서로 가뭄이 극심했던 것으로 분석되었으며, 서부지역의 고산기상대의 경우 1997년 2월에 -2.14, 1996년 7월에 -2.1 순서로 극심했던 것으로 분석되었다. 남부지역의 서귀포기상대의 SPI 6, 12는 2013년 6월에 -5.21, 2013년 9월에 -4.1 순서로 가뭄이 극심하였던 것으로 분석되었으며, 동부지역의 성산기상대의 경우 1978년 5월에 -3.95, 1979년 3월에 -3.06순서로 가뭄이 극심하였던 것으로 분석되었다.

4) 지역별 가뭄의 특성을 고려하기 위한 지역을 구분하기 위하여 한 가지 요소로만 구분할 수 없어 가뭄 속성 인자들의 동질성을 구분하였으며 가뭄 속성인자의 변량을 71.8%를 설명해 주는 2개의 요인을 주요인으로서 선정하였다.

5) 인자분석의 결과로 추출된 2개의 변수로 비계측적 군집방법 중 하나인 K-means 기법을 이용하여 군집분석을 실시하여 7번의 반복 계산에 걸쳐 군집이 종료되었으며 최종적으로 2개의 군집이 형성되었다.

기후변화는 전 세계와 제주도 수자원에 지속적인 영향을 미칠 것으로 전망되어 수자원 정책 평가 및 관리에 매우 신중한 대비책을 요구하고 있다. 그러나 제주도는 지역적 특성으로 인하여 한라산을 중심으로 지역별 가뭄특성과 변동성이 서로 다르게 나타나므로, 가뭄을 정확하게 예측하는 것은 매우 어렵다. 향후 다양한 입력 자료를 활용하고 가뭄 산정기법과 가뭄 분류 등을 통하여 활발한 후속 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(16RDRP-B076272-03)에 의해 수행되었습니다.

### REFERENCES

- Edwards, D. C., Mckee, T. B., 1997, Characteristics of 20th century drought in the united states at multiple time scales, Atmospheric Science Paper, 634, 101-112.
- IPCC, 2007, Climate change 2001 : The scientific basis, IPCC contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kim, S. S., 2011, Drought assessment in the Korean Peninsula through drought frequency analysis, University of Seoul.
- Kwon, J. J., 2013, Improvement of the classification standard of drought index for the Korean Peninsula, Master Thesis, Seokyeong University.
- Lee, D. R., 1999, Relationship between El Ni o/southern oscillation and drought in Korea, Journal of Korea Water Resources Association, 32(2), 111-120.
- Lee, E. Y., 2013, Spatial characteristics of drought in South Korea by standard precipitation index, Master Thesis, Konkuk University.
- Lee, J. H., 2016, Impact analysis of discharge and drought of climate change scenario in Jeju Island, Jeju National University.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Jleist, J., 1993, The relationship of drought fequency and duration of time scales, Proceedings Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, C. A., 179-187.
- Song, S. H., Choi, K. J., 2012, An appropriate utilization of agricultural water resources of Jeju island with climate change( I ), Koran Society of Soil and Groundwater Environment, 17(2), 62-70.
- Song, S. H., Lee, B. S., Choi, K. J., Kim, J. S., Kim, G. P., 2014, Evaluation of drought effect on groundwater system using groundwater level data in Jeju Island, Journal of the Environmental Sciences, 23(4), 637-647.
- Yoon, Y. N., Ahn, J. H., Lee, D. R., 1997, An Analysis of drought using the Palmer's method, Journal of Korea Water Resources Association, 30(4), 317-326.