

관측 자료를 이용한 가뭄지수의 평가

Evaluation of Drought Indices using the Drought Records

김 광 섭* / 이 준 원**

Kim, Gwangseob / Lee, Junwon

Abstract

In this study, the suitability of drought indices was analyzed using the quantified drought records from official reports, newspapers and drought indices estimated using precipitation and air temperature data of 69 weather stations from 1973 to 2009. Test statistics of the suitability of meteorological drought indices were evaluated using the ROC analysis. Results demonstrated that PN shows the best relationships with drought records. SPI3 and Deciles Distribution Ratio also show good relationships with drought records and their variability according to the administrative divisions is relatively small. Results of the analysis of the spatial and temporal variability of drought and the accuracy of the drought indices can be used to evaluate the accuracy of drought indices in drought monitoring and prediction, and to select the best index in drought management.

Keywords : Drought, ROC, SPI, PDSI, PN

요 지

본 연구에서는 가뭄지수들의 적합도와 가뭄의 변동특성을 파악하기 위하여 보고서 등 각종 문헌과 신문기사를 통해 수집한 실제 가뭄발생 기록을 정량화하고 1973년부터 2009년까지 전국 69개 기상관측소의 강수 및 기온 자료를 이용하여 산정한 기후변수와 각종 가뭄지수를 행정구역 별로 산정하여 비교 분석함으로써 기상학적 가뭄지수의 실제 가뭄에 대한 표현정도를 평가하였다. 평가를 위하여 ROC 공간상의 각 지수의 위치정보를 검정통계량으로 이용하였다. 분석결과 전반적으로 비교적 단기가뭄의 평가에 적합한 SPI3, PDSI, PN, Deciles이 실제 가뭄발생 기록과 가장 높은 상관성을 보였다. 행정구역에 따른 산포정도는 전반적으로 비교적 낮은 지역적 편차를 보이며, 기온과 증발량은 상대적으로 높은 지역적 편차를 나타냈다. 본 연구를 통해 우리나라 전 지역 가뭄의 시·공간적인 가뭄의 변화도를 파악하고 실제 가뭄에 대한 가뭄지수의 반영 정도를 파악하고, 더불어 ROC 분석을 통한 통계적 검증방법을 이용하여 가뭄지수의 적합도를 분석할 수 있는 가능성을 제시하였다.

핵심용어 : 가뭄, ROC, 표준강수지수, 파머가뭄지수, 평균치비율

1. 서 론

여름철에 강수가 집중되고 겨울철과 봄철의 강수량이 여름철 강수량에 비하여 상대적으로 부족한 월별 강수분

포 특성을 가지는 우리나라에서는 겨울철에서 봄철로 이어지는 강수 부족 기간에 크고 작은 가뭄이 빈번하게 발생하고 있다. 더구나 최근 들어 연 강수량이 증가함에도 불구하고 강수일수는 점차 감소하며 연강수량의 증분의

* 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 부교수 (e-mail: kings@knu.ac.kr)
Associate Pfor., Dept. of Architecture and Civil Engrg., Kyungbook National Univ, Daegu 702-701, Korea

** 교신저자, 경북대학교 건축토목공학부 석사과정 (e-mail: civilee@knu.ac.kr)
Corresponding Author, Dept. of Architecture and Civil Engrg., Kyungbook National Univ, Daegu 702-701, Korea

대부분이 여름철에 집중되며 봄철과 겨울철 강수량이 감소하는 경향 속에서 가뭄해해의 위험성이 기후변화와 지역적 영향과 더불어 점점 증가하고 있으며, 세계적으로도 그 위험성을 경고하고 있다(Hanson and Weltzin, 2000). 이와 같이 기후변화에 따른 지역적 강수특성변화에 따라 여름철 집중호우와 비교적 적은 강수량을 나타내는 봄, 가을, 겨울의 강수부족 및 가뭄특성에 대한 분석을 통하여 향후 수자원관리방안에 대한 지속적 연구가 필요한 시점이다. 국가적 차원에서 가뭄관리형태의 예를 보면 미국의 경우 NIDIS (National Integrated Drought Information System)와 NDMC (National Drought Mitigation Center)를 통해 미국 전역 뿐 아니라 북미 전역에 관하여 평균치비율(Percent of Normal), SPI (Standardized Precipitation Index), PDSI (Palmer Drought Severity Index), CMI (Crop Moisture Index), SWSI (Surface Water Supply Index), RDI (Reclamation Drought Index)와 십분위분배율(Deciles Distribution Ratio)의 6가지 지수를 종합하여 공간적 분포를 실시간으로 나타내며 이를 종합하여 4단계의 가뭄정도로 분류하고 있다. 우리나라의 경우 기상청에서 SPI, PDSI, PN, 강수량십분위, 강수량효과비와 증발량을 제시하고 있으며 우리나라 전역에 걸쳐 가뭄관련 정보를 4단계로 구분하고 있다. 이와 같이 우리나라 또한 가뭄의 공간 분포를 나타내고 있지만 가뭄의 예보, DB구축 및 자료제공이 명확하지 않다는 한계가 있다. 또한, 나타내는 가뭄지수와 실제 우리나라 가뭄 피해지역과의 명확한 상관특성 및 우리나라 기후특성을 고려한 각 가뭄지수의 적합성에 대한 종합적인 분석이 이루어지지 않은 상태이다.

가뭄은 홍수와 더불어 큰 기상재해 중 하나이지만 그 특성상 시작과 끝을 명확히 확인하기 힘들고 그 피해 또한 광범위하게 나타나 여러 형태의 가뭄지수들이 제시되고 있음에도 불구하고 한시적이며 국부적인 홍수 피해와 달리 정량적 분석과 규명에 많은 어려움이 있는 실정이다. 가뭄의 공간적인 분포를 알아내고 보다 더 정확한 향상된 가뭄지수를 찾아내고자 하는 노력은 계속되고 있다. 김보경 등 (2006)과 정민수 등 (2006)은 강수량 자료로부터 산정된 SPI 지수를 EOF 기법을 이용하여 핵심적인 공간정보로 축약하였으며, 이를 다시 Kriging 기법을 이용하여 우리나라 전역으로 분포 후 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 관계곡선으로 나타내었다. 또한, 김대하와 유철상 (2006)은 구형필스모형을 이용하여 가뭄사상을 정량화하고 남한지역의 가뭄심도의 공간적인 분포특성을 분석하였으며, 이재준과 이창훈 (2005)은 우리나라의 주요 가뭄 사상에 대한 가뭄해석을 위해 PDSI, SPI, KBDI 가뭄지수를 산정하고 이를 분석하였다. 김광섭과 박한균 (2010)은 위성자료를 이용하여 공간가뭄지수를 산정하였

다. 이처럼 각종 가뭄지수의 연구와 공간적 가뭄지수에 대한 관심은 끊임없이 이어지고 있다. 국내뿐만 아니라 국외에서도 공간적 가뭄 분포와 각종 가뭄지수에 대한 연구는 계속되고 있다. Bonaccorso et al (2003)은 유럽 Sicily 섬의 SPI 지수 공간분포를 주성분 분석(Principal Component Analysis)하였으며, Dai et al. (2004)은 EOF 분석을 통해 월 단위 PDSI를 공간적 패턴으로 나타낸 바 있다. 이처럼 가뭄의 공간분포 형상을 여러 가지 형태로 재해석 하는 연구는 계속되고 있으며, 다양한 가뭄지수의 비교 및 우리나라 실제 가뭄간의 적용성을 검토하는 연구도 여러 차례 시행되었다. 류재희 등 (2002)은 PDSI와 SWSI를 통해 낙동강 유역의 가뭄현상을 비교 하였으며, 김성준 등 (2009)은 금강유역을 대상으로 MSWSI (Modified SWSI)를 통해 수문학적 가뭄평가를 실시한 바 있다. 하지만, 지금까지의 평가 및 비교를 보면 특정 가뭄사상 또는 단위 유역에 대한 검토로 국한되어 있으며 우리나라 전체의 가뭄분포를 정량화하여 시·공간 분포로 표현하거나 장기간의 가뭄 기록을 가뭄지수와 비교, 평가하는 연구는 이루어지지 못하고 있다. 가뭄의 시·공간 분포 특성의 연구는 앞으로의 재해방지와 수자원 관리를 위해 다양한 정보를 제공할 것이며, 뿐만 아니라 제공되는 각종 가뭄지수의 적합성 평가 및 보다 개선된 가뭄지수의 제시를 위한 지속적인 연구에 기초가 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 전역을 대상으로 가뭄의 공간적 분포를 확인하며, 실제 발생한 가뭄과 비교함으로써 각종 기후변수 및 가뭄지수의 가뭄표현의 정도를 평가하고자 한다. 1973년부터 2009년까지 전국 69개 지상관측소의 강수, 기온 등의 월별 기상자료를 사용하여 기상청에서 사용 중인 가뭄지수를 산정하였으며, 지점의 정보를 공간으로 확장하여 이를 행정구역단위로 나타내었다. 이와 같이 생성된 기후변수와 가뭄지수의 시·공간 분포를 1973년부터 2009년까지 실제 가뭄 사례와 비교함으로써 우리가 사용하고 있는 가뭄지수와 각종 기후변수의 실제 가뭄의 표현정도를 평가하였다. 각종 가뭄지수가 보여주는 가뭄정보의 공간분포와 실제 발생한 가뭄기록을 비교하기 위해 문헌으로부터 수집된 가뭄자료를 정량적 공간정보로 변환하였다. 특정 기간 가뭄이 발생한 월을 대상으로 On-Off 형식으로 행정구역도에 표시하고 이를 빈도로 나타내어 기존의 가뭄지수와 비교 하였다. 그리고 기후변수 및 가뭄지수의 실제 가뭄표현의 정도를 분석하기 위하여 ROC (Receiver Operating Characteristic) 분석을 실시하였으며 이를 이용하여 우리나라 전 지역의 시·공간적인 가뭄 분포 특성을 파악하고 각종 가뭄지수의 실제 가뭄 반영정도를 평가하였다.

2. 자료구축

2.1 대상기간과 지점선정 및 가뭄표현 단위 선정

본 연구에서는 전국 69개 기상관측지점의 1973년부터 2009년까지 강수와 기온의 시 자료 및 일 자료 자료를 수집하였으며, 이를 월 평균값으로 산정하여 분석에 사용하였다. 기상청 관할의 관측지점 중 1972년 이전의 자료가 구축되어 있는 관측지점의 수는 28개로 제한되므로 전국적인 공간분포의 파악이 용이하다고 판단되는 1973년 (59개 관측지점)부터 2009년 (76개 관측지점)까지의 기간을 분석기간으로 선정하였으며 해마다 증가되는 관측소를 고려하여 사용된 관측소는 Table 1과 같다. 또한, 산정 지수들의 공간분포를 최대한 반영하기 위하여 지형의 영향을 많이 받는 일부 섬 지역(백령도, 흑산도, 울릉도, 제주도 4개 관측지점)을 제외하여 총 69개 관측지점을 선정하였다 (Fig. 1).

가뭄의 공간적인 분포를 효과적으로 표현하기 위해서 기상청에서 제공하는 가뭄정보와 동일한 형태로 우리나라 전역을 228개의 시, 군, 구 단위로 구분한 행정구역도로 표현하였다. 마찬가지로 보고서 등 각종 문헌과 신문 기사로부터 수집한 가뭄기록 또한 행정구역단위에 기초하여 발생기록을 정량화 하였다. 실제로 발생한 가뭄기록

을 공간정보로 확장한 후 실제 가뭄정보와 가뭄지수 및 각종변수들과의 공간상관성을 비교하기 위하여 69개 지점 각종 변수의 지점 정보를 역거리가중법으로 우리나라 전역의 행정구역에 대한 대푯값을 산정하였다. 1973년 59개의 관측지점에서 매년 증가하는 관측지점을 고려하여 2002년 이후로는 69개의 관측지점을 이용하여 공간으로 확장하였다. 이처럼 우리나라 전역을 행정구역별로 나타냄으로서 실제 가뭄피해와 직접적인 관련이 있는 주민에 대한 정보제공과 행정구역내 방재대책을 마련하는 지방자치체의 효과적인 이용이 가능할 것으로 판단된다.

2.2 보고서 등 문헌과 신문 기사를 이용한 가뭄 기록의 정량화

조선시대부터 지금까지 가뭄에 대한 피해사례는 꾸준히 나타나고 있다. 과거 농업 사회에서는 농작물의 수확에 관한 가뭄피해 사례가 대부분이었으며, 근대 산업사회의 발전으로 인해 농작물 수확에 관한 가뭄 사례와 더불어 강수의 부족량, 저수지 저수율 등과 같이 좀 더 구체적인 내용으로 표현되고 있다. 하지만 가뭄의 피해는 일정한 수치로 나타내기보다 실제 생활에서 체감에 의한 물 부족이 더욱 강하게 표현된다. 따라서 각종 가뭄의 피해를 나타낸 기록을 확인해보면 특정 가뭄이 있는 시기와 지역에 대해서만 가뭄의 정도가 표현될 뿐 정확한 시점 및 종점의 기록과 수치화된 가뭄의 심도를 확인하기 어렵다. 본 연구에서는 가뭄에 관한 문헌자료 수집을 위해 각종 보고서 (건설교통부, 2002, 1995; 농업기반공사, 2005, 2004, 2003; 한국수자원공사, 2001)와 1973년부터 2009년까지 각종 신문의 가뭄 기사를 토대로 가뭄 사례를 수집 및 종합하였다. 장기간의 강수부족으로 야기되는 가뭄은 시점과 종점을 명확히 구분하기 힘들다. 이러한 가뭄의 특성상 가뭄의 기록을 정량화 하는 것은 상당한 어려움이 있다. 본 연구에서는 좀 더 객관적인 과거 가뭄의 자료를 얻고자 기사 및 보고서에 표현된 대충이 느끼는 실질적인 체감의 가뭄일시를 기준으로 기사 및 보고서의 본문에서 표현하고 있는 무강수 일수와 시점과 종점의 정보를 종합하여 1개월 단위로 구분하였다 (Table 2).

가뭄기록의 공간적 분포특성 및 상관성을 확인하기 위해서는 문헌 및 가뭄기록에 나와 있는 정보를 행정구역도에 'on-off' 방식으로 나타내었다. 가뭄기록이 없는 기간과 가뭄의 기록이 있지만 가뭄이 발생한 지역을 제외한

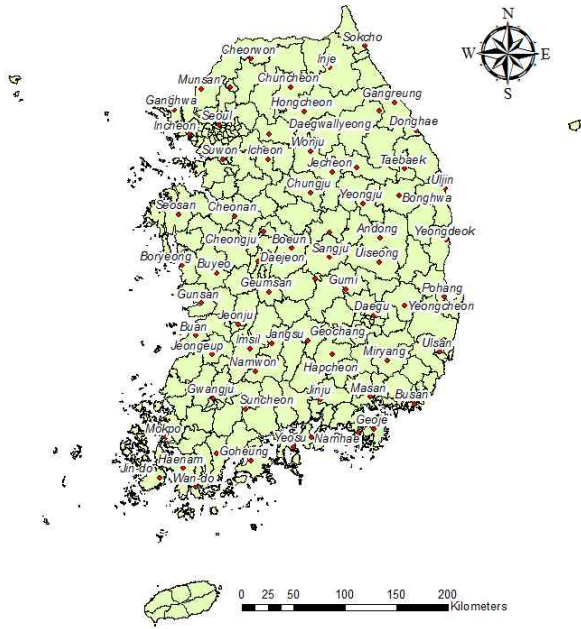


Fig. 1. Locations of 69 Weather Stations

Table 1. Total Number of Weather Stations Used to Generate Drought Indices


Year	1973	1985	1988	1992	1995	1998	2002
Number of stations	58	60	63	64	65	66	69

Table 2. Drought Record Collected by Reports and Newspaper

년도	일시	지역	기사 및 문헌 내용	기간(월)
1973	04.04	전지역	2월부터 계속된 가뭄, 건조 주의보	2~4
	04.11	전지역	비	
	06.20	남부지방	남부지방 평균 강우량(10/80)	6~7
	07.18	영남, 호남, 충남	경북 강우량(51/134.2), 충남 6월 이후 강우량(161/272)	
	07.31	영남, 호남	비	
1974	01.12	전지역	전년대비 전국 평균 강우량 77% 부족	1
	01.21	전지역	눈	8
	8.21	남부지방	북태평양 고기압의 오랜 기간 발달, 5mm 미만의 강수 20일 이상 지속	
1975	01.06	전지역	몽골부근 한랭한 대륙성 고기압과 이동성 고기압의 영향 5mm 미만의 강수 20일 이상 지속	12~3
	01.20	전지역	전년 11월부터 강우 부족 강릉(68.1/152.1), 서울(26.5/73.8), 전주(57.1/84), 대전(74.5/83.4)	
	03.04	남해안	전년 9월부터 강우량 (230.7/630.8)	
	03.06	전지역	봄 비	6
	06.20	강원도	춘천 6월 까지 강우량 (213.7/299.4)	
	07.07	전지역	비	
1976	01.30	충부, 강원	1월 서울 강우량(3.6/12.8)	1~2
	02.02	전지역	강릉, 대구, 부산 등 1mm 미만의 강수량, 서울, 대전, 청주 등 4~7mm 강수량	
	02.16	전지역	비	5~6
	05.31	전지역	전국 강우량 (500/1000), 청주 5월 까지 강우량 (187.4/314.2), 원주 (21/271.5)	
	06.08	전지역	비(호주의보)	
1977	02.02	전지역	2개월 계속되는 겨울가뭄, 서울 (2.2/27.2), 인천 (3.5/23.4), 대전 (2/33.7)	1~2
	03.02	전지역	봄 비	6~7
	06.28	남부지방	전국평균 강수량 (70/160.3)	
	07.28	영남, 호남	대구 6월 강우량(74.6/134.3), 7월강우량(73.7/156.9), 전주 6월 강우량(82.3/180.3)	
	08.08	남부지방	비	
1978	04.11	영남, 호남	3개월간의 봄 가뭄, 50~100mm 강수량 미달	2~6
	05.01	전지역	전국평균 강우량(161/292)	
	06.20	전지역	비	
1979	01.25	영남, 호남	겨울 가뭄, 경북 평균 강우량(11.1/30.7), 가뭄면적 6000ha	1
1981	05.27	전라도, 경상도	전국평균 저수율 34%, 8월 충북전체의 82%의 저수지가 고갈, 가뭄면적 59000ha	5~6
	06.22	전지역	비	
1982	02.10	전지역	서울 전년 12월 강우량(12/36.5), 2월 (33/75.4), 대전(28.9/66.7), 강릉(38.3/77.8), 부산(37.9/64.2)	1~7
	06.21	영남, 호남	겨울가뭄에 이은 가뭄, 경북(191.2/296.7), 전주 올해 들어 강우량(364/716)	
	07.02	영·호남, 충청도, 영동	비가 늦어져 가뭄지역 확대(북상), 상반기 전국 강수량(307/466)	
	07.24	영남, 호남	비	
1984	02.06	전지역	전국 평균 강수량(61/135), 봄 가뭄	1~3
	03.26	전지역	전년의 30%강우, 부산(30/226.7), 서울(73.8/143.5), 대구(24.6/139.9)	10~11
	11.07	전지역(호남제외)	10월 강우량 서울(21/48.4), 청주(24.3/52.9), 강릉(16.9/112.6), 대구(15.9/47.0), 부산(20.6/65.8)	
1985	06.15	경북, 전북	안동 5월 말부터 강우량 (8.6/52.4)	5~6
1986	4	서울, 중부	전국평균 425mm부족, 저수율 34%, 가뭄면적 1000 ha	4
1988	01.11	중부지방	중부지방 강우량(3/35), 충북지방 12월 강우량(2/45.4), 춘천 12월 강우량(2.3/20.5), 강릉(16.6/49.9)	1~3
	03.07	전지역	전년 12월부터 2월 말까지 강수량(38.2/118.8)	
	06.28	전지역	전국 평균 강우량 (300/480)	6~7
	07.14	전지역	비	
	10.20	전지역	전국 대부분 지역 평균 강수량 예년대비 55~65%	10~11
	11.15	전지역	눈	
1991	12.05	남부지방	완도(5.5/48), 진도(13/64), 경북지방 예년 강수량 대비 50%, 겨울가뭄이 봄 가뭄으로 이어짐	10~12
1992	04.11	남부지방	비	12~3
	06.18	영남, 호남	전남 5월 말까지 강우량(285.5/335.5), 6월은 무 강우, 전북(250.3/364.7), 경남 5월 이후 강우량 (31.8/191.6)	6~7
	07.07	전지역	전국으로 확산, 저수지 저수율 34% (전북은 16%)	
	08.12	남부지방	비	

Table 2. Drought Record Collected by Reports and Newspaper (Continued)

년도	일시	지역	기사 및 문헌 내용	기간(월)
1993	10.29	전지역	서울(64.3/218.3), 강릉(43.6/328.3), 경남(38.6/247.1), 전남(36.2/209.1)	
1994	01.14	전지역	겨울 가뭄, 경기도(73.5/108.7), 전지역이 평년보다 10~40mm 작은 강우량	10~12
	04.13	전지역	봄 비, 해갈에 미흡	1~4
	05.02	전지역	춘천 22개 저수지 저수율 52%, 전주 강우량(103.6/236.6), 대구(99.1/180.8)	5~7
	07.08	충부지방	충부지방 호우로 가뭄해갈, 남부지방 가뭄 여전	
	07.21	영남, 호남	마른 논55300ha, 전국 저수지 평균 저수율 43%	
	08.02	전지역	태풍 '브랜던'	
12.16	남부지방	겨울가뭄, 강우량 예년 대비 37~63% 수준, 전북 올해 강우량(763.4/1298.3)		
1995	01.14	영남, 호남	낙동강 상류 댐의 저수율 25~27%, 영호남 지역 저수율 30%	8~12
	02.02	남부지방	남부지방 강우량(25/50)	1~4
	04.23	남부지방	비	7~8
	07.29	영남, 호남, 충청	대구(124/285), 광주(110/373), 대전(155/363), 전주(163/363), 부산(255/369), 강릉(169/243)	
	08.22	호남, 충청	비, 경북지방 가뭄여전	
	09.01	영남	비	
	12.05	남부지방	겨울가뭄, 제한급수, 낙동강 유역 강우량(852/1244.4), 전남 11월까지 강우량(852.8/1372.8)	11~12
1996	01.15	남부지방	비, 완전한 해갈은 되지 않음	1
	03.03	남부지방	전국 24개 시.군 제한급수, 제주지역 평년의 22% 강수, 피해면적 3000ha	2~3
	03.08	전지역	비	
	12.17	경북	경북지역 댐 저수율 50% 미만, 경북지방 평균 강우량(884/1015)	
1997	01.29	포항	지난 3년간 강우량 94(658), 95(657), 96(889)로 30년 평균 강우량(1084)에 비해 부족, 올해 들어 강수량(6.7/35)	12
	04.03	전지역	비	1~3
	10.21	남부지방	평년대비 강수량 10%(경남)~ 20%(전남), 9월중 전국 평균 강수량 (54.7/163.3)	10~11
	11.26	남부지방	폭우	
2000	02.24	남부지방	전주 작년 12월부터 강우량(36.6/107.6), 경북 작년 11월 이후 강우량(60/130), 경남 작년 12월 이후 강우량(24.1/96.4)	2~6
	05.18	남부지방	봄 가뭄 계속	
	06.27	남부지방	장마	
2001	04.20	남부지방	경북(12.1/83.2), 전남(32.6/90), 충북 지난해 강우량의 20%	4~6
	05.11	충부지방	한탄강 고갈	
	06.02	전지역	전국 평균저수율 66%(지난 20년 평균 73%)	
	06.19	전지역	비	6
	09.19	충부지방	평년 절반수준의 강우량, 가을가뭄	
	12.03	경북	11월 강우량(2/47.5)	
2002	03.01	영남	겨울가뭄에 이은 봄 가뭄, 울산지역 장기가뭄 (평년대비강수량 40%)	12
	04.29	전지역	비	
2004	1~3	경상도	10월초 단비로 가뭄 해소	1~3
2005	9	제주도	지난해 가을 이후 적은 강수	9
2006	1	경남, 포항	강릉, 속초 평년대비 15%강수, 건조주의보	1
	3	강원도, 영동	전국 다목적댐 평균 저수율 42.3%로 전년대비 4.5%정도 감소	3
2007	1	전국	안동, 구미, 영천, 경산, 칠곡 등	1
	1	경북 내륙	전년부터 눈, 비가 내리지 않은 겨울가뭄, 저수율 68%	1
	1	전북	7월 이후 집중호우나 태풍이 없음, 저수율 44%	1
2008	9~10	남부지방, 경남	태백지역에 20년 만에 찾아온 극심한 가뭄, 경북, 대구 지역으로 확산	9~10
2009	1~3	강원도	강원남부 및 태백지역 가뭄	1~3

※ (현재 강우량/이전 년도 강우량)  : 1973년 이후 4대 가뭄

곳은 행정구역도에 'off'로 나타내고 특정 기간 가뭄의 기록이 나타나면 해당 지역을 'on'으로 표기하였다. 이와 같은 방법으로 1973년부터 2009년까지 월 단위로 68번의 가

뭄기록을 나타냈으며 이를 행정구역 단위로 발생 횟수를 누적하여 Fig. 2에 공간적인 빈도를 나타내었다.

1973년부터 2009년까지 가뭄 기록을 보면 경상북도 지

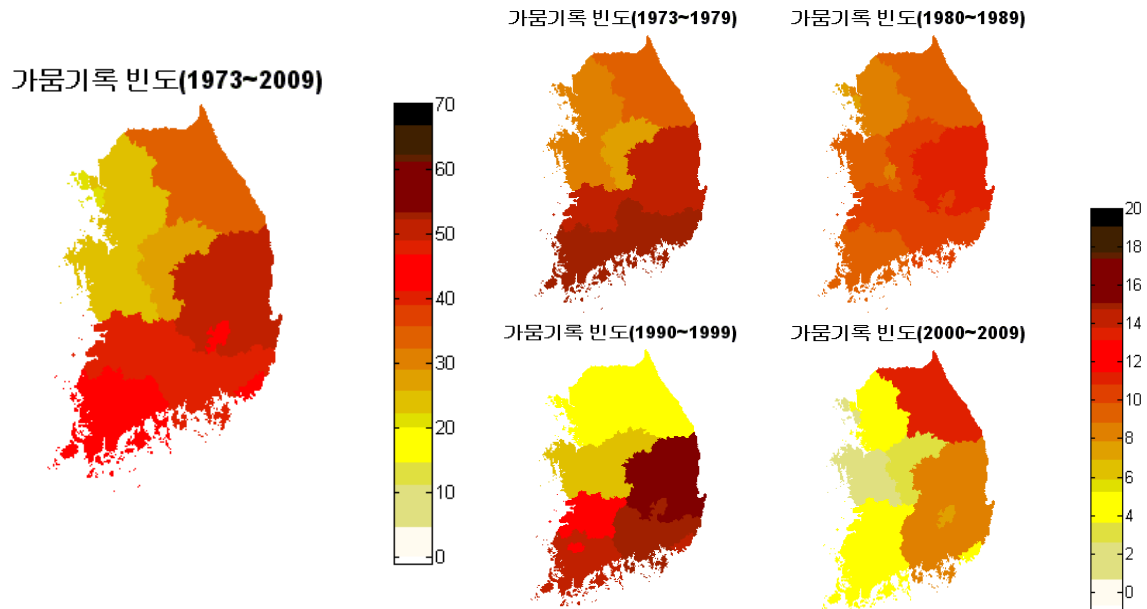


Fig. 2. Occurrence Frequency of Drought Records for 1973~2009

역이 가장 많은 빈도수를 나타낸다. 또한 남부지방의 가뭄의 발생횟수가 다른 지역에 비해 많음을 알 수 있다. 10년 단위로 볼 때 과거 70년대에는 남부 지방에 빈번하게 나타난 가뭄의 경향이 80년대 들어 경상북도 지역에 많이 나타났다. 90년대에는 남부지역에 뚜렷한 가뭄의 빈도를 보이고 최근 2000년대 들어 강원도 지방에 가뭄이 빈번하게 나타남을 확인할 수 있다. 시간적인 가뭄빈도의 변화를 보면 전라도 지방의 가뭄이 점차 감소하는 반면 최근 강원도 지역의 가뭄 발생횟수가 증가하는 가뭄의 빈도가 남서쪽에서 북동쪽으로 이동하는 경로를 보여준다. 이와 같이 공간분포로 정량화된 가뭄의 기록을 통해 각종 가뭄 변수와의 관계를 공간적으로 비교 분석할 수 있다.

2.3 가뭄지수 산정

SPI는 PDSI, PN 등과 더불어 현재 기상청에서 사용하는 지수로 가뭄을 평가할 때 가장 쉽게 접할 수 있다. 특정 지역에 대한 강수량만으로 강수의 부족이 상대적 물 부족을 야기하고 이를 통해 가뭄을 판단하는 방법으로 확률 분포에 의해 그 심도를 정하는 지수이다 (Bhuiyan et al., 2006). 이는 McKee et al. (1993)에 의해 비교적 최근에 개발되었으며 1, 3, 6, 9, 12개월의 다양한 지속기간에 따른 가뭄 지수를 표현할 수 있는 장점이 있다. SPI 산정 절차를 요약하면 다음과 같다. 통계분석임을 고려하여 30년 이상의 월 강수량 자료를 바탕으로 시간단위별 누가강수 시계열을 구성한다. 이를 누적시킨 월수로 나누어주어 지속 시간별 시계열을 구성하고 적정 확률분포형을 산정하게 된다. 이와 같이 형성된 적정 확률분포형의 누가확률을

표준정규분포의 누가확률과 일치시킴으로서 지수를 산출하게 된다. 기상청에서는 표준강수지수의 값을 4단계로 나누어 가뭄평가에 사용하고 있다.

Palmer (1965)에 의해 개발된 PDSI는 가뭄이 비정상적인 수분 부족기간이라 정의하고, 가뭄의 심도를 수분의 부족량과 수분 부족기간의 함수로 나타냄으로서 실제 강수량과 기후학적으로 필요한 강수량의 차이를 강수, 기온 자료 뿐만 아니라 증발산량, 함양량, 유출량, 손실량, 토양 수분량 등 종합적 요소를 고려하여 결정짓는 방법이다 (윤용남 등, 1997; Dai et al., 2004). Palmer는 지수 산정을 위해 가장 먼저 Thornthwaite and Mather (1955)의 월 열수지방법으로 잠재증발산량을 추정하였다. 또한, 토양을 상부층과 하부층의 2개의 층으로 구분하고, 월별 수지분석을 통해 잠재공급량, 잠재손실량, 잠재유출량이 계산되고 이를 잠재평균량과 실제평균량의 비율로 증발산계수 (α), 공급량계수 (β), 유출량계수 (γ), 손실량계수 (δ)로 나타낼 수 있다. 이들 4개의 계수를 통해 대상지역의 필요한 강수량을 계산할 수 있으며, 기후특성인자를 고려하여 PDSI를 산정하게 된다. 기상청에서는 PDSI 값을 4개의 단계로 나누어 가뭄평가에 사용하고 있다.

평균치 비율 (Percent of Normal)은 기상청에서 사용하는 가뭄판단 지수 중 SPI, PDSI와 함께 주요 척도로 사용되고 있는 가뭄지수이다. 이는 30년 이상의 강수량 자료의 평균으로부터 지금의 실제 강수의 정도를 백분율로 나타내는 방법으로, 다양한 기간에 대해 산정이 가능하고 SPI와 마찬가지로 강수량 하나만을 가지고 표현할 수 있는 쉽고 간단한 가뭄 판단 지수이다. Table 3은 기상청에서

Table 3. Valuation Value of Drought Index in Korea Meteorological Administration

Rank	Index Value			Drought Conditions
Extremely Drought	SPI	-1.5	Under	작물손실, 광범위한 물 부족, 제한급수 고려 필요 Crops damage, Water lack, Limitary water supply
	PDSI	-3.0	Under	
	PN	55	Under	
Drought	SPI	-1.5	~ -1.0	작물에 다소 피해발생, 물 부족 시작, 자발적 절수 요구 Small drops damage & Water lack & Limitary water supply
	PDSI	-3.0	~ -0.5	
	PN	55	~ 80	
Normal	SPI	-1.0	~ 1.0	식물성장에 필요할 정도로 강수가 충분함 Enough water for Plant growth
	PDSI	-0.5	~ 0.5	
	PN	80	~ 110	
Wet	SPI	1.0	Over	충분한 강수로 인해 가뭄상황 없음 Enough water, No drought
	PDSI	0.5	Over	
	PN	110	Over	

PN, percent of normal.

사용하는 가뭄판단 기준으로 SPI, PDSI, PN의 가뭄판단 지수범위가 명시되어있다.

강수량 십분위는 SPI, PDSI, PN의 3개의 주요 가뭄 지수를 통한 가뭄의 심도를 결정 후 보정 및 단점을 보완하기 위하여 사용되는 지수로 30년 이상의 강수량자료를 통해 특정 기간에 대한 강수량을 낮은 순으로 나열하여 총 10등급으로 나눈다. 그리하여, 해당 기간의 강수량이 10등급 중 속한 범주에 따라 가뭄의 정도를 판단하는 지수이다. 강수량 십분위는 장기간의 가뭄정도 판단에 사용되는 Palmer 가뭄지수와는 반대로 단기간의 가뭄정도를 판단하며 비교적 강수량의 정확한 통계적 측정치를 제공한다는 장점이 있다.

정량화된 가뭄기록의 공간분포와 지점별로 산정된 각종 지수들과의 상관성 검토를 위해 지점별로 산정한 정보를 공간으로 확장할 필요가 있다. 가까운 지점이 있는 곳은 거리에 반비례하여 많은 가중치를 주고 멀리 떨어진 지점에 대해서는 가중치를 덜 주는 역거리가중법에 의해 69개 지점 정보를 공간으로 확장하였다. 역거리 가중에 의해 확장된 공간분포를 다시 평균을 통한 행정구역 단위의 대푯값으로 환산하여 나타내었다. 강수, SPI3, 6, 9, 12, PDSI, PN, 강수량십분위, 기온, 증발량의 10개의 가뭄 지수 및 기후변수를 1973년부터 2009년까지 각 변수마다 444개월 행정구역 단위의 공간분포로 표현하여 가뭄 기록에 의한 공간분포와 비교, 분석하였다.

3. ROC 분석을 이용 상관성분석

3.1 ROC 분석

ROC 분석은 특정한 수치를 X좌표 (False positive rate)와 Y좌표 (True positive rate)로 나타내고 이를 확률

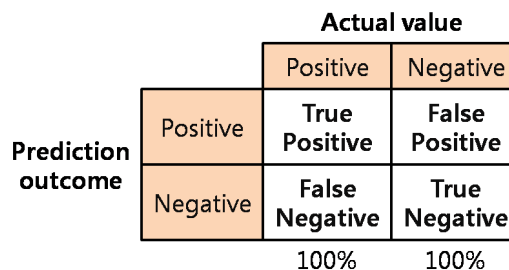


Fig. 3. ROC Classification Model

적 근거를 통해 가장 높은 확률을 가지는 분류를 찾아내는 방법으로 (Heckerling, 2002) 서로 다른 분류의 기계적 학습 알고리즘을 비교, 평가하는 기술에도 사용성이 증명한 바 있다 (Spackman, 1989). 본 연구에서는 ROC 분석을 이용하여 실제 발생한 가뭄기록과 가뭄지수 및 가뭄에 영향을 주는 기후변수의 상관분석 실시하였다.

ROC의 분류는 기본적으로 '실제 사실 (Actual value)'과 '추정된 결과 (Prediction value)'로 나누어지며, 진실과 거짓에 의해서 각각 2가지씩 또다시 분류된다. 실제 일어난 사실이 'Positive'일 경우 추정된 값에 따라 'Positive'일 경우 TP (True Positive), 'Negative'일 경우 FN (False Negative)로 나타내며, 실제 일어난 사실이 'Negative'일 경우 추정된 값에 따라 'Positive'이면 FP (False Positive), 'Negative'이면 TN (True Negative)로 나뉜다. 이 중 TP와 TN의 경우는 각각 'Positive'와 'Negative'로만 이루어진 참의 값으로 판단하고, FP (Type I Error)와 FN (Type II Error)은 거짓의 값으로 받아들인다 (Fig. 3). 확률적 분포로 분류된 4가지의 요소를 y축이 민감도 (Eq. (1)), x축이 1-특이도 (Eq. (2))인 좌표계에 하나의 점으로 표현함으로써 ROC Space를 구성할 수 있다. 또한, 'Cut-off' 값의 연

속적인 변화에 따라 ROC space의 좌표 점은 연속적인 곡선의 형태로 나타나며 이를 ROC curve라 한다 (VanErkel and Pattynama, 1998).

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} = True\ Positive\ Rate \quad (1)$$

$$Specificity = \frac{TN}{FP + TN} = True\ Negative\ Rate \quad (2)$$

3.2 공간가뭄분포와 ROC Analysis

본 연구에서는 실제 가뭄의 상황에 대하여 각 지수간의 가뭄을 표현하는 정도를 비교, 평가 하고자 ROC 분석을 사용하였으며, ROC 분석의 이론에 근거하여 4가지의 분류를 선택하였다. 실제 기록상 가뭄을 'Actual Value'로 하고 각 지수 및 변수들을 'Prediction Outcome'로 두었다. 본 연구에서는 가뭄지수 및 각종 기후변수의 가뭄 판단 기준을 연구를 위해 선정한 ROC Cut-off Value로서 Table 4의 Normal의 값으로 선정하고, 실제 가뭄이 발생했을 때 지수 및 기후변수들이 가뭄을 나타낼 경우 TP, 가뭄을 나타내지 않을 경우 FN이라 분류하고, 또한 기록 상에는 가뭄이 발생하지 않았지만 지수 및 변수의 값이 가뭄을 나타낼 경우 FP, 가뭄을 나타내지 않을 경우 TN으로 분류하였다. 최초 행정구역별로 가뭄의 지수 및 실제 가뭄기록을 공간분포로 나타내었으며, ROC analysis를 위한 분류의 값 (TP, FN, FP, TN) 또한 행정구역 분포를 사용하고 총 444개월만큼의 공간분포 각각의 사상이 발생하는 정도에 따르는 확률을 행정구역별로 나타내었다 (Fig. 4).

가뭄지수 및 기후변수 중 가뭄의 사상을 표현하는 정도를 공간적으로 분석하면, 실제 가뭄의 발생과 가뭄지수 및 변수 간의 공간적 상관성이 높은 것은 강수량, 평균치 비율 (PN), 강수량십분위로 나타났다. Type I Error에 속하는 FP (False Positive)의 경우를 보았을 때 SPI 3,6,9,12, PDSI, 증발량의 경우는 TP사상과 FP사상 모두 낮은 확

률로 발생함을 알 수 있다. 이는 해당 지수에 대하여 전반적으로 가뭄을 표현하는 빈도가 낮은 것이라 할 수 있다. 총 444개월의 기간 중 문헌을 통해 얻은 실제 가뭄발생의 횟수는 총 68개월로 상대적 비교 수치가 작은 것이 그 원인이라 할 수 있겠다. SPI 3,6,9,12의 FP와 TN 사상이 매우 크게 나타나는 원인도 동일하다고 할 수 있다. 증발량과 기온은 중부지방과 남부지방의 차이를 드러낸다는 점에서 긴밀한 연관성을 가지고 있다고 하겠지만 기온과 증발량의 경우는 위도 차에 의해 기온이 높은 남부지방의 경우 비교적 가뭄을 잘 표현하지만 중부지방으로 갈수록 정도가 떨어짐을 알 수 있다. SPI 3,6,9,12, PDSI는 흔히 사용하는 가뭄지수 임에도 불구하고 전반적으로 가뭄의 발생횟수가 작게 표현되고 있다.

공간적으로 표현된 가뭄정보를 좀 더 구체적으로 표현하고자 Fig. 4의 ROC의 4가지 분류기준 중 TP와 FP의 확률을 각각의 행정구역별로 ROC Space에 표시하였으며 그 결과는 Fig. 5(b)와 같다. TP와 FN, FP과 TN은 각각 확률의 합이 1인 여사상으로, 이중 TP와 FP만으로도 모든 사상의 특성을 고려할 수 있다. 가뭄의 정보를 가장 잘 보여주는 지수는 ROC Space의 Perfect Classification에 가장 근접한 것이라고 할 수 있다. Perfect Classification는 TP가 1이고 FP가 0인 상태로 실제 가뭄이 발생하였을 때 지수 및 각종기후변수가 가뭄을 표현하는 경우의 수가 100%이고, 실제 가뭄이 발생하지 않았지만 지수 및 각종 기후변수가 가뭄을 표현하는 경우의 수가 0%인 경우이다.

ROC Analysis는 연속적인 'Cut-off' 값에 의하여 연속적인 곡선의 형태를 나타낸다. 본 연구에서 이와 같은 ROC의 성질에 따른 가뭄정보의 표현 형태를 확인하고자 임의로 Mild, Normal, Severe의 3가지 Cut-off Value로 나타내어 ROC Curve의 특성을 파악하였다 (Table 4). ROC Space의 분포형태를 Fig. 5와 같으며 좌측그림에 228개의 행정구역각각의 수치를, 오른쪽그림에는 우리나라 전체 평균의 수치를 나타내었다.

ROC Space를 통한 실제 발생가뭄과 각종 가뭄지수 및

Table 4. Cut-Off Value

	Mild	Normal Drought (KMA & Average)	Severe
Precipitation	Normal × 1.2	Under monthly precipitation average	Normal × 0.8
SPI	-0.5	Under -1 (Moderately dry)	-1.5
PDSI	-1.0	Under -2.0 (Mild drought)	-3.0
Percent of Normal	90	Under 80 (Drought)	70
Deciles	40	Under 30%	20
Temperature	Normal × 0.8	Over monthly temperature average	Normal × 1.2
Evaporation	Normal × 0.8	Over monthly evaporation average	Normal × 1.2

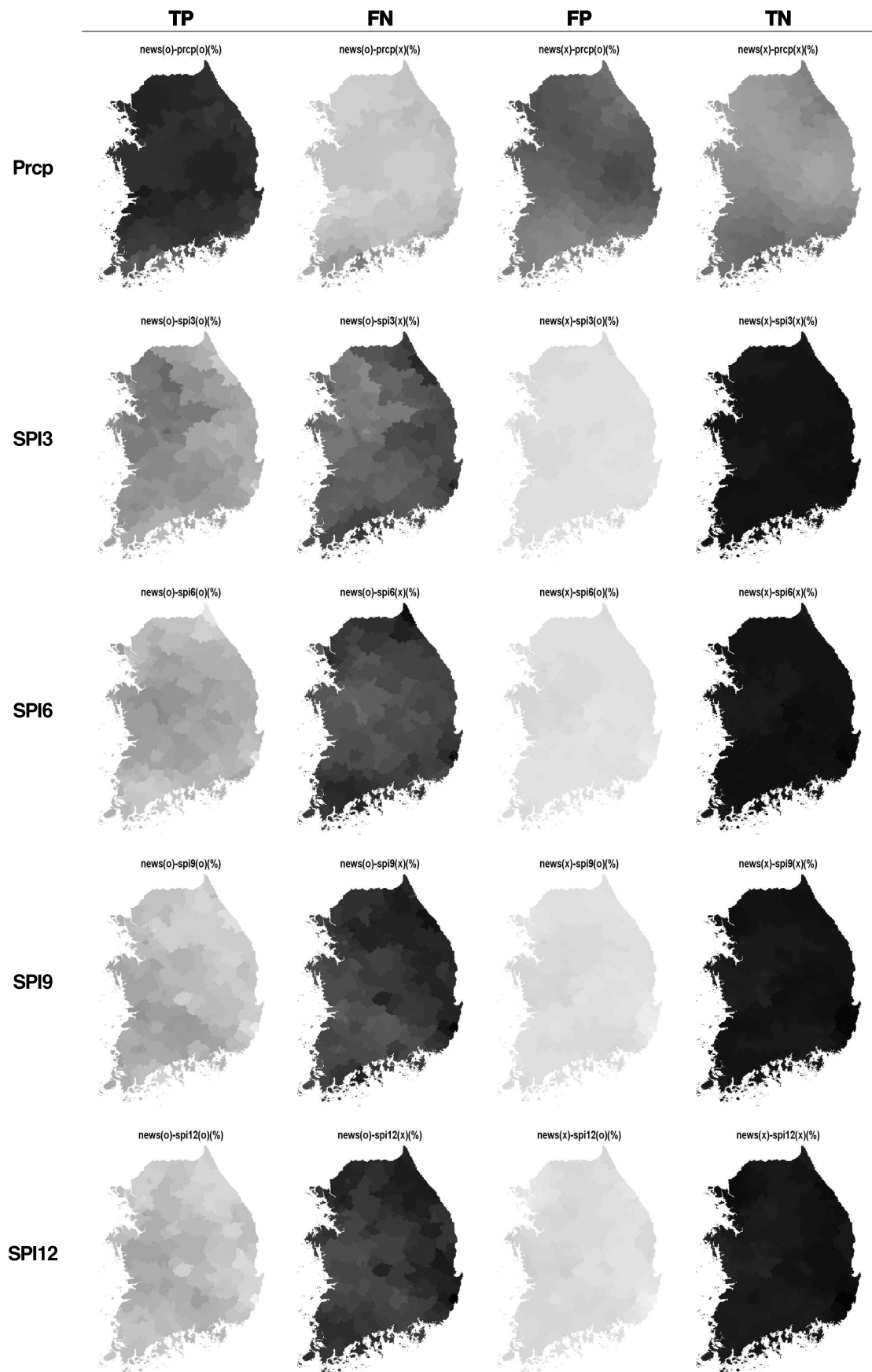
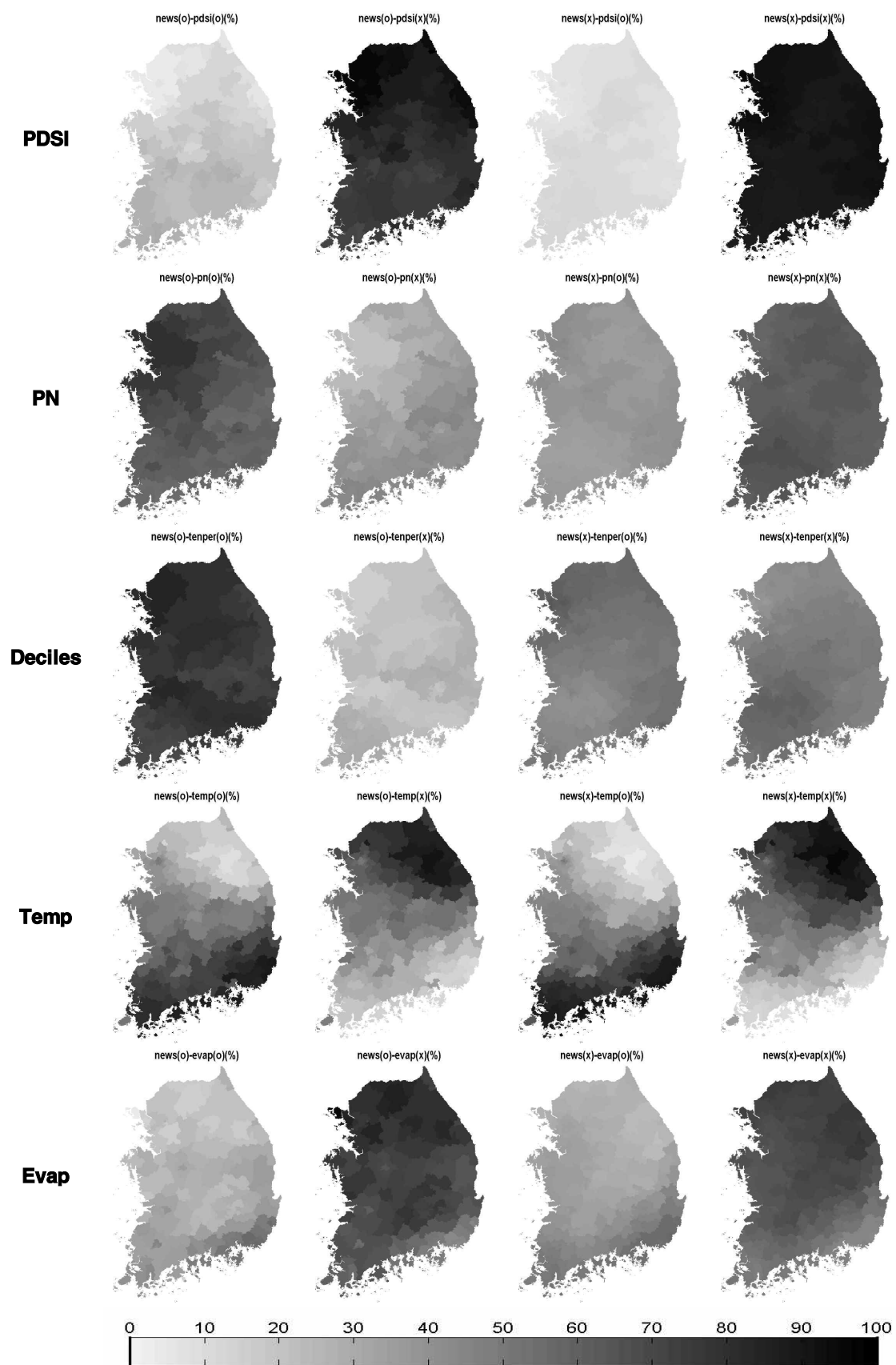
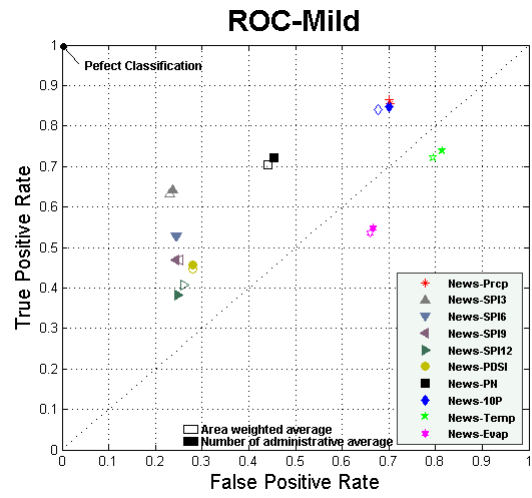
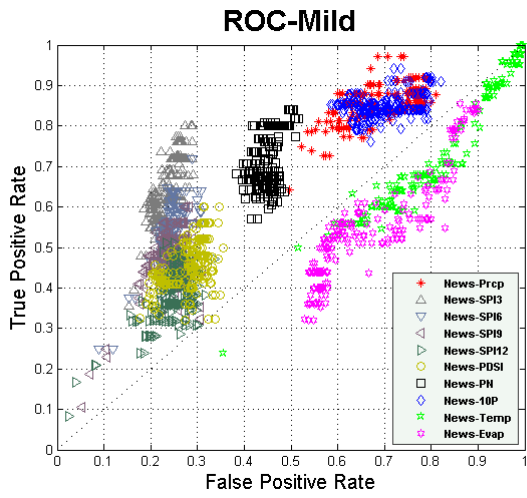


Fig. 4. Area of True Positive Rate, True Negative Rate, False Negative Rate and False Positive Rate

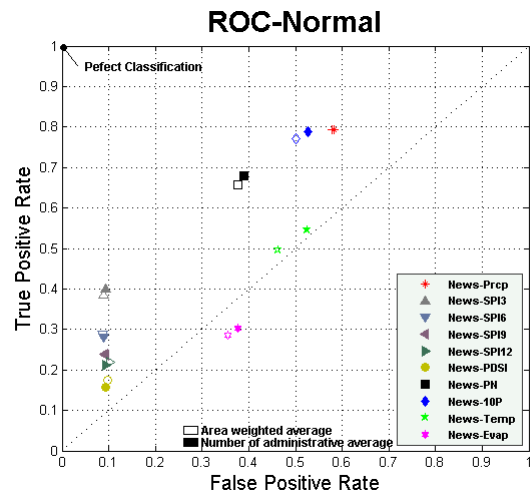
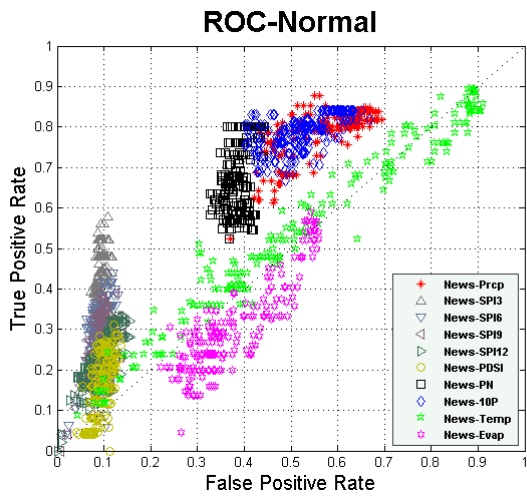


※ (Precp : precipitation, Deciles : 강수량 십분위)

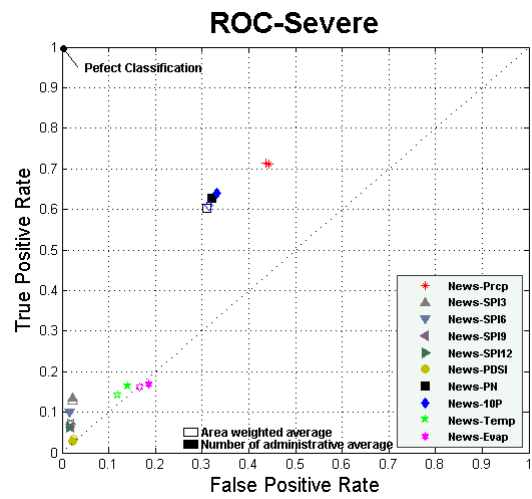
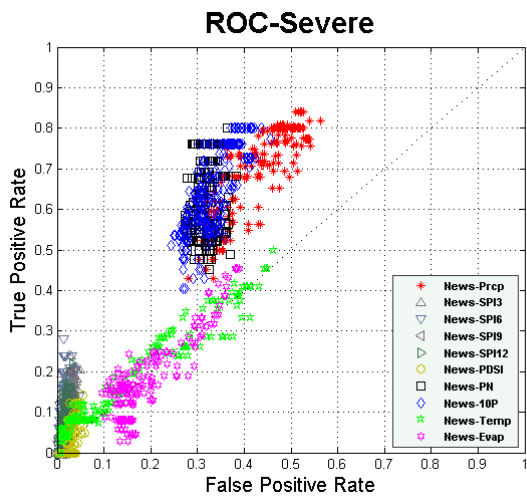
Fig. 4. Area of True Positive Rate, True Negative Rate, False Negative Rate and False Positive Rate (Continued)



(a) Mild Drought



(b) Normal Drought



(c) Severe Drought

※ (10p : 강수량 십분위)

Fig. 5. Points of Drought Indices and Climate Elements on the ROC Space

기후변수와의 관계 분석한 결과, 실제 가뭄의 발생을 높은 확률로 표현하는 지수는 Perfect Classification까지의 거리를 기준으로 Mild에서 SPI3, SPI6, PN이고, Normal에서 SPI3, PN, Deciles이며, Severe에서 Precipitation, PN, Deciles로 나타났다 (Table 5). 전반적으로 SPI3, PN, Deciles이 높은 상관성을 보여주고 있으며, 이는 가뭄기록을 통해 정량화한 실제 가뭄이 1개월 혹은 많으면 5개월 단위의 단기적인 가뭄을 표현하고 SPI3, PN, Deciles 또한 단기가뭄의 표현에 상대적으로 적합하기 때문이라고 판단된다. 평균값에 대한 산포의 정도는 3~5 내외로 비교적 지역적인 균일성을 보여주었으나, 기온과 증발량의 경우 Fig. 4에 나타난 바와 마찬가지로 중부지방과 남부지방의 편차로 인한 상대적으로 높은 표준편차를 보였다 (Table 6). 본 연구에서 선정한 Cut-off Value에 의해 구분된 3가지의 ROC 공간상의 자료 분포 형태를 보면, 좌측 하단에서 우측상단으로 이어지는 ROC Curve와 유사한 형태를 나타내고 있으며, 이들에 따라 각 지수의 표현

의 정도 또한 달라짐을 알 수 있다. 이는 차후에 가뭄의 심도에 따른 ROC 평가의 가능성을 보여주는 것이라고 할 수 있겠다. 전체 행정구역 값들의 평균과 행정구역의 크기를 고려하여 산정한 평균과는 큰 차이가 나타나지 않았으며 그로 인한 가뭄 표현정도의 증가나 감소에 영향이 미비함을 확인할 수 있다.

상대적으로 단기가뭄의 표현인 SPI3, PN, Deciles의 가뭄지수가 높은 적합성을 보여주고 있으며 장기가뭄에 대한 적합성을 분석하고자 우리나라 5대 가뭄 중 1973년 이후의 4대가뭄의 기간을 추출하여 ROC 분석한 결과는 Fig. 6과 같다.

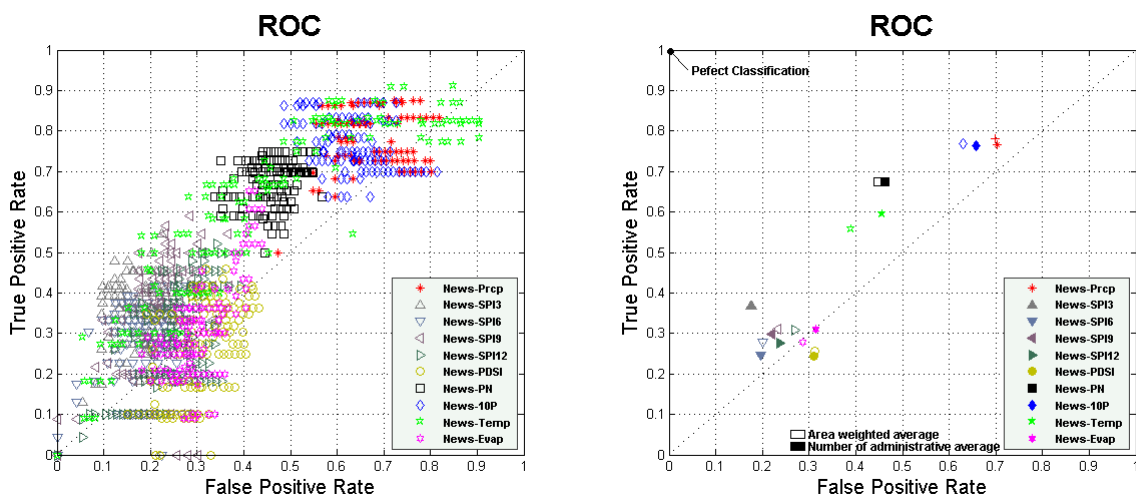
1973년 이후의 4대 가뭄의 기간만 별도로 추출하여 ROC 분석을 시행한 결과 상대적으로 장기가뭄의 표현인 SPI9, SPI12, PDSI의 변화의 양상을 확인할 수 있었다. SPI9, SPI12, PDSI 지수의 ROC 공간상에 True Positive Rate가 증가하는 형태를 확인할 수 있으며 이는 장기가뭄의 평가의 가능성을 보여준다. 또한 False Positive Rate은

Table 5. Length Each Point to Perfect Classification

	Prcp.	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	PDSI	PN	Deciles	Temp.	Evap.
Mild	0.72	0.43	0.53	0.58	0.67	0.61	0.53	0.72	0.85	0.81
Normal	0.62	0.60	0.73	0.77	0.79	0.84	0.50	0.57	0.69	0.79
Severe	0.53	0.86	0.90	0.94	0.94	0.97	0.49	0.49	0.85	0.85

Table 6. Standard Deviation from Point of Average

	Prcp.	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	PDSI	PN	Deciles	Temp.	Evap.
Mild	3.87	3.99	4.26	4.65	4.30	4.41	3.02	3.01	8.91	9.44
Normal	4.93	4.65	4.33	4.18	3.70	3.24	3.88	3.61	16.26	7.96
Severe	5.94	2.57	3.18	2.75	2.62	3.17	3.74	5.01	8.61	7.01



※ (10p : 강수량 십분위)

Fig. 6. ROC Analysis in Korea Big 4 Drought

증가의 형태를 확인할 수 있는데 이는 수집된 과거 가뭄자료는 가뭄이 아닌데 가뭄지수를 가뭄이라 표현하는 것으로서 공신력 있는 기관의 가뭄기록의 정량화를 통해 향상될 수 있는 부분이라 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 우리나라 가뭄의 지역적 특성과, 실제 발생한 가뭄기록과 각종 기후변수 및 기상학적 가뭄지수 간의 상관관계 및 실제 가뭄에 대한 표현 정도를 분석하기 위하여 실제 가뭄기록을 보고서 등 문헌과 신문기사를 수집하여 행정구역단위로 가뭄사상을 정량화 하였다. 1973년부터 2009년 사이의 69개 기상청 지상관측소의 강수, 기온, 증발량 등 기후변수와 이를 이용하여 생산한 SPI, PDSI, PN, Deciles 등 가뭄지수의 공간분포를 행정구역별로 나타내었다. 정량화된 실제 가뭄기록과 기후변수 및 가뭄지수를 사이의 ROC 분석을 통해 실제 가뭄을 잘 보여주는 가뭄지수 혹은 기후변수를 가뭄의 심도에 따라 제시하였다.

분석결과 실제 가뭄의 발생을 높은 확률로 표현하는 지수는 Perfect Classification까지의 거리를 기준으로 본 연구에서 지정한 Cut-off Value 중 Mild에서 SPI3, SPI6, PN이고, Normal에서 SPI3, PN, Deciles이며, Severe에서 Precipitation, PN, Deciles로 나타났다 (Table 5). 전반적으로 SPI3, PN, Deciles가 실제 가뭄의 상황을 가장 잘 표현하고 있다. 본 연구는 수집된 가뭄기록과 각 가뭄지수와의 동일시기에 대한 일치 여부로 가뭄지수 및 기후변수의 가뭄표현정도를 평가하고 있다. 따라서 장기간의 강우 부족으로 인해 발생하는 장기가뭄의 표현이 부족한 반면 SPI3, PN, Deciles의 단기가뭄의 표현이 비교적 양호한 결과를 보여주는 것이라 판단할 수 있다. 가뭄의 판단을 위해 가뭄이 진행 중이지만 표현되지 않는 잠재기, 가뭄의 심도, 가뭄의 기간에 대한 공신력 있는 기관의 정량화된 자료를 통해 향상된 결과 기대할 수 있을 것이다. 장기가뭄의 표현 정도 분석을 위해 1973년 이후의 4대가뭄의 ROC 분석결과 SPI9, SPI12, PDSI의 수치 중 True Positive Rate의 증가를 확인 할 수 있었으며, 이를 통해 심도, 장기와 단기가뭄, 수문학적 가뭄, 기상학적 가뭄등과 같은 가뭄의 특성에 따른 다양한 Category 분류에 의한 ROC분석의 가능성을 확인하였다.

가뭄의 특성상 실제 가뭄의 기록을 수집하는 방법과 본 연구에서 사용한 'Cut-off' 분류에 의해 다소 상이한 연구 결과가 나올 수 있으며, 가뭄을 평가하는데 시작과 끝이 불명확하며 그 심도 또한 특정한 수치로 나타내기 상당히 어려운 점 등과 같이 가뭄을 평가하는데 여러 가지의 어

려움을 가지고 있다. 본 연구에서 시도한 ROC 분석은 명확하고 정량화된 실제의 기록이 있을 경우 그 정확성이 매우 향상된다. 따라서 가뭄의 실제의 기록을 정량화하는 작업은 명확한 가뭄판단을 위한 중요한 부분이다. 실제 가뭄기록의 공간분포와 심도를 완전히 구분하고 정량화하기에는 현재까지 한계가 있으나, 본 연구에서 시행한 과거가뭄기록의 정량화는 가뭄을 연구하는데 있어서 명확한 비교대상을 만들기 위한 초석과 같은 시도라고 생각된다. 앞으로 국가적 차원에서 과거가뭄의 기록을 그 심도와, 시·중점에 관하여 정량화하여 제공하고 가뭄지수의 객관적 판단기준을 제시함으로써 다양한 가뭄지수의 적용성 판단에 많은 도움을 줄 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 기후변화 감시·예측 및 국가정책 지원강화 사업 (RACS-2010-4601)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 건설교통부 (1995). 가뭄기록조사 보고서.
- 건설교통부 (2002). 2001년 가뭄기록조사 보고서.
- 정민수, 김상단, 김보경, 김형수 (2006). "군집분석을 통한 수문학적 가뭄의 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선의 작성." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제3B호, pp. 267-276.
- 김광섭, 박한균 (2010). "CART기법과 위성자료를 이용한 향상된 공간가뭄지수 산정." **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제13권, 제1호, pp. 128-141.
- 김대하, 유철상 (2006). "가뭄심도-지속기간-빈도해석을 통한 우리나라 가뭄의 공간분포 분석." **2006 대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1597-1600.
- 김보경, 김상단, 이재수, 김형수 (2006). "가뭄의 시공간적 분포 특성연구 : 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선의 작성." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제1B호, pp. 69-78.
- 김성준, 안소라, 신영호, 나상진, 권현중 (2009). "수문학적 가뭄평가기법의 개발 및 적용." **GRI연구논총**, 경기개발연구원, 제11권, 제1호, pp. 165-182.
- 농업기반공사 (2003). **농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안 (I)**.
- 농업기반공사 (2004). **농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안 (II)**.
- 농업기반공사 (2005). **농업가뭄지표 실용화 및 정보제**

공방안 연구 (최종).

류재희, 이동률, 안재현, 윤용남 (2002). “가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제4호, pp. 397-410.

윤용남, 안재현, 이동률 (1997). “Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp. 317-326.

이재준, 이창훈 (2005). “우리나라의 주YG가뭄해석을 위한 각종 가뭄지수의 적용.” **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제5권, 제4호, pp. 59-69.

한국수자원공사 (2001) **2001년 전국 가뭄조사 보고서**.

Bhuiyan, C., Singh, R.P., and Kogan, F.N. (2006). “Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data.” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 8, No. 4, pp. 289-302.

Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, D., Sutera, A., and Sutera, A. (2003). “Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily.” *Water Resources Management*, Vol. 17, No. 4, pp. 273-296.

Dai, A., Trenberth, K.E., and Qian, T. (2004). “A global dataset of palmer drought severity index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming.” *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 5, No. 6, pp. 1117-1130.

Hanson, P.J., Weltzin, J.F. (2000). “Drought disturbance

from climate change: response of United States forests.” *The Science of the Total Environment*, Vol. 262, No. 3, pp. 205-220.

Heckerling, P.S. (2002). “Parametric receiver operating characteristic curve analysis using mathematica.” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 69, No. 1, pp. 65-73.

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, California, Vol. 17, No. 22, pp. 179-184.

Palmer, W.C. (1965). “Meteorological drought.” *Office of Climatology U.S. Weather Bureau*, Washington, D.C.

Spackman, K.A. (1989). “Signal detection theory: Valuable tools for evaluating inductive learning.” *Proceedings of the Sixth International Workshop on Machine Learning*, Morgan Kaufmann, pp. 160-163.

Thorntwaite, C.W., and Mather, J.R. (1955). “The water balance.” *Climatology*, Vol. 8, No. 1.

VanErkel, A.R., and Pattynama, P.M.T. (1998). “Receiver operating characteristic (ROC) analysis: Basic principles and applications in radiology.” *European Journal of Radiology*, Vol. 27, No. 2, pp. 88-94.

논문번호: 11-042	접수: 2011.04.19
수정일자: 2011.06.07/06.30	심사완료: 2011.06.30