韓國水資源學會論文集
第45卷 第4號·2012年 4月
pp. 409~418
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.4.409

무강수일수와 강우효과를 고려한 개선된 표준강수지수 개발

Development of a Modified Standardized Precipitation Index by Considering Effects of the Dry Period and Rainfall

이 준 원* / 김 광 섭**
Lee, Jun Won / Kim, Gwang Seob

Abstract

A modified standardized precipitation index was developed by considering the length of dry period and surface run-off effect. The official reports and newspapers on drought from 1973 to 2009 were quantified to evaluate drought indices. The developed index was evaluated using the receiver operating characteristic analysis. In order to suggest improved drought index, we cut the precipitation amount that may do not contribute the mitigation of drought and weight dry period by considering cumulative distribution, decile distribution of dry periods. Drought detection capability of the suggested index has improved by weighting of dry period effects and considering precipitation amounts contributing drought mitigation.

Keywords : drought index, SPI, MSPI, ROC, dry period

요 지

본 연구에서는 가뭄의 심도에 직접적으로 영향을 주는 무강수일수를 고려하고, 강수에서 기인하는 지표면유출 효과를 반영한 가뭄해갈에 유효한 강수를 산정하여 기존의 SPI3을 개선한 Modified SPI를 제시하였다. 1973년부터 2009년까지 각종 보고서 및 문헌자료를 통해 실제 발생한 가뭄사례를 수집하여 행정구역별 가뭄공간정보를 생산하고, 동일기간 전국 69개 지점에서 산정된 가뭄지수를 우리나라 전체 공간으로 표현하여 각종 지수의 적합성을 평가하기 위하여 ROC 분석을 수행하였다. 개선된 가뭄지수 제시를 위하여 총강우량 중 단기적인 유출에 기여할 것으로 판단되는 부분을 절삭하여 유효강우를 산정하였으며, 월단위의 무강수일수를 십분위, 누적분포함수로 변형하여 기존의 지수에 가중치를 부여하였다. 분석결과 유출량을 고려한 강우의 절삭은 기존의 SPI3에 비하여 상대적으로 높은 가뭄감지능력을 보여주었으며, 무강수일수를 고려한 가뭄지수의 개선은 누적분포함수의 수치를 고려함으로서 상당히 개선된 가뭄감지 능력을 보여주었다.

핵심용어 : 가뭄 지수, 표준강수지수, 수정표준강수지수, ROC, 무강수일수

1. 서 론

장기간의 강수 부족으로부터 야기되는 가뭄은 시점, 종점, 심도에 대하여 명확한 관측이 어렵고 가뭄에 의한 피해정도와 체감에 따라 다양한 형태로 표현된다. 이러한 불명확한 가뭄의 명확한 판단을 위하여 다양한 학문적 분야에서 각종 기후변수 및 가뭄판단인자를 이용하여 생성된 가뭄지수를 통하여 가뭄의 기간과 심도를 정의 하고자 노력한다. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2006)에서 제시한 가뭄분류는 강수량과

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

증발량을 고려한 기상학적 가뭄, 작물의 성장에 필수적인 요소인 토양수분을 고려한 농업적 가뭄, 그리고 지하수량을 포함한 전반적인 수자원의 부족으로 판단하는 수문학적 가뭄으로 같이 크게 세 가지의 학문적 가뭄의 정의로 나누고 있으며, 일반적으로 사회기반시설의 물 공급 부족으로 평가하는 사회경제학적 가뭄을 추가하여 네 가지 가뭄으로 나눌 수 있다. 가뭄의 진행과 감지는 일반적으로 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제학적 가뭄순으로 이루어진다. 그러므로 이러한 다양한 가뭄현상을 하나의 지수로 표현하는 것은 현실적이지 못하며, 각각의 학문적 분야에서 가뭄을 규정하고 가뭄정의에 따른 거동을 이해하고 분석하기 위해 다양한 가뭄지수를 제시하고 있다. 또한, 기존의 가뭄지수보다 좀 더 가뭄을 잘 표현하는 지수를 개발하기위한 노력도 계속되고 있다. 김수영 등(2010)은 기상학적 가뭄지수인 SPI (Standardized Precipitation Index)와 PDSI (Palmer Drought Severity Index)와 농업적 가뭄지수인 SMI (Soil Moisture Index)를 비교 분석함으로써 토양수분을 이용한 개선된 가뭄지수의 가능성을 제시하였으며, 유지영 등(2011)은 사회경제학적 가뭄지수인 WSCI (Water Supply Capacity Index)와 WADI (Water Supply Drought Index)에서 반영하지 않은 용수수요량을 추가적으로 고려한 WEDI (Water Excess Deficiency Index)를 이용하여 사회경제학적 가뭄을 평가하였다. Shafer and Dezman (1982)은 융설, 강우, 하천유량, 저수량의 수문인자를 확률론적 이론에 근거하여 수문학적 가뭄지수인 SWSI (Surface Water Supply Index)를 개발하였으며, 권형중 등(2006)에 의해 지하수위의 영향을 고려하여 우리나라 실정에 맞게 MSWSI (Modified Surface Water Supply Index)를 제시하였다.

기상학적 가뭄지수인 SPI는 시간단위별 강수 부족량에 대한 확률론적 가뭄지수로 오로지 강수자료만으로 확률분포형을 통해 상대적 물의 부족치를 산정한다. 이와 같이 확률론적 특성을 가진 SPI는 세계 여러 나라에서 사용되고 있으며, 전문가들은 SPI의 다양한 방면으로의 이용성을 높이 평가하고 있다(한국건설기술연구원, 2002). 뿐만 아니라 비교적 간단한 구조를 가진 SPI는 변형을 통해 지역적 특성을 반영하거나 필요성에 부합하는 개선된 가뭄지수의 산정에도 효과적으로 사용될 수 있을 것이다. 류소라와 유철상(2004)은 SPI 산정 시 강수량의 이동평균을 구하는 과정에서 기존 SPI의 강수의 절대량을 이월하는 방법 대신 강수의 상대량을 이월하는 형태로 수정된 SPI를 제시하였다. 서울지역을 대상으로 1777년부터 1996년까지의 기간을 평가한 결과 기존의 SPI 보다 좀 더 현실적인 가뭄의 형태를 확인할 수 있었다. 또한, Türkeş and Tath (2009)에 의해서 강우의 강도와 빈도를 고려한 개선된 SPI가 제시된 바 있다. 이처럼 강우의 확률적 분포를 고려한 가뭄지수인 SPI의 변형을 통해 기존의 가뭄지수에 비해 개선된 모습을 보이고 있으며, 다양한 방면으로의 접근을 통해 지금보다 좀 더 개선된 SPI를 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 기상학적 가뭄지수인 SPI를 무강수일수와 표면 유출량을 고려하여 개선된 SPI를 산정하고, 산정된 SPI를 평가하고자 한다. 김광섭과 이준원(2011)은 과거 실제 가뭄사례와 산정된 가뭄지수를 비교함으로서 SPI가 실제 발생한 가뭄을 감지하는 능력이 높지 않음을 확인하였다. 이러한 SPI의 실제 가뭄사례에 대한 감지능력 향상을 위하여 실질적인 가뭄의 영향인자인 무강수와 해갈을 위한 강수의 효과를 고려한 표면유출을 이용하여 지수를 개선하고 평가해보고자 한다. 평가 방법으로는 ROC (Receiver Operating Characteristic)분석을 사용하였다. ROC 분석은 실제 일어난 사건과 산정된 값의 확률론적 비교방법으로 과거 실제 발생한 가뭄사건과 가뭄지수에 의해 산정된 지수를 비교할 때 효과적으로 적용할 수 있을 것이라 판단된다. 1973년부터 2009년까지의 기상청 지상관측지점의 강수자료를 바탕으로 SPI를 산정하였으며, 이를 역거리가중법을 통해 우리나라 전역의 공간분포로 나타내었다. 또한, 1973년부터 2009년까지의 실제 가뭄사례를 수집하여 가뭄의 유무에 따라 행정구역단위의 지역별로 '가뭄-무(無)가뭄'으로 정량화하였다. 생성된 과거 실제 가뭄사례의 공간분포와 다양한 변수의 추가를 통해 수정된 SPI의 공간분포를 확률론적 비교, 검증방법인 ROC 분석을 시행하여 가장 적합성이 높은 가뭄지수를 선정하였다.

2. 입력자료 생성 및 가뭄지수 산정

2.1 자료구축 및 Modified SPI 산정

우리나라 전역을 면으로 표현하기 위하여 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 전국 76개 기상관측지점 중 가뭄에 지형적인 영향을 많이 받는 섬지역인 백령도, 흑산도, 울릉도와 제주도 4개 관측지점을 제외하고 총 69개 관측지점의 자료를 사용하였다. 100년 가까이 된 관측 기간 중 관측 지점이 비교적 골고루 분포하여 지점 정보에서 공간정보로의 변형이 용이하다고 판단되는 1973년부터 2009년까지의 기간을 선정하였으며, 각 지점별로 강우와 평균기온을 일 단위로 획득하였다. 1973년의 우리나라 전역에 분포한 관측지점의 수는 58개였으며 이후 차츰 관측지점

의 수가 늘어났으며, 본 연구에서 사용한 관측지점은 최초 1973년 58개에서 1985년에는 60개, 1988년에는 63개, 1992년에 64개, 1995년에 65개, 1998년에 66개 그리고 2002년부터 69개의 지점 정보를 사용하였다. 지점별로 획득한 일 자료를 강수는 합계, 기온은 평균을 통해 월단위의 값으로 생성하였으며, 생성된 월 강수를 이용하여 가뭄지수를 산정하였다.

본 연구에서 사용할 표준 강수 지수(Standardized Precipitation Index; SPI)는 현재 우리나라 기상청에서 PDSI, 평균치비율과 함께 사용되며 그중 가장 중점적으로 사용하고 있는 지수로 강수자료만을 가지고 산정할 수 있는 비교적 간단한 가뭄판단 지수이다. McKee et al. (1993)에 의하여 제시된 SPI는 강수의 부족이 각종 수자원에 영향을 미치고 상대적인 물 부족을 야기하며 이로 인하여 가뭄이 발생한다고 판단하고 있으며, 30년 이상의 강수를 이용하여 지속시간별 시계열을 구성하여 이를 적정 확률분포형에 일치시키는 통계적 방법으로 지수를 산정하게 된다. 산정된 지수는 가뭄의 심도측정을 위하여 Table 1과 같이 분류하여 정의하였다. 본 연구에서는 3개월의 지속기간을 가지는 SPI3을 사용하였으며, 가뭄의 심도분류표에 나타난 Moderately Dry를 가뭄의 기준으로 선정하였다. 그리고 다양한 방법을 통해 개선된 가뭄지수에서도 마찬가지로 -1.00 이하를 가뭄이라 정의하였다.

산정된 SPI의 ROC (Receiver Operating Characteristic)분석을 위해서는 지점별로 되어 있는 정보는 공간으로 확장할 필요가 있다. 임의의 공간 값을 선정하기 위하여 반경 100 km 내에 포함되는 기상청 관측지점을 대상으로 근거리일수록 높은 가중치를 주는 역거리가중법을 이용하여 69개의 지점정보를 공간으로 확장하였다. 공간으로 확장된 정보는 다시 한 번 각각의 행정구역별로 평균을 통해 우리나라 전역 228개 시, 군, 구 단위의 행정구역 대푯값으로 표현 하였다. 본 연구에서 사용될 ROC 분석은 공간 대 공간을 분석하는 기법으로 과거 발생한 가뭄

Table 1. Valuation Value of Drought Index

Rank	Index Value		
Extremely Wet		Over	2.00
Very Wet	1.50	~	1.99
Moderately Wet	1.00	~	1.49
Near Normal	-0.99	~	0.99
Moderately Dry	-1.49	~	-1.00
Severe Dry	-1.99	~	-1.50
Extremely Dry		Under	-2.00

: Standard of Drought Judgment on Study

기록의 공간분포와 생성된 가뭄지수의 공간분포를 비교하게 된다. 여기서, 과거의 가뭄기록은 명확한 관측이 상대적으로 부족하던 시절부터 지역주민들의 체감에 의해서 기록된 것이 대부분으로 유역별 구분보다 행정구역별 구분에 근사하다고 할 수 있다. 따라서 행정구역 단위의 대푯값 생성은 분석 과정에서 좀 더 효과적으로 적용될 것으로 판단된다.

지면까지 도달하는 강수는 지하로의 유입과 지면저류 그리고 표면 유출로 나눌 수 있다. 이 중 가뭄 해갈에 직접적인 영향을 미치는 것이 지하수로 유입되는 강수량이라고 할 수 있으며, 반면에 표면을 통한 유출은 강수 기간 이외에 발생하는 가뭄에 대하여 직접적인 해갈에 도움을 준다고 말할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 SPI 생성에 필요한 입력 자료인 강수를 해갈에 기여하지 않는 유출량을 고려하여 유효강수량으로 변형하였으며 이를 통해 SPI를 생성하였다. 그밖에도 기온의 영향을 고려한 건조지수와 강수효율을 생성하여 기존의 SPI와 비교하였다. 한 지역의 건조의 정도를 기온과 강수량의 관계로 나타낸 건조지수(Aridity Index)는 일 년 강수량의 합계를 연평균 기온에 10을 더한 것으로 나누는 형태를 위하고 있으며(Eq. (1)), 본 연구에서는 월단위의 건조 특성을 이용하기 위하여 P는 월 강수량 합계(mm), t는 월 평균기온(℃)을 사용하였다. 또한, 강수효율(Precipitation Effectiveness Ratio)은 증발량이 고려된 강수량의 비율이라 할 수 있으며, 흔히 P-E비라 한다. 하지만 실제 사용에서는 증발량의 측정치를 획득하는데 불편함이 있어 증발량 대신 기온의 함수를 사용한다(Eq. (2)) (오재호, 1999). 여기서, P, E, T는 각각 강수량의 합계(inch), 증발량(inch) 그리고 평균기온(°F)을 나타내며 본 연구에서는 월 자료를 사용하여 월 강수량의 합계와 월 평균기온을 사용하였다. 건조지수와 강수효율의 고려를 통해 오로지 강수하나만의 입력 변수에서 기온을 고려한 개선된 SPI의 형태를 확인할 수 있을 것이라 판단된다. 위와 같은 방법으로 생성된 지수의 형태를 Table 2와 같다. 여기서 MSPI01과 MSPI02는 각각 건조지수와 강수효율을 SPI3의 방법으로 수행한 것으로 강수와 기온의 영향을 고려하였으며, MSPI03과 MSPI04는 강수의 절삭으로 가뭄해갈의 직접적인 영향을 주지 않는 유출을 고려한 것이다.

$$Ai = \frac{P}{t+10} \tag{1}$$

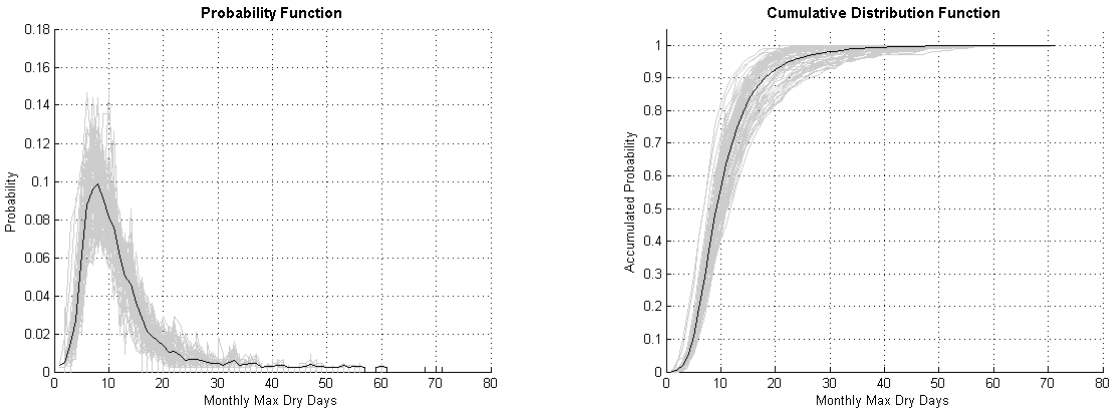
$$P-E\ ratio = \frac{P}{E} = 115\left(\frac{P}{T-10}\right)^{10/9} \tag{2}$$

가뭄에 있어서 강우가 가장 중요한 요소를 차지한다. 다시 말하면 강우가 없는 무강수일수가 길수록 가뭄이 발생할 확률이 높다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 가뭄에 있어서 중요한 요소가 되는 무강수일수의 고려를 통해 SPI3를 개선하고자 한다. 기존의 SPI3에서 무강수일수의 가중치를 부여함으로서 가뭄표현의 절대적인 빈도가 부족한 점을 보완하고 향상된 가뭄 감지능력을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구에서 가뭄지수는 월 단위로 산정되는 반면 무강수일수는 일 단위로 그 값이 나타난다. 따라서 일 단위의 무강수일수를 월단위의 값으로 변형하는 과정이 필요하다. 강수시작일을 '1'이라 하였을 때 다음날에도 무강수가 계속될 경우 해당하는 날을 '2'가 된다. 마찬가지로 그 다음날에도 무강수일이 연속적으로 계속될 경우 '3', '4', '5'로 1씩 더해가는 형식으로 예를 들어 30일 동안 비가오지 않을 경우 30번째로 비가 오지 않은 날은 '30'이라는 수치를 가지게 된다. 무강수가 지속되는 과정에서 강수가 감지되면 해당하는 일은 '0'으로 앞서 무강수일수를 누적하던 수치가 처음으로 돌아간다. 이와 같이 산정된 일 단위 무강수일수 누적치의 월 단위 최댓값을 선정하여 사용하였다. 월 단위로 산정된 무강수일수의 최댓값을 확률분포로 나타내면 Fig. 1(a)와 같다. 월별로 5에서 10일정도의 무강수일수가 가장 많이 나타났으며 최대 70까지 무강수일수가 기록되었으며, 분포의 형상은 강수와 비슷한 감마분포의 형상을 보여주고 있다. 또한 무강수일수의 확률분포를 누적분포함수로 나타낸 결과는 Fig. 1(b)와 같으며 누적분포함수로 표현된 무강수일수는 0과 1사이의 값을 가지며 무강수일수가 클수록 1에 가까운 수치를 가진다.

Table 2. Formations of Modified SPI - 1

MSPI01 =	SPI3 Run [Aridity Index]
MSPI02 =	SPI3 Run [P-E Ratio]
MSPI03 =	SPI3 Run [If(Precipitation≥50) : 50 + (Half of over 50)]
MSPI04 =	SPI3 Run [If(Precipitation≥100): Precipitation=100]



(a) (b)

Fig. 1. (a) Probability Function of Monthly Max Dry Period, (b) Cumulative distribution Function of Monthly Max Dry Period

Table 3. Formations of Modified SPI - 2

MSPI05 =	MSPI03 + (MSPI03 × CDF Value)
MSPI06 =	MSPI03 - CDF Value
MSPI07 =	MSPI03 - (CDF Value × 2.0)
MSPI08 =	MSPI03 - (CDF Value × 1.5)
MSPI09 =	MSPI03 × PN Run [Monthly Maximum Dry Period]
MSPI10 =	MSPI03 + (MSPI03 × Deciles Run [Monthly Maximum Dry Period])

무강수일수가 길어질수록 가뭄의 확률이 높아지고 그 심도 또한 깊어지는 특성을 볼 때 누적분포함수 수치를 이용하여 기존의 지수에 가중치를 줄 수 있을 것으로 판단된다. 무강수일수의 누적분포함수 값을 Table 3과 같이 4가지의 연산을 통해 가중치를 주었으며, 추가적으로 무강수일수의 평균치 비율과 십분위 분배를 통해 가중치를 주어 개선된 가뭄지수를 산정하였다.

생성된 MSPI03 (Table 2)을 기반으로 누적분포함수의 가중치를 주었다. MSPI05는 MSPI03의 값에서 누적분포함수의 수치만큼을 곱해서 가중치를 산정하고 이를 최초의 MSPI03에 더해줌으로서 가뭄이 발생하였을 때 좀 더 심도 있는 가뭄을, 가뭄이 발생하지 않았을 때의 상황을 좀 더 뚜렷하게 표현하게 된다. MSPI06, MSPI07, MSPI08은 MSPI03에서 누적분포함수의 수치를 빼줌으로서 전체적인 MSPI03을 가뭄 발생의 음의 값으로 하향시키게 된다. MSPI09는 무강수일수의 평균치 비율을 통해 산정된 값을 MSPI03에 곱해줌으로서 무강수일수가 평균이상일 경우 MSPI03의 수치를 양과 음의 값에 관계없이 증폭시키고 평균이하일 경우 감소시키는 형태가 된다. 마지막으로 MSPI10은 무강수일수의 십분위 분배량을 MSPI03에 곱하고 이를 최초의 MSPI03과 더함으로서 무강수일수가 높을 경우 양과 음의 값에 관계없이 수치를 증폭 시키고 낮을 경우 감소시키게 된다. 위와 같은 여러 종류의 변형은 기존의 SPI3에 무강수일수의 영향을 고려하여 가중치를 주었으며, 전반적으로 가뭄의 절대표현이 부족한 SPI3의 개선을 위하여 좀 더 가뭄의 표현을 늘리고자 무강수일수의 가중을 통해 심도를 높이는데 주력하였다.

2.2 과거 가뭄기록의 정량화

과거 농업이 주를 이루던 조선시대부터 농사를 위한 용수공급의 중요성을 인지하고 세종 24년(1442년)에 측우기를 제작하여 강수기록을 남겼으며, 근대에 이르러 현대적인 관측 장비를 이용한 강수관측이 이루어 졌다. 하지만 가뭄의 관측에 대해서는 명확한 정의가 없이 지역 주민들의 체감에 의한 물 부족을 통해 가뭄을 인지하였으며, 피해정도의 정보도 미약한 실정이다. 상대적 강수부족량과 풍작 또는 흉작을 통해 가뭄의 심도를 짐작하였으며, 특정한 관측지점이 없이 어느 한 지역의 가뭄상황만을 기록한 것이 대부분이다. 뿐만 아니라 가뭄의 시점과 종점을 명확히 구분하기 힘들고 심도 또한 마찬가지다. 이러한 불명확한 과거 가뭄의 기록을 정량화하기 위하여 김광섭과 이준원(2011)이 수행 바 있는 가뭄의 유무에 따라 월단위의 우리나라 행정구역도 전역에 표시하는 방식을 사용하였다. 우선 과거의 가뭄기록 수집을 위하여 각종 보고서(건설교통부, 2002, 1995; 농업기반공사, 2005, 2004, 2003; 수자원공사, 2001)의 가뭄의 기록과 1973년부터 2009년까지의 각종 신문의 가뭄기사를 사용하였다. 보고서의 과거 가뭄기록은 신문기사에 비하여 상대적으로 가뭄의 시기와 피해정도를 구체적으로 표현하고 있으며, 신문기사의 경우 가뭄이 발생했을 때 해당지역주민의 체감이라 할 수 있는 식수부족과 각종 용수부족, 농번기 때의 농업용수 부족 등으로 다른 정형화된 기록에 비해 불명확하다는 특징을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 불확실성을 최소화 하고자 처음 가뭄기사가 나온 시점부터 마지막 가뭄기사까지의 기간을 확인하여 월단위로 분배하였으며, 특히 해갈의 가뭄기사가 발견될 경우 해갈 이전까지를 가뭄이라 판단하였다. 이와 같은 방법으로 크게는 도 단위, 작게는 시 단위의 행정구역도에 'on-off'방식으로 표시하고 1973년부터 2009년까지 월단위로 총 444개의 과거 가뭄기록의 공간정보를 생성하였다. Table 4에 1973년부터 2009년까지 가뭄의 기록을 지역별, 기간별로 요약하였다.

3. ROC를 적용한 가뭄지수 평가

ROC (Receiver Operating Characteristic) 분석은 평면상에 X와 Y 2종류의 특정한 수치를 표시하고 확률론적 이론을 근거로 두 종류의 상대적인 관계를 확인할 수 있는 상관분석의 방법이다(Heckerling, 2002). 두 종류의 사건에서 두 사건 모두 참과 거짓의 사상을 가질 경우 전체 발생할 수 있는 경우의 수는 4가지가 되고 이와 같이 생성된 4가지의 경우의 수 중 '참-참'의 사상과 '거짓-참'의 사상을 평면상에 나타냄으로서 상관관계를 확인할 수 있다. 예를 들면, 우선 A (Actual Value)라는 실제 사실의 사건과 B (Prediction Outcome)라는 추정된 사건이 존재하며, A와 B사상 모두 참과 거짓의 사상이 존재한다고 가정한다. 여기서 A사상이 참일 때, B사상이 참인 경우(True Positive; TP)와 B사상이 거짓인 경우(False Negative; FN)의 2가지와 A사상이 거짓일 때, B사상이 참인 경우(False Positive; FP)와 B사상이 거짓인 경우(True Negative; TN)의 2가지 사상으로 총 4가지 경우의 수가 발생한다. 이 때, TP사상을 Y축(Sensitivity)(Eq. (3))에 FP사상을 X (1-Specificity)(Eq. (4))축으로 나타내고 가장 높은 TP값과 가장 낮은 FP값을 최대의 상관성을 가지는 값으로 판단한다. 여기서 TP와 FN, FP와 TN은 각각 서로 여사상으로 TP와 FP의 표현으로 나머지 FN과 TN의 경

Table 4. Drought Record Collected by Reports and Newspaper

년도	일시	지역	기간(월)
1973	04.04	전지역	2~4
	04.11	전지역	
	06.20	남부지방	6~7
	07.18	영남, 호남, 충남	
	07.31	영남, 호남	
1974	01.12	전지역	1
	01.21	전지역	
	8.21	남부지방	8
1975	01.06	전지역	12~3
	01.20	전지역	
	03.04	남해안	
	03.06	전지역	
	06.20	강원도	6
	07.07	전지역	
1976	01.30	중부, 강원	1~2
	02.02	전지역	
	02.16	전지역	
	05.31	전지역	5~6
	06.08	전지역	
1977	02.02	전지역	1~2
	03.02	전지역	
	06.28	남부지방	6~7
	07.28	영남, 호남	
	08.08	남부지방	
1978	04.11	영남, 호남	2~6
	05.01	전지역	
	06.20	전지역	
1979	01.25	영남, 호남	1
1981	05.27	전라도, 경상도	5~6
	06.22	전지역	
1982	02.10	전지역	1~7
	06.21	영남, 호남	
	07.02	영·호남, 충청도, 영동	
	07.24	영남, 호남	
1984	02.06	전지역	1~3
	03.26	전지역	
	11.07	전지역(호남제외)	10~11
1985	06.15	경북, 전북	5~6
1986	4	서울, 중부	4
1988	01.11	중부지방	1~3
	03.07	전지역	
	06.28	전지역	6~7
	07.14	전지역	
	10.20	전지역	10~11
	11.15	전지역	
1991	12.05	남부지방	10~12
1992	04.11	남부지방	12~3
	06.18	영남, 호남	6~7
	07.07	전지역	
	08.12	남부지방	
1993	10.29	전지역	10~12 1~4
1994	01.14	전지역	
	04.13	전지역	
	05.02	전지역	5~7
	07.08	중부지방	
	07.21	영남, 호남	
	08.02	전지역	
	12.16	남부지방	8~12 1~4
1995	01.14	영남, 호남	
	02.02	남부지방	
	04.23	남부지방	
	07.29	영남, 호남, 충청	7~8
	08.22	호남, 충청	
	09.01	영남	
	12.05	남부지방	11~12 1
1996	01.15	남부지방	
	03.03	남부지방	2~3
	03.08	전지역	
	12.17	경북	12 1~3
1997	01.29	포항	
	04.03	전지역	
	10.21	남부지방	10~11
	11.26	남부지방	
2000	02.24	남부지방	2~6
	05.18	남부지방	
	06.27	남부지방	
2001	04.20	남부지방	4~6
	05.11	중부지방	
	06.02	전지역	
	06.19	전지역	
	09.19	중부지방	6
	12.03	경북	12 1~4
2002	03.01	영남	
	04.29	전지역	
2004	1~3	경상도	1~3
2005	9	제주도	9
2006	1	경남, 포항	1
	3	강원도, 영동	3
2007	1	전국	1
	1	경북 내륙	1
	1	전북	1
2008	9~10	남부지방, 경남	9~10
2009	1~3	강원도	1~3

우까지 고려한다고 볼 수 있다. 또한, 참 값과 거짓 값을 판단하는 기준의 연속적인 변형을 통해 ROC평면상에 곡선의 형태를 확인할 수 있으며 이와 같은 곡선을 ROC Curve라 한다(VanErkel and Pattynama, 1998). Fig. 2에 각각의 사건에 대한 참과 거짓의 사상을 도식적으로 표현하였다.

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} = True\ Positive\ Rate \quad (3)$$

$$Specificity = \frac{TN}{FP + TN} = True\ Negative\ Rate \quad (4)$$

개선된 가뭄지수의 평가를 위해서 과거 발생할 실제 가뭄의 기록과 지수를 통해 생성된 지수간의 관계를 분석하고자 한다. 본 연구에서 선정한 ROC 평가를 위하여 가뭄

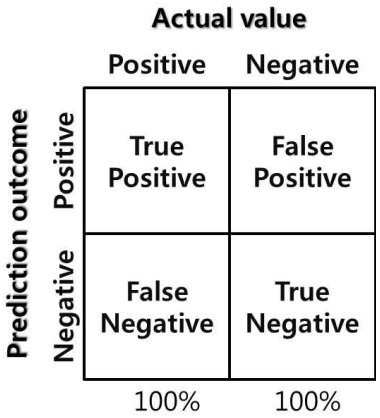
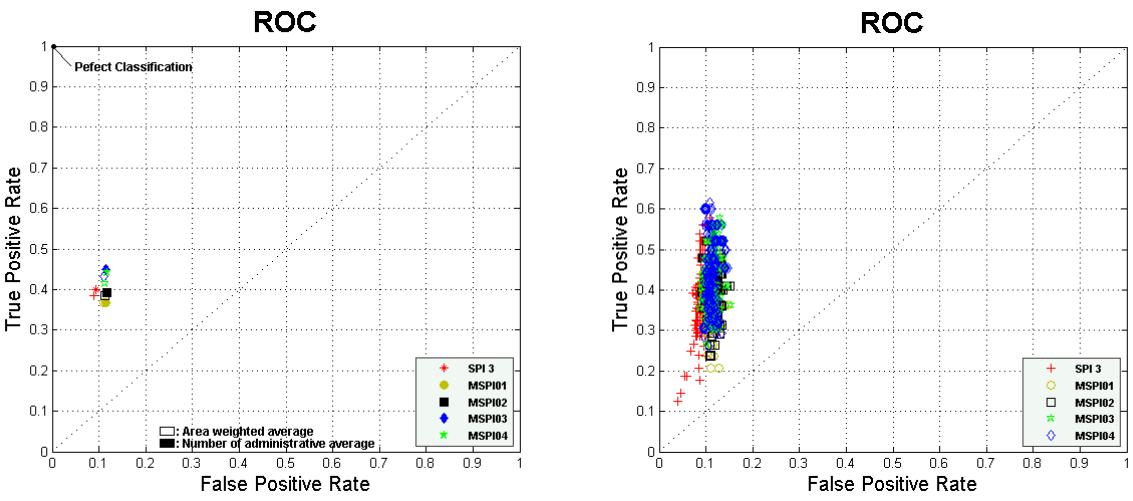


Fig. 2. ROC Classification Model

의 유무에 의해 4가지의 사상으로 분류하였다. 과거 실제 가뭄이 발생했을 때, 가뭄지수가 가뭄을 표현할 경우 TP, 과거 실제 가뭄이 발생하였지만 가뭄지수가 가뭄을 표현하지 못할 경우 FN으로 분류하였다. 반면에 과거 실제 가뭄이 발생하지 않았을 때, 가뭄지수가 가뭄을 표현할 경우 FP, 과거 실제 가뭄발생이 없고 가뭄지수 또한 가뭄을 표현하지 않는 경우 TN으로 분류하였다. 위와 같이 분류된 4가지 경우의 수 중 TP와 FP를 한 평면상에 나타냄으로서 ROC 평가를 수행하였다. 본 연구에서 선정한 기간은 1973년부터 2009년까지로 지수에 의해 산정된 가뭄의 정보를 역거리가중법을 통해 우리나라 전역의 공간분포로 확장하였다. 공간분포로 확장하는 과정에서 과거 가뭄발생의 기록이 경상도, 전라도 등과 같은 행정구역단위인 점을 감안하여 산정된 지수의 공간분포 또한 시, 군, 구 단위의 228개의 행정구역 단위로 표현하였다. 이와 같은 방법으로 1973년부터 2009년까지 총 37개월의 공간정보와 과거 가뭄기록의 수집을 통한 37개월의 공간정보를 4가지의 ROC 분류체계를 이용하여 분류한 후 TP와 FP사상을 전체 기간에 대한 각각의 비율로 표현하였다. 228개의 행정구역 각각의 수치를 Fig. 3(b)에 나타냈으며, 228개의 행정구역에 대한 평균값과 행정구역당 넓이에 따른 가중치를 준 평균값을 Fig. 3(a)에 나타내었다. 또한 Table 5에 각각의 지수와 Perfect Classification까지의 거리를 수치로 나타냈으며, 이를 통해 높은 가뭄의 표현능력을 보이는 지수를 확인할 수 있다.

유출을 고려한 강우의 절삭을 통해 SPI3 (3개월의 지속시간을 가지는 SPI)을 수정한 결과 기존의 SPI3에 비하여



(a) (b)

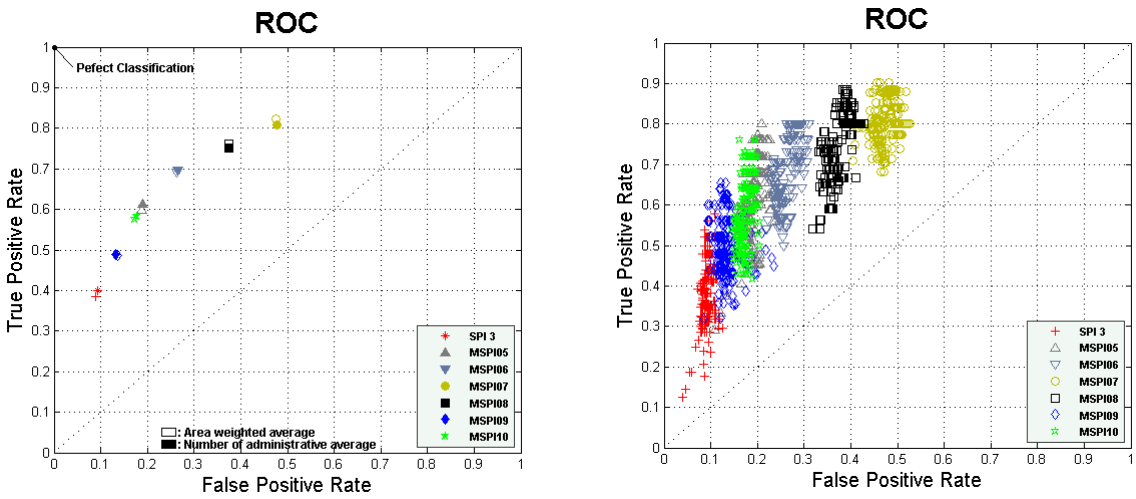
Fig. 3. (a) Point of Modified Indices on the ROC Space : Average of Administrative Value, (b) Point of Modified Indices on the ROC Space : Administrative Value

Table 5. Length Each Point to Perfect Classification - 1

SPI 3	MSPI01	MSPI02	MSPI03	MSPI04
60.62525	64.28608	61.94461	56.31301	57.09014

Table 6. Length Each Point to Perfect Classification - 2

SPI 3	MSPI05	MSPI06	MSPI07	MSPI08	MSPI09	MSPI10
60.62525	43.27362	40.14809	51.48796	45.03909	52.72213	45.21172



(a) (b)

Fig. 4. (a) Point of Modified Indices on the ROC Space : Average of Administrative Value, (b) Point of Modified Indices on the ROC Space : Administrative Value

다소 개선된 가뭄의 표현을 보여주었다. 그중 MSPI3는 50 mm 이하의 강우는 해갈을 감안하여 그대로 유지하고 50 mm 이상의 강우는 50 mm 이상의 수치 중 절반만 유효 강우로 고려하는 방법으로 가장 개선된 가뭄의 감지능력을 보여주었다. SPI3의 개선 중 MSPI01과 MSPI02의 강수와 기온을 고려한 변형은 기존의 SPI3보다 낮은 수치를 보여주는 반면 강수의 절삭을 통한 유출의 고려는 개선된 결과를 보여주었다.

또한 전반적인 SPI3와 MSPI의 특성은 FP값은 낮은 반면에 TP값이 절반 이하의 낮은 수치를 보여주고 있다. 이는 SPI3가 가뭄의 절대적인 표현빈도가 부족함을 의미한다고 판단할 수 있다. 과거 가뭄의 기록이 가뭄으로 표현되지만 SPI3는 가뭄을 표현하지 않고 있는 경우가 많고, 반면에 FP는 가뭄의 기록이 가뭄이 아닐 때 SPI3가 가뭄이라고 표현하는 것으로 수치가 낮은 것이 비교적 만족스러운 결과라고 볼 수 있겠다. 이와 같은 수치적 특성을 볼 때 TP값의 증가가 주요 연구 방향이라고 판단할 수 있으며, 계속되는 연구 진행과정에서 상대적으로 높은 수치를 보여주는 MSPI03를 이용한 가뭄지수의 개선이 좀 더 효과적으로 적용될 수 있을 것이다.

생성된 MSPI의 평가를 위하여 ROC 분석을 사용하였으며 Table 6에 나타낸 Perfect Classification까지의 거리를 통해 기존의 SPI3과 비교 하였다. Fig. 4(b)에 우리나라 전역 228개 시, 군, 구의 행정구역 단위의 평가 결과와 Fig. 4(a)에 행정구역의 평균 수치를 확인할 수 있다. -1.00 이하를 가뭄이라 볼 때, Perfect Classification까지의 거리를 기준으로 기존의 SPI3과 비교해 무강수일수를 고려한 MSPI가 향상된 가뭄감지능력을 보여주고 있으며, 그 중 MSPI06가 가장 높은 가뭄감지능력을 보여주고 있다. Perfect Classification은 TP의 수치가 100%이고, FP의 수치가 0%인 지점으로 실제 가뭄이 발생했을 때 가뭄지수가 가뭄을 감지할 확률이 100%이면서 실제 가뭄이 발생하지 않았을 때 가뭄지수가 가뭄을 표현할 확률이 0%인 상태이다. MSPI06 다음으로는 MSPI05, MSPI08, MSPI10, MSPI07, MSPI09순으로 나타났다. ROC 공간상에 TP의 수치가 낮게 나온 SPI3에 비하여 전반적으로 TP의 값은

향상된 수치를 보여고, FP의 수치 또한 증가하는 형태를 보여주고 있다. 이는 전반적으로 개선된 SPI는 기존의 SPI3에 비하여 가뭄의 심도를 높여줌에 따라 가뭄을 자주 표현하기 때문에 가뭄의 감지가 늘어나는 반면, 상대적으로 가뭄이 아님에도 가뭄을 감지할 확률이 높아지기 때문이라 판단된다.

4. 결 론

과거부터 국가의 흥망성쇠를 좌우할 만큼 거대한 자연재해인 가뭄은 명확한 이해와 정확한 감지를 위한 노력이 계속 되고 있으며, 각각의 분야에서 특성에 맞는 가뭄지수를 개발하여 가뭄을 판단하고 있다. 특히, 1993년에 개발된 SPI는 강수자료 하나만을 고려한 기상학적 가뭄지수로 우리나라 기상청을 포함한 여러 나라의 가뭄모니터링 및 가뭄 연구를 위한 기초 자료로 사용되고 있는 대중적인 가뭄지수이다. 그리고 SPI뿐만 아니라 해마다 새로운 기법을 사용한 가뭄지수가 개발되고 있으며, 기존의 지수를 다양한 방법으로의 재해석을 통해 좀 더 개선된 가뭄의 감지를 보이는 지수를 찾고자 노력한다.

본 연구에서는 기온, 유출, 무강수일수를 고려하여 기존의 SPI3의 가뭄 감지능력향상을 위하여 다양한 방법의 변형을 시도하였다. 기온의 영향을 고려한 가뭄지수 개선을 위하여 건조지수와 강수효율의 강수-기온의 함수를 사용하여 SPI3를 수행하였으며, 또한 가뭄 해갈에 기여하지 않는 과다 강수의 유출을 고려하기 위하여 강수의 절삭을 통해 유효강수를 산정하여 SPI3을 수행하였다. 그리고 가뭄의 직접적인 영향이 있는 무강수의 고려를 통해 가뭄지수를 개선하였다. 무강수 일수의 월별 최대치를 십분위, 평균치비율 그리고 분포함수의 형태로 변형한 후 이를 기존의 가뭄지수에 가중치를 줌으로서 향상된 가뭄감지능력을 가진 가뭄지수를 찾아내고자 하였다.

가뭄지수의 가뭄감지 능력의 평가를 위해서 ROC 분석을 수행하였다. ROC 분석은 가뭄의 유무에 따라 4가지의 확률론적 분류를 통해 적합성을 평가하는 방법으로 과거 실제 가뭄발생 사례의 정보를 기본적으로 포함하게 된다. 따라서 과거 실제 발생한 가뭄의 사례를 1973년부터 2009년까지 월단위로 수집하였으며, ROC 분석을 위해서 월단위의 행정구역단위 공간분포로 나타내었다. 그리고 지점을 기준으로 생성된 가뭄지수 또한 역거리가중법을 통해 전국 228개의 행정구역 단위로 나타내고, 수집된 과거 가뭄기록의 공간분포와 ROC 분석을 수행하였다.

분석결과 가장 높은 가뭄감지능력을 보여주는 방법은 유출을 고려한 강수량의 절삭과 무강수일수 누적분포함수의 가중치를 고려한 방법이었다. SPI3의 가뭄 분류기준의 'Moderately Dry'에 속하는 -1.00이하의 수치를 고려했을 때 SPI3은 전반적으로 가뭄을 감지하는 절대빈도가 부족함을 확인할 수 있었으며, 따라서 가뭄지수의 심도를 깊게 해주는 방법을 통해 전반적인 가뭄의 감지를 높여 개선하는 방법을 사용하였다. 가장 우수한 가뭄감지능력을 보여준 MSPI06은 50 mm이상의 강수의 값을 절반만 고려하여 유출을 고려한 강수의 절삭을 수행한 후 SPI를 수행하였으며, 추가적으로 무강수일수의 누적분포함수 수치를 빼줌으로서 무강수의 가중치를 부여하여서 산정하였다. MSPI06은 기존의 SPI3에 비하여 상당히 개선된 가뭄 표현능력을 보여주고 있으며, 유출과 무강수를 고려한 다른 개선된 지수 또한 기존의 SPI3보다 개선된 능력을 보여주었다.

무강수일수는 가뭄을 이해하는데 있어서 아주 중요한 요소이다. 무강수 기간이 길어질수록 가뭄이 발생할 확률이 높아지며 반대로 무강수 기간이 짧을수록 가뭄이 발생할 확률이 낮아진다. 이와 같은 특성을 반영해 무강수일수를 효과적으로 사용함으로서 기존의 가뭄지수보다 개선된 지수를 생산해 낼 수 있을 것이다. 본 연구에서 사용한 무강수일수의 기간에 따른 가중치는 기존 가뭄지수의 특성을 그대로 유지한 채로 추가적인 가중치를 주는 방법으로 본 연구에서 사용한 SPI3뿐만 아니라 다양한 가뭄지수를 산정한 후 추가적인 가중치를 줄 수 있는 폭넓은 적용성을 가지고 있으며, 연구 결과를 통해 알 수 있듯이 상당한 개선을 보여주고 있다. 또한, 가뭄해갈에 직접적인 영향을 주지 않는 과다 강수의 절삭도 기존 가뭄지수 산정과정에 입력 자료로 이용되는 강수를 수정하는 것으로 여러 가뭄지수에 폭넓게 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS_2010-4601)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부 (1995). 가뭄기록조사 보고서.

건설교통부 (2002). 2001년 가뭄기록조사 보고서.

김수영, 조환범, 이승오, 최민하 (2010). "KoFlux 타워에서 관측된 토양수분 값을 이용한 가뭄지수 활용에 관한 연구." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제30권, 제6B

호, pp. 541-549.
권형중, 박현진, 홍대의, 김성준 (2006). “SWSI 가뭄지수를 보완한 준분포형 수문학적 가뭄평가 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제8호, pp. 645-658.
김광섭, 이준원 (2011). “관측 자료를 이용한 가뭄지수의 평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제44권, 제8호, pp. 639-652.
농업기반공사 (2003). 농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안(I).
농업기반공사 (2004). 농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안(II).
농업기반공사 (2005). 농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안 연구(최종).
류소라, 유철상 (2004). “수정 표준강수지수의 제안 및 적용.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제7호, pp. 553-567.
오재호 (1999). 기후학 I. 도서출판 아르케, pp. 259-266.
유지영, 박종용, 김태웅, 박무종 (2011). “용수과부족지수(WEDI)를 이용한 사회경제학적 가뭄평가” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제31권, 제3B호, pp. 253-264.
한국건설기술연구원 (2002). 가뭄관리 종합대책 수립연구.
한국수자원공사 (2001). 2001년 전국 가뭄조사 보고서.
Heckerling, P.S. (2002). “Parametric receiver operating characteristic curve analysis using mathematica.” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 69, 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.
Türkeş, M., and Tath, H. (2009). “Use of the standardized precipitation index (SPI) and a modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey.” *International Journal of Climatology*, RMets, Vol. 29, No. 15, pp. 2270-2282.
NOAA (2006). *NOAA drought fact sheet.* National weather service, pp. 1-3.
Shafer, B.A., and Dezman, L.E. (1982). “Development of surface water supply index to asses the severity of drought condition in snowpack runoff areas.” *Proc. Westren Snow Conf,* pp. 164-175.
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, pp. 88-94.

논문번호: 12-001	접수: 2012.01.06
수정일자: 2012.01.27	심사완료: 2012.01.27