

## PDSI와 범지구적 해수면온도와의 저빈도 상관성 분석

Low Frequency Relationship Analysis between PDSI and  
Global Sea Surface Temperature

오태석\* · 김성실\*\* · 문영일\*\*\*

Oh, Tae-Suk · Kim, Seong-Sil · Moon, Young-Il

## Abstract

Drought is one of disaster causing factors to produce severe damage in the World because drought is destroyed to the ecosystem as well as to make difficult the economy of the drought area. This study, using Palmer Drought Severity Index carries out correlation analysis with sea surface temperatures. Comparative analysis carries out by calculated Palmer Drought Severity Index and past drought occurrence year. Result of comparative analysis, PDSI indexes were in accord with the past drought. Cluster analysis for correlation analysis carries out using precipitation and temperature that is input datas palmer drought severity index, and the result of cluster analysis was classified as 6. Also, principal component carries out using result of cluster analysis. 14 principal component analyze out through principal component analysis. Using analyzed 14 principal component carries out correlation analysis with sea surface temperature that is delay time from 0month until 11month. Correlation analysis carries out sea surface temperatures and calculated cycle component of the low frequency through Wavelet Transform analysis form principal component. Result of correlation analysis, yang(+) correlation is bigger than yin(-) correlation. It is possible to check similar correlation statistically the area of sea surface temperature with sea surface temperature in the Pacific. Forecasting possibility of the future drought make propose using sea surface temperature.

**Key words** : correlation analysis, PDSI, sea surface temperature, wavelet transform analysis

## 요 지

가뭄은 인간이 극복하기 힘든 자연재해로서 가뭄지역의 경제를 어렵게 할 뿐 아니라 생태계까지 파괴하기 때문에 전 세계적으로 가장 두려워하는 관심 재해 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 가뭄지수인 팔머가뭄지수와 범지구적 해수면 온도의 상관관계를 분석하였다. 먼저 팔머가뭄지수를 산정하여 과거 가뭄발생연도와 비교분석을 실시하였다. 비교분석을 결과 대부분의 과거 가뭄사상과 지수가 일치하는 것으로 분석되었다. 상관성 분석을 위해 팔머가뭄지수 산정을 위한 지수인 강수량과 온도자료를 월평균강수량과 월평균온도 자료로 산정하여 군집분석을 실시하였다. 우리나라 기상청관할에 있는 61개 지점을 선정하여 월평균강수량과 월평균온도 자료로 군집분석결과 총 6개의 군집을 형성하는 것으로 분석되었다. 또한, 군집분석결과와 팔머가뭄지수의 주성분 분석을 실시하였다. 주성분 분석을 통해 전체 자료의 분산을 80% 이상 설명할 수 있는 14개의 시계열 자료를 추출하였다. 추출된 팔머가뭄지수의 주요 성분과 범지구적 해수면 온도와의 상관성 분석결과 팔머가뭄지수는 양의 상관관계가 음의 상관관계보다 큰 것으로 분석되었으며, 태평양에서 관측되는 해수면 온도와 통계적으로 유의한 상관관계를 갖는 해수면 온도 구역을 확인할 수 있었다. 이를 통해 해수면 온도를 이용하여 우리나라에 발생할 수 있는 가뭄의 예측 가능성을 제시하였다.

**핵심용어** : 상관분석, Palmer 가뭄지수, 해수면온도, 웨이블렛 분석

## 1. 서 론

최근의 지구온난화에 따른 기후변화로 인하여 우리나라의 수문학적 특성이 변화하고 있는 추세이다. 기후변화에 따른 수문학적 변동에 의하여 홍수와 가뭄 사상이 보다 빈번하게 발생할 수 있는 가능성이 농후해지고 있는 추세이다. 이 중

에서 가뭄은 모든 수문학적 재해 중에서 발생 지역에 극심한 피해를 유발시킬 수 있는 자연재해 중의 하나이다. 가뭄(drought)은 장기간 동안 계속되는 무강우, 또는 강우의 심각한 부족현상을 말한다. 또한, 수문학적으로는 하천유량과 저수지 수위를 정상상태 이하로 저하시키고 토양수분의 고갈과 지하수위의 저하를 가져올 정도로 충분히 지속되는 비정상적

\*서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사후 과정(E-mail : taesuk79@gmail.com)

\*\*서울시립대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

\*\*\*서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수(교신저자)

으로 건조한 상태를 의미한다.

가뭄은 일정한 주기를 갖으며 발생하는 것으로 알려져 있다. 김형수(1999)는 나이테를 이용하여 가뭄의 발생주기가 태양 흑점의 활동 주기인 22년과 일치한다고 하였다. 변희룡과 임병환(2000)은 대구 지방을 대상으로 가뭄이 6, 12, 55년 주기가 있음을 확인하였다. 유철상과 김대하(2006)은 서울 지점의 가뭄사상의 재현기간이 14~35년 정도의 재현기간을 갖는 것으로 밝혔다. 유철상 등(2002)은 측우기 자료를 이용하여 상대적으로 강한 가뭄은 5년에서 10년 사이에 한번 발생하며 평균 지속기간은 3개월 정도인 것으로 분석하였다. Currie and Fairbridge(1985)는 가뭄이 11년 주기를 갖는 것으로 밝혔으며, Nigam 등(1995)는 태양 흑점의 활동 주기와 가뭄사상의 활동 주기가 77년임에 대한 가능성을 밝혔다. 이와 같은 연구에서 가뭄 사상은 반복적으로 발생하여 우리나라에 영향을 끼치고 있는 것으로 밝혔고 있다.

이러한 가뭄현상은 수문학적 물순환 과정에서 여러 수문 기상인자와 밀접한 관련을 갖으며 발생할 수 있다. 권현환 등(2006)은 ENSO(El Niño-Southern Oscillation) 지수와 PDSI(Palmer Drought Severity Index)와의 저빈도 상관성 분석을 수행하여, 강한 엘니뇨 또는 라니냐가 발생 하였을 때에 극한 수문 사상이 발생할 가능성이 있음을 시사하였다. Piechota and Dracup(1996)는 가뭄현상과 지역적인 수문학적 변화를 ENSO 지수와 연동하여 해석하였다. Chiew 등(1998)은 가뭄을 발생시키는 원인으로 ENSO 현상으로 알려져 있는 비정상적인 해수면 온도의 분포를 여러 원인 중에 하나로 지목하였다. 이동률(1999)은 엘니뇨/남방진동(ENSO)과 한국의 가뭄과의 연관성에 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과에서 우리나라의 가뭄은 ENSO가 16개월 정도 선행하는 유의적인 연관관계가 있음을 확인하였으나, 총 변동의 6%만이 ENSO 지수의 변동에 의해 설명되므로 가뭄을 ENSO 지수만으로 예측하는 것은 어렵다고 밝히고 있다. 권현환과 문영일(2005)은 우리나라의 PDSI와 ENSO 현상과의 교차상관분석을 통해 저빈도 교차상관관계 있음을 밝혔다. Dai 등(1997)은 ENSO 지수와 PDSI의 주성분 분석을 통해 추정된 EOF(Empirical orthogonal Function) 사이의 저빈도 상관관계가 있음을 밝혔다.

본 연구에서는 가뭄의 심도평가에 주로 이용되고 있는 PDSI와 범지구적 해수면온도와의 시·공간적인 원격지체상관분석을 수행하였다. 분석 방법은 우리나라의 61개 지점에서 관측된 강우량과 온도 자료를 통해 계산한 PDSI를 이용하여 군집분석과 주성분 분석을 통해 주요성분을 추출하고, 이와 해수면온도와의 상관성 분석을 수행하였다. 또한, Wavelet transform을 통해 PDSI의 저빈도 주기를 추출하여 해수면온도와 상관성 분석을 수행하였다.

## 2. PDSI의 저빈도 주기성분과 해수면온도의 상관성 분석 방법

본 연구에서는 가뭄의 심도와 기간 등에 대한 평가 방안으로 널리 이용되고 있는 Palmer 가뭄지수와 범지구적 해수면

온도와의 상관관계를 분석하였다. 분석 방법으로는 첫 번째로 우리나라의 30년 이상 관측된 기상관측소의 월평균강우량과 월평균온도자료를 이용하여 PDSI를 산정하였다. 30년 이상 관측된 관측소의 1973년부터 2008년까지 36년간 자료를 이용하였다. 두 번째로 군집분석과 주성분 분석을 통해 PDSI의 거동특성이 비슷한 지역을 구분하여 군집을 설정하고, 군집별로 주성분을 추출하였다. 세 번째로 추출된 PDSI의 주성분과 범지구적 해수면온도와의 상관성 분석을 수행하였다. 마지막으로 PDSI의 주성분에서 Wavelet Transform 분석을 통해 저빈도 주기성분을 추출하여 해수면온도와의 상관성 분석을 수행하였다.

### 2.1 Palmer 가뭄 지수

가뭄의 지속기간과 강도 등을 표현하기 위한 여러 가뭄지수가 개발되어 사용되고 있다. 가뭄현상은 자연적인 기후·기상현상의 변화로 인하여 발생하는 기상학적 가뭄으로부터 시작된다. 기상학적 가뭄은 토양함수량을 고갈시켜 식물의 물부족 현상을 초래하는 농업적 가뭄으로 전달되게 된다. 농업적 가뭄인 토양수분의 부족은 하천유출량 및 저수지 저류량 등을 감소시켜 수문학적 가뭄으로 발전된다. 가뭄은 상기의 전달과정을 통해 최종적으로 사회·경제적인 가뭄을 불러 일으켜 막대한 피해를 유발시키게 된다. 따라서 가뭄현상을 표현하는 가뭄지수는 산정목적에 따라 이용하는 자료와 산정 결과에서 차이를 보인다. 대표적인 기상학적 가뭄지수에는 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI), 정상강우백분율(Percent of Normal Precipitation), 십진분류(Deciles), 팔머가뭄심도지수(Palmer Drought Severity Index) 등이 있으며, 농업적 가뭄은 토양수분지수(Soil Moisture Index), 작물수분지수(Crop Moisture Index, CMI) 등이 있다. 수문학적 가뭄지수로는 저수율지수(Reservoir Storage Index), 팔머 수문학적 가뭄지수(Palmer Hydrologic Drought Index, PHDI), 지표수분 공급 지수(Surface Water Supply Index, SWSI)를 이용한 평가가 이루어지고 있다. Byun and Whlwhite(1999)는 여러 나라에서 이용하고 있는 가뭄지수에 대한 비교와 장단점을 분석하였다.

가뭄지수는 크게 기상학적 가뭄지수, 농업적 가뭄지수, 수문학적 가뭄지수 및 사회경제적 가뭄지수로 구분된다. 본 연구에서는 대표적인 수문기상인자 중의 하나인 해수면온도와 상관관계를 분석하였다. 따라서 기상학적 가뭄지수를 분석대상으로 선정하였다. 기상학적 가뭄지수는 대표적으로 PDSI, SPI 및 EDI가 있다. 이 중에서 PDSI는 특정 지역에 대한 기상이 어느 정도 비정상인가에 대한 척도를 제공하며, 현재의 상태를 과거 기록에 조망하여 볼 수 있다. 또한, 과거 기록의 시간 및 공간적 표현을 제공한다. 안재현 등(1995)과 권현환 등(2006)은 Palmer 지수를 이용하여 가뭄 지수에 대한 연구를 한반도를 대상으로 수행하였다. 따라서 본 연구에서도 PDSI를 이용하여 상관성 분석을 수행하였다.

Palmer(1965)는 가뭄을 “장기간의 이상수분부족”으로 표현하였으며, 이상습윤부족은 “정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족 기간”이라고 정의된다. 이는 수분의

부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기하는 현상으로 써, 최소한 2~3개월에서의 일반적으로 1년 이상 장기간의 수분부족이 지속되는 것을 나타낸다. 이러한 가뭄의 정의를 통해 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 합수로 나타내어, 기후적인 편차를 고려해 서로 다른 지역에 대해 비교 가능한 가뭄지수 PDSI(palmer drought Severity Index)를 개발하였다. PDSI는 강수량, 기온 및 일조시간 등의 자료를 사용하여 Thornthwaite and Mather(1955)의 월열지수법(monthly heat index method)으로 잠재증발산량을 추정 한 후, 기후학적으로 적당한 강수량과 실제 강수량의 차( $d$ )를 월별로 계산하며, 여기서 지역특성을 고려하여 가뭄지수를 계산하게 된다. PDSI는 기후특성인자와 수분편차의 곱으로 월별 이상지수(moisture anomaly index,  $Z$ )를 계산하며 계산된 월별 수분이상지수( $Z$ )와 전월의 가뭄지수를 이용해 월별 가뭄지수( $X$ )가 계산된다.

$$Z = K_j d \quad (1)$$

$$X_i = X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3}\right) - 0.103X_{i-1} = 0.897X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3}\right) \quad (2)$$

여기서,  $K_j$ 는 기후특성인자( $j=1,2,\dots,12$ )이며,  $d$ 는 수분편차(moisture deviation),  $X$ 는 가뭄지수,  $Z$ 는 수분이상지수(moisture anomaly index)를 의미한다. 또한, 아래첨자  $i$ 는 해당 월을 의미한다. 이 중에서 기후특성인자인  $n$ 는 초기 추정치인  $n$ 를 보정해서 이용하는 지수이며, 식 (3)에 표현된 의미를 포함하고 있다.

$$k = \frac{\overline{PF} + \overline{R}}{\overline{P} + \overline{L}} \quad (3)$$

여기서,  $\overline{PE}$ 는 잠재증발산량(long-term mean potential evapotranspiration for a calendar month)이며,  $\overline{R}$ 은 함양량(long-term mean soil moisture recharge for a calendar month),  $\overline{P}$ 는 강우량(long-term mean precipitation for a calendar month),  $\overline{L}$ 은 수분손실량(long-term mean soil moisture loss for a calendar month)를 의미한다.

PDSI는 대략 -6.0에서 6.0 사이의 값을 갖으며 다음 표 1과 같이 수분상태를 정의하고, 미국에서는 장기간 월별 PDSI를 국립기후자료센터(National Climatic Data Center)에서 제시하며, 주별 PDSI를 기후예측센터(Climate Prediction Center)에서 제공하고 있다.

표 1. PDSI의 건조 및 습한 기간의 구분

구분	상태	구분	상태
4.00 이상	극단적으로 습함	-0.50~-0.99	건조 기간 시작
3.00~3.99	매우 습함	-1.00~-1.99	약간 건조
2.00~2.99	적당하게 습함	-2.00~-2.99	적당하게 건조
1.00~1.99	약간 습함	-3.00~-3.99	매우 건조
0.50~0.99	습한 기간 시작	-4.00 이하	극단적으로 건조
0.49~-0.49	정상 상태		

## 2.2 군집분석과 주성분 분석

### 2.2.1 군집 분석(Clustering Analysis)

모집단에 소속된 많은 개체들의 특성인자를 통한 분류를 수행하기 위해서 사용되는 다변량 분석 기법이 군집분석(Clustering Analysis)이다. 군집분석과 판별분석이 다른 점은 판별분석은 조사된 데이터에 개체의 집단 변수가 이미 포함되어 있으나 군집분석은 개체들에 대해 측정된 변수에 의해 집단을 분류하게 되므로 집단의 개수와 집단의 종류(이름)는 분류 후 정해지게 된다. 즉 군집분석은 개체들이 분석 전에는 어떤 그룹에 속하는지 알려져 있지 않다. 따라서 군집분석은 grouping 혹은 classification이라 불리기도 한다. 개체를 분류하기 위해서는 Euclidean 거리를 계산하고 거리가 가까운 개체끼리 묶어야 한다. 두 개체 사이의 유사 정도를 거리로 표현할 수 있다. 거리가 멀면 유사성(similarity)이 떨어진다. 다음 식 (4)는  $r$ 번째 개체와  $s$ 번째 개체의 Euclidean 거리를 나타낸다. 개체들에 대해 변수들이 단위가 다르거나 분산이 다를 경우 변수를 표준화한 후 거리를 구하는 것이 더 적절하다.

$$d_{rs} = [(x_r - x_s)'(x_r - x_s)]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

군집을 구분하는 방법은 크게 비계층적 방법과 계층적 방법으로 구분 된다. 비계층적 방법은 군집의 중심이 되는 seed 점들의 집합을 선택하여 그 seed 점과 유사성이 높은(거리가 가까운) 개체들을 묶는(그룹화) 방법이다. 이 기법은 다음 3가지 문제점을 내포하고 있다. 첫 번째로 사전에 군집수에 대한 예상이 필요하다. 두 번째로 개체 분류는 처음 선택한 seed 점들에 의해 영향을 많이 받고 분석자마다 분류가 다를 가능성이 있다. 세 번째로 군집의 수와 seed 값 위치의 결합조건이 너무 많아 분류를 위한 유사성 계산에 용이하지 못하다. 반대로 계층적 방법은 유사성이 가까운 순서대로 개체들을 군집화 하는 기법으로 singlelinkage clustering 방법이 가장 효율적이다. Neighbor Method은 single-linkage clustering 방법 중 하나로 다음 순서에 의해 개체를 분류한다. 첫 번째로 개체의 수만큼의 군집이 있다. 예를 들어 개체가 6개가 존재한다면 처음 군집의 수는 6개이다. 두 번째로 유사성이 가장 가까운 개체를 군집으로 묶는다. 세 번째로 개체가 군집으로 묶이게 되면 개체와 새로 만들어진 군집과의 유사성을 계산한다. 군집과 군집(혹은 개체)의 유사성(거리)을 측정하는 방법은 Nearest neighbor, Furthest neighbor, Centroid neighbor, Average neighbor, Ward's minimum variance로 총 5가지 기법이 있다. 이 중에서 Nearest neighbor 방법은 개체간의 거리가 가까워 개체를 묶는 경향이 있어 군집의 수가 줄어들고 furthest는 군집간 거리가 최소화 하는 경향이 있어 개체수가 적은 군집을 얻게 된다.

군집 개수를 결정하기 위해서는 계층적 나무 다이어그램(tree diagram), Pseudo Hotelling's  $T^2$ 검정 및 CCC(Cubic Clustering Criterion) 계수를 이용하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 Pseudo Hotelling's 검정을 이용하여 군집 개수를

결정하였다. Hotelling's 검정 통계량은 두 집단 다변량 평균의 차이를 보는 통계량이다. 이런 개념을 이용하여 개체의 군집간 평균 차이가 유의하지 않으면 두 군집을 합치고 유의하면 군집 그대로 유지하는 방법이다.

### 2.2.2 주성분 분석(Principal Analysis)

주성분분석은 차원축소를 통하여 저차원상에서 변수의 관계를 규명하는 다변량 자료 분석기법이라 할 수 있다. 주성분분석은 다변량기법에서 폭넓게 사용되는 기법중 하나이며 주성분분석은 평균과 분산까지의 통계적 성질을 이용한 2차 통계적 기법(second order statistics)이다. 자료를 설명하기 위해 투영(projection)시켜 분산이 최대가 되는 기본벡터(basis vector)를 찾게 되며 이들 가운데 서로 직교하는 성질을 만족하는 기본벡터를 찾게 되는데 이 때 기본벡터를 주성분이라고 하며 이 벡터를 자료로 취급해 분석하게 된다. 이는 입력 자료의 가장 중요한 축들을 찾아 효율적으로 자료의 차원을 줄일 수 있는 장점을 갖게 됨을 의미한다. 주성분분석에 해석과정을 간단히 설명하면 다음과 같다.

다변량  $X$ 가  $n \times m$ 의 행렬이라고 생각해보자(여기서,  $n$ 은 관측된 자료의 수,  $m$ 은 변수의 수를 의미한다). 주성분분석은  $X$ 를  $n \times p$ 차원의 행렬  $T$ 와  $m \times p$ 차원의 행렬  $S$ 와  $n \times m$ 의 잔차(residual) 행렬로 분해할 수 있는 방법이다.

$$X = TS^T + E \quad (5)$$

여기서,  $p$ 는 새로 구성된 차원의 수이며,  $p < m$ 의 크기를 갖는다. 가장 최적으로 분할하는 조건은 주어진 요소에 대하여 잔차 행렬의 Euclidean 거리를 최소화하는 것이다. 이 기준을 만족시키려면 행렬의 행(column)은  $y$ 의 공분산(covariance) 행렬의 Eigenvalue 중에서 큰 순서대로 만큼 택하여 이에 해당하는 Eigenvector로 구성하면 된다. 여기서,  $p$ 는 주성분분석에서 나타내는 Eigenvector의 수가 된다. Eigenvalue는 PC로부터 데이터를 다시 복원할 때 해당하는 자료에 대한 가중치의 역할을 하게 된다. 이러한 관점에서 주성분분석은 차원  $m$ 을 차원  $p$ 로 줄이는 동시에 선형으로 재구성하는 것이므로  $S^T S = I$ 가 되고 식 (5)는 다음 식 (6)과 같은 형태가 된다.

$$\bar{T} = \bar{X} S \quad (6)$$

여기서, 벡터  $\bar{X}$ 는 행렬  $X$ 의 열성분이며 단일 자료의 벡터이며, 벡터  $\bar{T}$ 는 행렬  $T$  혹은 특성 공간  $\bar{X}$ 에서 해당하는 열성분을 의미한다. 행렬  $S$ 는 선형 변환의 계수를 의미한다.

### 2.3 Wavelet Transform 분석

권현환과 문영일(2005)에 따르면 Wavelet Transform은 스케일과 시간이라는 두 변수로 표현되고 Fourier Transform과 같이 기저 함수들의 집합으로 표현되며 자료와 함수들을 서로 다른 스케일 성분들로 분해하고 각 스케일에 해당하는 해상도와 연관된 각각의 성분들을 조사할 수 있고 공간에 대한 지역적 특성을 가지고 있어 전체 또는 지역적인 특징도 분석 가능한 특성을 지닌다. 이러한 특징으로 2차원 영역의 복잡

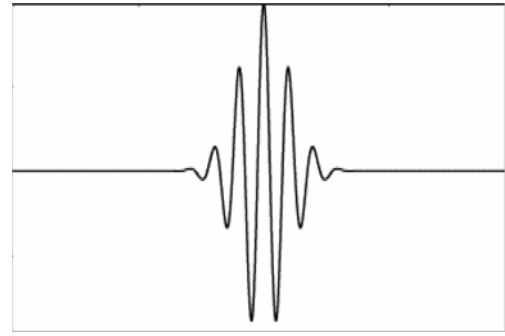


그림 1. 대표적인 기저함수인 Morlet 함수

성을 효과적으로 분석할 수 있으며 시계열분석에 있어 많은 장점을 제공한다. Wavelet Transform은 기저 함수가 정해진 것이 아니며 기저 함수가 될 수 있는 조건이 정해져 있다. 식 (7)은 기저 함수의 스케일과 천이를 나타내며 여기서  $a$ 는 스케일을 결정하는 값이고,  $b$ 는 함수를 얼마나 이동시킬 것인가를 결정하는 값이다.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in \mathbb{R} \quad (7)$$

그림 1과 같이 기저 함수가 될 수 있는 함수  $\psi(t)$ 의 스케일과 천이를 통해서 Wavelet Transform을 수행한다. Wavelet Transform의 기저 함수로 사용되는  $\psi(t)$ 를 모 Wavelet 함수라고 하며 다음의 식 (8)과 식 (9)의 두 가지 조건을 만족시키면 모 Wavelet 함수가 될 수 있다. 이러한 조건을 만족하는 함수는 그림 11-7과 같이 조그만 파형의 모양을 가지기 때문에 Wavelet이라고 한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (8)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty \quad (9)$$

Wavelet Transform은 식 (9)에서 모 Wavelet을  $b$ 만큼 이동하고  $a$ 에 의해 크기를 변화시켜주는 기저 함수를 사용한다. 이는 고주파로 갈수록 Wavelet은 함수의 폭이 좁아지고, 저주파로 갈수록 함수의 폭이 넓어지는 것을 나타낸다. Wavelet Transform은 Wavelet 기본 함수들의 중첩으로 임의의 함수를 표현하는 것인데 이러한 Wavelet 기본 함수들의 중첩은 각각 다른 스케일 레벨을 가지고 임의의 함수를 만들어 내며, 각 레벨은 그 레벨에 맞는 해상도를 가지게 된다. 연속적인 신호의 Wavelet Transform(continuous wavelet transform, CWT)은 식 (10)과 같이 정의되며 그것의 역 변환은 식 (11)과 같이 정의 된다. 여기서  $X(t)$ 는 원자료를 나타내며  $W(a,b)$ 는 에너지 스펙트럼을 의미한다.  $\psi^*$ 는  $\psi$ 의 복소공액을 의미한다.

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (10)$$

$$X(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|^2} W(a,b) \psi_{a,b}(t) da db \quad C = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(w)|^2}{|w|} dw \quad (11)$$

시계열을 분석할 때 일반적으로 유한한 길이의 자료를 대상으로 하며 또한 Fourier Transform처럼 자료가 일정한 주기를 가지고 있다고 가정하기 때문에 자료의 처음과 끝의 파워스펙트럼에서 오차가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 하나의 방법인 Wavelet Transform을 실시하기 전에 자료의 끝을 0으로 대체시키거나, Wavelet Transform 분석 후에 이를 제거하는 방법이 있으며 또 다른 방법으로 Meyers 등(1993)은 Cosine Damping 방법을 제시하기도 하였다. 본 연구에서는 0으로 자료의 끝을 대체시켰다. 이러한 방법은 마지막 점에서의 불연속을 가져오게 되며 스케일이 점점 커짐에 따라 가장자리 부분에서 진폭이 감소하게 된다. Cone of Influence(COI)는 이러한 가장자리 부분의 효과가 유의한(significant) 지역을 의미하며 일반적으로 각 스케일의 Wavelet의 자기상관계수에 대해서  $e$ -folding 시간으로 정의될 수 있다. Wavelet Transform 방법은 우리가 알고 있는 모 Wavelet 함수를 통하여 스펙트럼을 추정하기 때문에 원시계열로 다시 재구성이 가능하다. Wavelet Transform을 통하여 보다 효율적으로 주기 및 시간에 따라 보다 효과적으로 스펙트럼을 검토할 수 있는 방법이 있다. 즉 주기 및 시간에 따라 각각의 스펙트럼을 평균하는 것이다. 먼저 주기에 대해서 평균값을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\overline{W_t^2}(s) = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{T-1} |W_t(s)|^2 \quad (12)$$

위의 식 (12)를 일반적으로 Global Wavelet Power(GWP)이라 한다. 이와 함께 식 (13)은 시간에 따른 평균값을 추정하기 위한 식을 나타내며, Scaled Average Wavelet Power(SAWP)라 한다.

$$W_t^2 = \frac{\delta_j \delta_t}{C_\delta} \sum_{j_1}^{j_2} \frac{|W_t(s_j)|^2}{s_j} \quad (13)$$

### 3. 분석 대상 자료의 구성

본 연구에서는 분석 대상 자료로 우리나라의 기상청에서 관할하고 있는 76개 기상관측소 중에서 30년 이상 관측된 지점의 일평균기온과 일강우량 자료를 이용하였다. 따라서 1973년부터 2008년까지 36년 자료를 이용하여 월평균기온과 월강우량 자료를 생성하여 이를 이용하여 PDSI를 추정하였다. 또한, 해수면온도는 ERSST Ver. 3 자료를 이용하여 분석을 수행하였다.

#### 3.1 기상 자료

본 연구에서는 기상청 관할 76개 기상 관측소 중에서 30년 이상 관측 자료가 존재하는 61개 지점을 분석 대상으로 선정하였다. 그림 2는 기상청에서 관할하고 있는 관측소 위치를 도시한 결과이다. 그림 3은 61개 지점 중에서 서울 지점에서 관측된 월강우량과 월평균기온을 도시한 결과이다. 그림 3과 같이 61개 지점의 1973년부터 2008년까지의 월평균기온과 월강우량을 산정하여 PDSI를 계산하였다.

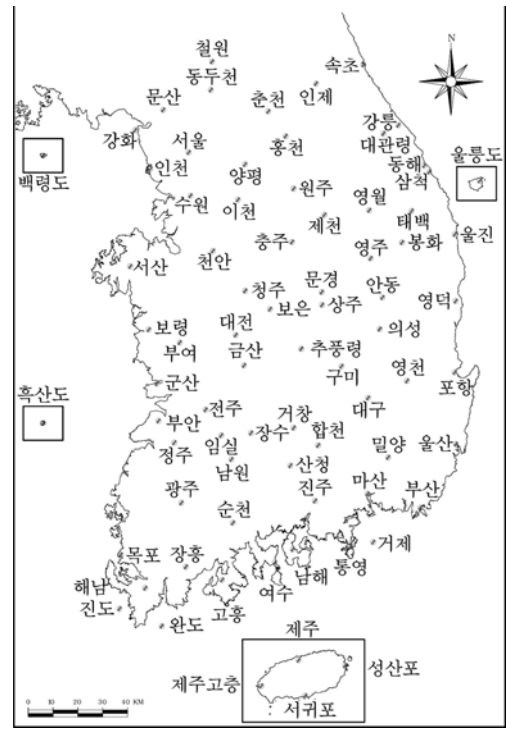


그림 2. 분석 대상 관측소의 위치

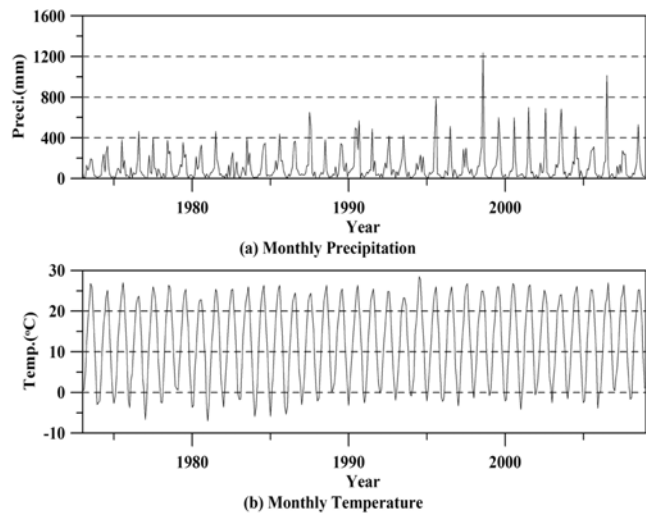


그림 3. 서울 지점의 월강우량과 월평균 기온

#### 3.2 해수면온도 자료

해수면 온도는 NOAA(Satellite and Information Service)에서 관측한 Extended Reconstructed SST(ERSST)의 자료 중에서 60°S~60°N, 180°W~180°E 범위 내에서 관측된 월해수면 온도 자료를 이용하였다. Smith and Reynolds(2003, 2004)에 따르면, ERSST는 1854년 1월부터의 관측자료를 제시하고 있으나 1880년 이전의 관측자료는 매우 부족하여 전 지구적 변동을 거의 반영하지 못한 것으로 알려져 있으며, ERSST의 재구성 자료는 ERSST Ver. 2가 사용가능하도록 제공되고 있다. ERSST Ver. 1에서 재구성한 자료에 비하여 ERSST Ver. 2는 공간적인 모형을 구성하여 해수면 온도 관측 자료를 재구성한 것으로 관측 자료의 변동에 취약한 지역의 자료를 실제에 보다 근사하게 향상 시킨 것으로 평가 받고 있다. 최근에는 ERSST Ver. 3가 제공되었다(Smith et

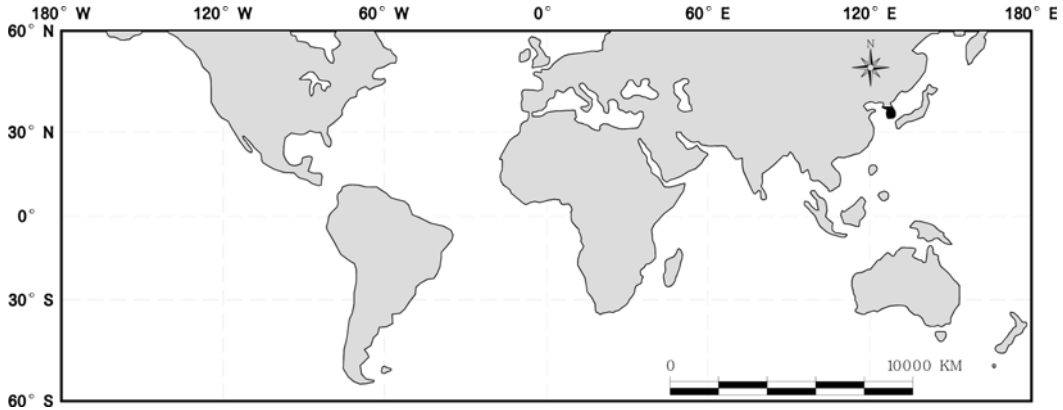


그림 4. 해수면온도의 관측 범위

al., 2008). ERSST Ver. 3는 ERSST Ver. 2의 모의 결과를 검증을 통해 향상시켰다. 가장 큰 차이점은 1930년대 이전 자료에 대하여 최적화된 매개변수를 통해 SST anomaly 자료의 진폭을 감소시켰다. 또한, 15년 주기의 저빈도(low frequency)를 갖는 자료의 필터링을 수행하여 현재 자료에 맞게 재구성을 시도하였다. 따라서 본 연구에서는 가장 최근에 재구성되어 제공되어지는 ERSST Ver. 3 자료를 활용하였다.

그림 4는 해수면온도의 관측범위를 도시한 결과이다. 그림 2에서 나타난 ERSST 자료에서 해수면 온도의 관측 격자는  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 이므로 총 격자의 개수는 10,980개이며, 이 중에서 육지 부분인 2,699개 격자를 제외한 8,281개 지점에서 관측한 1973년부터 2008년까지의 월해수면 온도 자료를 이용하였다. 해수면온도 자료는 월별로 강한 연주기를 갖게 된다. 따라서 식 (14)에서 제시된 것과 같은 표준화 과정을 수행하였다.

$$\text{중심화} : x_{ij} \rightarrow y_{ij} (=x_{ij} - m_j) \quad (14)$$

여기서,  $x_{ij}$ 는 각 관측 개체이며,  $i$ 는 각 관측 개체의 발생연도와  $j$ 는 관측한 월이다.  $m_j$ 는 관측 자료에서 각월의 평균이다. 연주기를 제거하기 위해서 1973년부터 2002년까지의 30개년 자료를 이용하여 각 월별로 평균 강수량과 평균 해수면 온도를 산정하였다. 계산된 평균을 관측 개체에서 빼 주는 중심화 방법을 통해 자료의 연주기를 제거하였다.

#### 4. PDSI와 범지구적 해수면온도의 상관성 분석

본 연구에서는 우리나라의 기상관측소에서 관측하는 강우 자료와 온도 자료를 이용하여 1973년부터 2008년까지의 PDSI 자료를 구성하였다. 구성된 PDSI 자료와 범지구적 해수면온도와의 상관성 분석을 통해 통계적으로 상관관계가 큰 지역을 설정하였다. 또한, Wavelet Transform을 통해 PDSI의 저빈도 주기성분을 추출하여, 이와 해수면온도와의 상관성 분석을 수행하였다.

##### 4.1 PDSI 지수의 산정 결과

Palmer(1965)는 가뭄을 “장기간의 이상수분부족”으로 정의하였으며, 이상습윤부족은 “정상적인 기후에서 현저하게 벗어

난 비정상적인 습윤부족 기간”이라고 정의 하였다. 이는 일반적으로 사소한 불편이나 고통 등을 발생시키는 수분부족이 아니라, 수분의 부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기하는 현상으로써, 최소한 2~3개월에서의 일반적으로 1년 이상 장기간의 수분부족이 지속되는 것을 의미한다. 본 연구에서는 가뭄기록 보고서(2001), 수자원공사의 가뭄 관리 모니터링 체계 수립 보고서(2005), 농림부(2001)에서 조사한 가뭄 피해 조사를 토대로 70년대 이후에 가뭄이 발생한 연도를 1973년, 1977년, 1982년, 1988년, 1994년, 1995년, 2001년도와 최근 가뭄이 발생한 2008년을 포함하여 1973년부터 2008년까지의 팔머가뭄지수 자료와 비교 분석을 수행하였다. 다음 그림 3, 4는 1973년 이후에 전국 및 낙동강 유역에 대하여 가뭄지수를 산정한 결과이다.

PDSI 가뭄지수의 전국평균에 대한 PDSI의 분석결과, 73년, 77년, 82년, 88년, 94년 01년도에 -3이하의 값을 보이며 심한가뭄을 나타나는 것으로 분석되었다. 08년도에는 -2이하의 값을 보이며 보통가뭄을 보이고 있다. PDSI 가뭄지수의 낙동강유역 평균에 대한 PDSI의 분석결과, 가뭄이 발생했던 해인 73년, 77년, 82년, 88년, 94년, 95년, 01년, 08도에 과거 가뭄사상과 PDSI가뭄지수가 대부분 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 73년, 77년, 94년, 95년에는 -4이하의 값을 보이며 극심한 가뭄을, 82년, 88년, 08년에는 보통가뭄, 01년에는 심

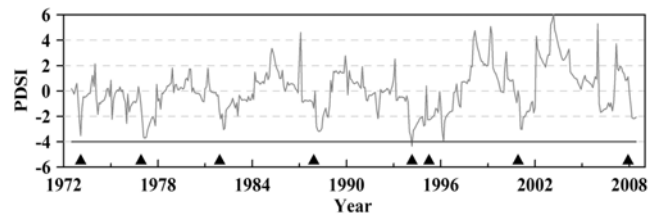


그림 5. 1973년 이후 전국 PDSI 가뭄지수의 평균

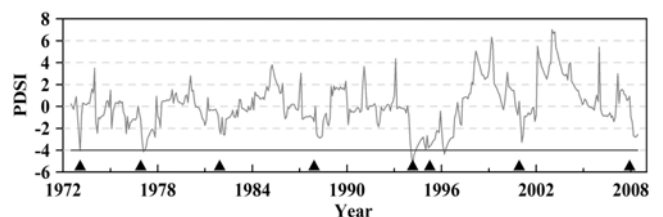


그림 6. 1973년 이후 낙동강유역 PDSI 가뭄지수의 평균

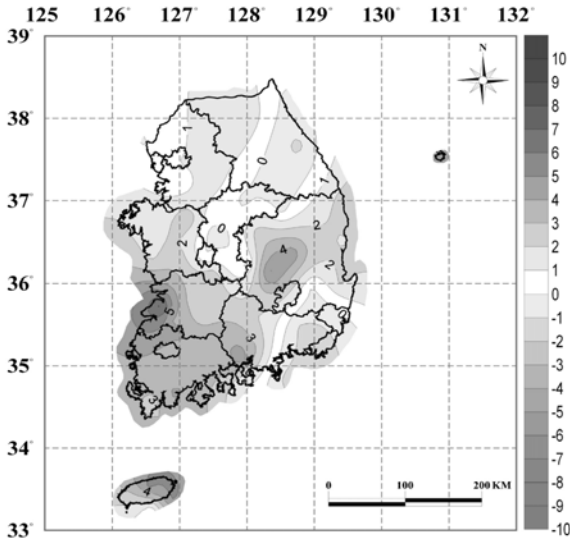


그림 7. 2008년도 1월의 PDSI 지수 분포

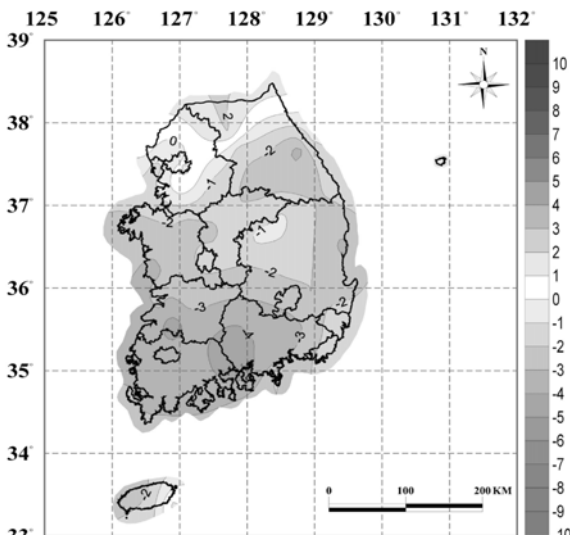


그림 8. 2008년도 12월의 PDSI 지수 분포

한 가뭄을 나타내었다. PDSI 가뭄지수의 전국평균과 낙동강 유역 평균에 대해 비교·분석결과, 낙동강 유역의 평균이 전국의 평균보다 가뭄지수 값이 더욱 작게 나타나 낙동강 유역에 가뭄이 다른 지역에 비해 심했다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 과거 가뭄피해지역과 일치하는 결과이다. 가뭄지수의 산정을 통해 가뭄이 극심한 지역과 심한지역을 구분할 수 있었으며 지역별로 가뭄지수의 적용이 비교하는 것이 훨씬 신뢰성 있는 결과를 가질 수 있다는 것을 판단 할 수 있었다. 이와 같이 PDSI는 우리나라에서 가뭄이 발생하였을 때에 이를 수치적으로 잘 표현해 주는 것으로 판단 할 수 있다. 다음 그림 7과 그림 8은 2008년도의 1월과 12월의 PDSI 지수를 전국적으로 도시한 결과이다. 그림에서 보듯이 1월에는 가뭄이 발생하지 아니하였다가 2008년 12월에는 물부족이 점차 심화되었음을 확인할 수 있다.

#### 4.2 PDSI의 군집분석 및 주성분 분석

우리나라의 기상청에서 관할하는 30년 이상 관측된 61개 지점의 1973년부터 2008년까지의 중심화된 월평균강수량과

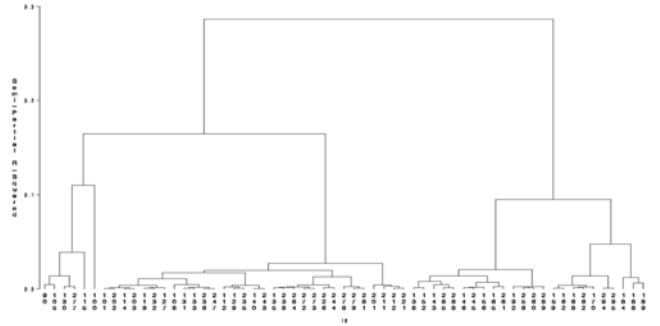


그림 9. 가뭄지수의 군집 분석을 위한 계층적 나무 다이어그램

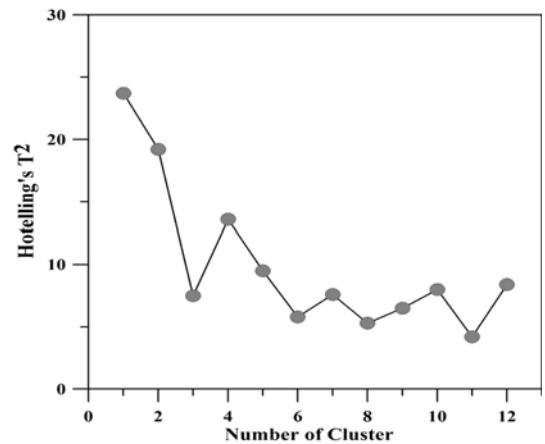


그림 10. Pseudo Hotelling's  $T^2$

월평균온도 자료를 이용하였으며, 군집분석을 통해 유사성이 높은 지점을 군집화 하여 주성분 분석을 수행해 80% 이상의 분산을 설명할 수 있는 대표성분을 추출하였다.

군집분석을 수행하기 위한 기초 자료로는 각 강수관측소에서 관측된 1973년부터 2008년까지 36개년의 월강수량과 월평균온도 자료를 이용하였다. 따라서 하나의 관측소에는 1월부터 12월의 월강수량과 월평균기온으로 총 24개의 변량을 입력하였다. 자료의 군집화를 위하여, Centroid Neighbor 기법을 대상 자료에 적용해 군집간의 평균 거리를 산정하는 군집분석을 수행하였다. 군집분석 결과 우리나라의 월평균강수량 및 월평균온도 자료 24개 성분을 이용하여 우리나라 강수 관측소가 갖는 모든 분산을 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, 주성분 10개로 99% 이상의 분산을 설명할 수 있는 것으로 분석 되었다. 다음 그림 9는 각 개체간의 거리를 표현한 계층적 나무 다이어그램으로, 각 지점의 위도, 경도 및 시간강수량 자료의 평균을 이용하여 개체간의 유사성(Norm Distance, 거리)을 산정하여 군집화를 수행하였다.

적절한 군집개수를 산정하기 위한 Pseudo Hotelling's  $T^2$ 계수는 두 다변량 정규 분포 집단의 평균을 비교하여 두 군집을 하나로 합칠 수 있는가를 알아보는 기준이다. 이 값이 크다는 것은 군집간의 거리가 멀다는 것을 의미하게 된다. 따라서 그림 10에서 보듯이 군집의 개수는 2, 3, 5, 6, 11, 13개가 적당한 것으로 분석 되었다.

군집 분석 결과는 Pseudo Hotelling's  $T^2$ 계수의 결과에 따라 군집을 2, 3, 5, 6, 11, 13개로 구성하여 그 결과를 비교하여 보았다. 비교 분석 결과는 대관령(100번 지점)에서 관

측 자료의 유사성 거리가 다른 자료들과 많이 멀기 때문에 이 한 지점이 하나의 군집을 차지하고 나머지 지점들이 모여 하나의 군집을 설정하는 것으로 나타났다. 그러므로 군집의 개수가 적은 것보다는 많은 것이 향후 분석에 보다 나은 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단되었으며, 군집 개수를 결정하기 위해 산정한 통계치에서도 군집 개수가 6개일 때가 가장 나은 결과를 보여주고 있다. 따라서 군집분석을 통한 우리나라 월평균강우 및 월평균온도 자료의 지역구분은 6개의 군집으로 구분하였다. 다음 표 2와 그림 11은 우리나라 강우관측소를 대상으로 군집분석을 수행하여 지역을 구분한 결과이다.

군집 분석 결과에서 자료의 특성을 살펴보면 50% 이상인 31개 지점이 군집 1번에 포함된 것을 바탕으로 많은 지역의 월강수량 및 월평균온도 특성이 비슷한 것으로 판단된다. 군집 1번에 포함된 지점을 살펴보면 주로 경기도와 강원도 서부, 충청도 및 전라북도 지역에 분포하는 지점들이 많은 것으로 나타났다. 군집 2는 남해안 지역, 군집 3은 전라남도와 경상남도 지역, 군집 4는 강원도 동해안 지역, 군집 5는 제

표 2. 군집 분석에 따른 강우자료의 지역 구분결과

군집 번호	군집에 포함된 강우 관측 지점	비고
1	원주, 이천, 춘천, 양평, 군산, 부안, 부여, 남원, 구미, 영천, 서산, 보령, 홍천, 제천, 영주, 문경, 청주, 대전, 수원, 천안, 보은, 임실, 추풍령, 금산, 충주, 거창, 인천, 의성, 인제, 강화, 서울	31개 지점
2	부산, 통영, 거제, 남해, 여수, 고흥, 완도	7개 지점
3	전주, 정읍, 순천, 장흥, 포항, 울산, 합천, 밀양, 팽주, 진주, 목포, 해남, 산청, 대구	14개 지점
4	울진, 영덕, 속초, 강릉, 울릉도	5개 지점
5	성산, 서귀포, 제주	3개 지점
6	대관령	1개 지점

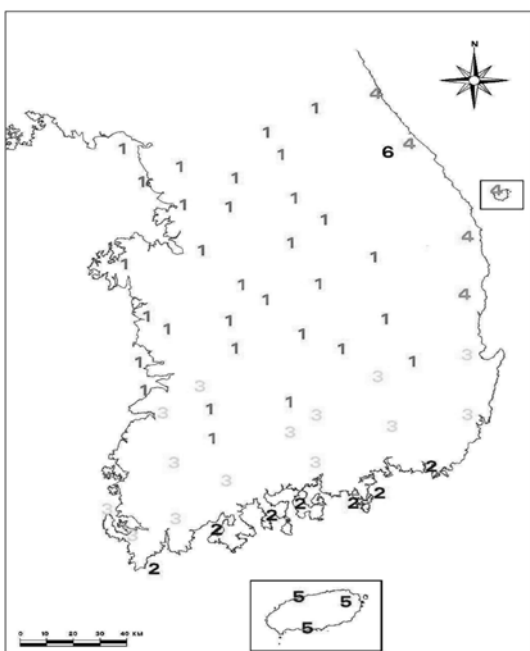


그림 11. 군집분석에 따른 강우관측소 구분

주도 지역의 강우 관측소가 포함되었다.

군집 분석을 통해 6개의 군집을 대상으로 팔머가뭄지수의 주성분 분석을 수행하였다. 주성분 분석은 주성분 변수 간에는 서로 상관관계가 전혀 존재하지 않으며, 첫 번째 주성분은 데이터의 변동(분산, 정보)을 가장 많이 설명하고 계속 구해지는 2, 3, ... 번째 주성분은 자료의 나머지 정보들을 설명하고 크기는 점점 줄어든다. 따라서 금회 분석에서 추출된 주성분이 순서대로 전체 자료의 분산을 80% 이상 설명할 수 있는 주성분 까지만 추출하여 분석에 적용하였다.

군집 1의 전체 분산은 174.28이며, 각 주성분이 설명하는 분산은 아래의 표 3과 같다. 주성분 분석 결과에서 5개의 주성분으로 전체 자료가 갖는 분산의 82.5%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 군집 1에서는 주성분 5개를 추출하여 분석에 적용하였다. 표 3은 군집 1에 포함된 주성분들의 고유치를 도시한 결과와 그림 8-12에 추출된 주성분 자료들을 도시하였다.

이상과 같은 방법으로 주성분 분석 결과에서 군집 1에서는 5개의 주성분을 추출하였으며, 군집 2, 3, 4, 5는 2개, 군집 6은 1개로 총 14개의 주성분 자료를 구성하였다. 따라서 이번 분석에 추출한 14개의 주성분 자료와 6개의 중심화 된 월평균강수량과 월평균온도 자료가 팔머가뭄지수를 대표할 수 있는 것으로 나타났다.

표 3. 공분산 행렬을 통해 선정된 군집 1에 포함된 주성분들의 고유치

주성분	고유치	고유치 차이	고유치비율	고유치 누적비율
1	107.3944	91.24348	0.6163	0.6163
2	16.15088	7.538908	0.0927	0.7089
3	8.611976	2.129797	0.0494	0.7584
4	6.482179	1.412706	0.0372	0.7956
5	5.069473	0.754601	0.0291	0.8246
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	0.20713	0.018054	0.0012	0.9989
31	0.189076		0.0011	1

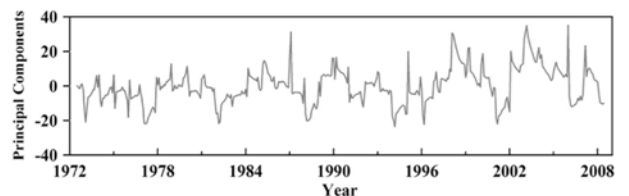


그림 12. 군집 1의 주성분 1

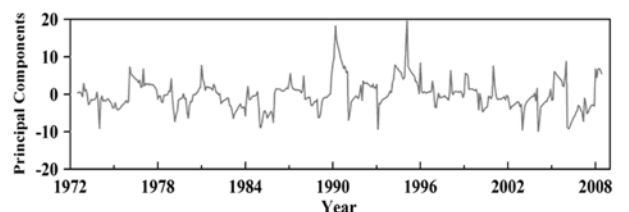


그림 13. 군집 1의 주성분 2



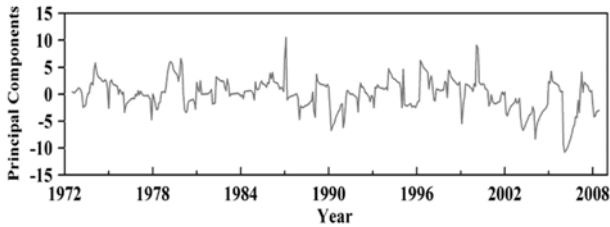


그림 14. 군집1의 주성분 3

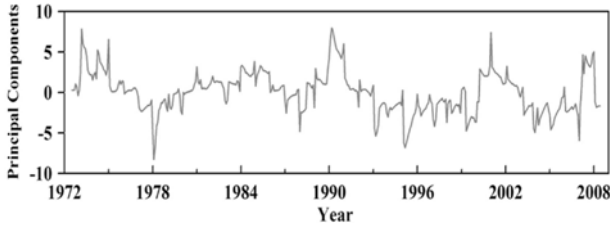


그림 15. 군집1의 주성분 4

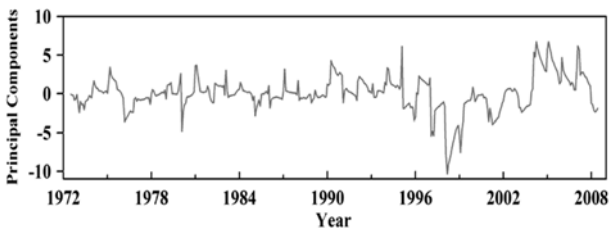


그림 16. 군집1의 주성분 5

#### 4.3 PDSI의 주성분과 해수면온도의 상관성 분석

군집 분석과 주성분 분석 과정을 거쳐 팔머기름지수를 대표할 수 있는 14개의 시계열 자료를 구축하였다. 14개의 시계열 자료에 대해서 분석의 용이함을 위하여 P11부터 P61로 표시하였다. 앞의 P는 Palmer 기온지수를 의미하며 앞자리 수는 군집 번호이고, 두 번째 자리 숫자는 각 군집에서 추출한 주성분의 순서를 의미한다.

상관계수 산정을 위해서 1973년부터 2008년까지 36년 동안의 관측된 팔머기온지수를 이용하였으며, 상관 계수는 선형적인 상관관계를 나타낼 수 있는 Pearson 상관계수를 산정하였다. 또한, 해수면 온도 자료에 지체 시간을 영(zero)개월부터 11개월까지 주면서 상관계수를 산정하여 비교하였다. 산정된 상관계수는 유의수준 5%에서 t-분포를 이용하여 검정하였다. 이 검정 방법은 산정된 상관계수가 자료의 개수에 따라 어느 정도의 값 이상일 때, 통계적인 유의성이 있음을 나타낸다. 따라서 지체시간을 주지 않은 경우에 1973년부터 2008년까지는 총 432개의 시계열 자료로 구성되므로 상관계수가 0.095이상일 때는 통계적인 유의성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 지체 시간이 11개월일 때는 자료의 개수가 421개이므로 상관계수가 0.096이상이어야만 통계적 유의성이 있는 것으로 판단 할 수 있다.

이와 같은 방법으로 팔머기온지수와 범지구적 해수면 온도의 상관계수를 산정하였다. 산정된 상관계수를 바탕으로 팔머기온지수와 해수면 온도 사이의 합리적인 지체시간과 상관계수가 큰 해수면 온도 관측 지역을 설정하여야 하므로 다음과 같은 기준을 설정하였다. 첫 번째는 산정된 상관계수의

표 4. 양(+)과 음(-)의 상관관계가 가장 큰 해수면 온도 관측 지역

Name of Monthly Precipitation	Regions of Maximum Correlation Coefficient at Observed Sea Surface Temperature	Regions of Minimum Correlation Coefficient at Observed Sea Surface Temperature
P11	166°W~170°W, 32°S~36°S	0°W~4°W, 50°S~52°S
P12	154°E~158°E, 44°N~48°N	36°E~40°E, 36°S~38°S
P13	102°W~108°W, 50°S~54°S	174°E~178°E, 8°S~12°S
P14	148°E~152°E, 46°S~50°S	44°W~48°W, 10°N~14°N
P15	158°W~162°W, 18°N~22°N	84°E~88°E, 46°S~50°S
P21	160°E~164°E, 38°S~42°S	154°E~158°E, 48°N~50°N
P22	78°E~82°E, 46°S~50°S	156°W~160°W, 22°N~26°N
P31	162°E~166°E, 38°S~42°S	100°E~104°E, 46°S~50°S
P32	102°W~106°W, 38°S~42°S	134°W~138°W, 40°S~42°S
P41	10°W~14°W, 58°N~60°N	0~4°W, 52°S~54°S
P42	158°E~160°E, 46°N~48°N	82°W~80°W, 36°S~40°S
P51	68°W~72°W, 38°N~42°N	12°W~16°W, 40°S~42°S
P52	116°W~118°W, 28°N~32°N	22°W~26°W, 56°S~60°S
P61	158°E~162°E, 30°N~34°N	6°W~10°W, 48°S~52°S

크기로, 산정된 상관계수가 적절한 통계적 유의성을 갖는 크기 이상을 확보하여야 한다. 두 번째로 양(+)과 음(-)의 상관계수가 가장 크게 산정된 지점들이 어느 정도 같은 범위의 해수면 온도 관측 지점에 포함되어야 한다. 세 번째는 첫 번째와 두 번째의 기준에 의해 선정된 지체 시간을 갖는 상관계수가 큰 지역의 우리나라 인근에 분포되어 있는 경우를 설정하였다. 위의 세 가지 기준에 의해 팔머기온지수와 상관계수가 큰 지역을 설정하여 분석을 실시하였다. 각각의 주성분과 해수면 온도와의 상관계수는 해수면 온도를 2개월 지체시켰을 때에 양의 상관계수가 가장 큰 지역을 선정할 수 있었으며, 3개월 지체시켰을 때에 음(-)의 상관계수가 가장 큰 것으로 나타났다. 다음 표 4는 양(+)과 음(-)의 상관관계가 가장 큰 해수면 온도 관측 지역을 도시한 결과이다.

위의 표에서 설정한 해수면 온도가 평년보다 증가하거나 감소할 때에 각 군집의 주성분과 연관성이 큰 월평균강우와 월평균온도관측 지역에 가뭄이 발생할 가능성이 매우 크다고 할 수 있다.

위와 같은 지역으로 설정된 상관계수가 큰 지역을 도시하였다. 도시 방법은 다음과 같은 두 가지 방법을 이용하였다. 첫 번째는 해수면 온도의 관측 자료가 존재하는 8,281개 중에서 상관계수가 양(+)의 값을 가지며 가장 큰 400개의 관측 지점을 추출하였다. 추출된 관측 지점들에서 상관계수가 크기 순서별로 1~5, 6~10, 11~30, 31~50, 51~100, 101~200, 201~300, 310~400 등까지를 도시하여 상관계수가 큰 지역을 설정하였다. 상관계수가 음(-)의 값을 가지는 경우도 음의 상관계수가 가장 큰 순서대로 400등까지 추출하여 도시하였다. 두 번째는 그림 13과 같이 선정된 지체시간에서 모든 지점에서의 상관계수를 도상에 도시하였다. 이와 같은 도시를 통해 적절한 지체시간과 상관계수가 큰 지역을 설정하였다.

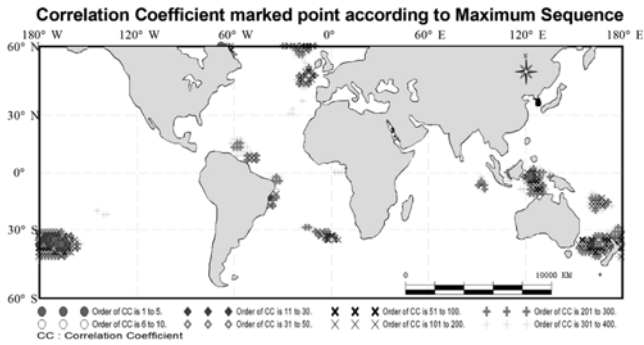


그림 17. 양의 상관계수가 큰 지역(지체 2개월)

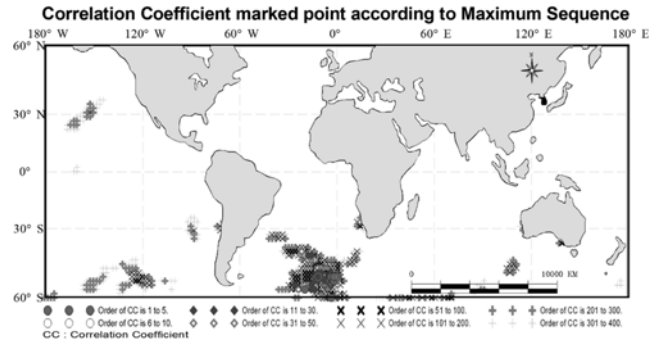


그림 19. 음의 상관계수가 큰 지역(지체 3개월)

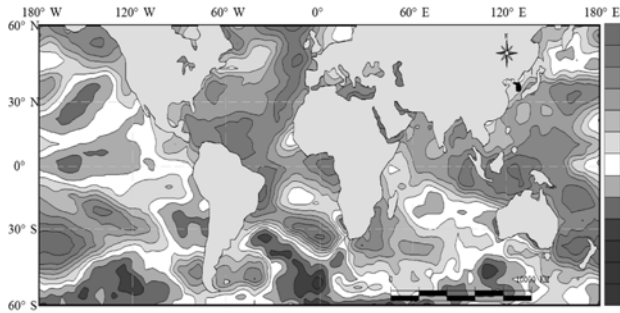


그림 18. 지체 2개월에서 해수면 온도의 상관분석결과

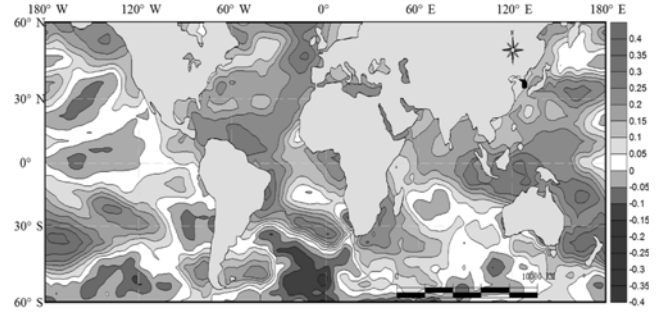


그림 20. 지체 3개월에서 해수면 온도의 상관분석결과

14개의 주요성분과 해수면 온도와의 상관계수는 해수면 온도를 2개월 지체시켰을 때에 양의 상관계수가 가장 큰 것으로 나타났으며, 3개월 지체 시켰을 때에 음(-)의 상관계수가 가장 큰 것으로 나타났다. 그림 17~20은 군집 1의 첫 번째 주성분은 P11과 상관성이 큰 지역을 도시한 결과이다.

주성분은 P11과 상관성이 큰 지역을 도시한 결과 양의 상관계수는 태평양에서 가장 크게 나왔으며 음의 상관계수의

경우에는 대서양 60°S 부근에서 가장 큰 것으로 분석되었다. 그러나 P11을 비롯한 대부분의 지역에서 양(+)의 상관관계가 음(-)의 상관관계보다 큰 것으로 나타났다.

#### 4.4 PDSI의 주기성분 추출 및 상관성 분석

본 연구에서는 Wavelet Transform을 이용하여 PDSI 주성분에 대한 저빈도 주기성분을 추출하였다. 저빈도 주기성분에

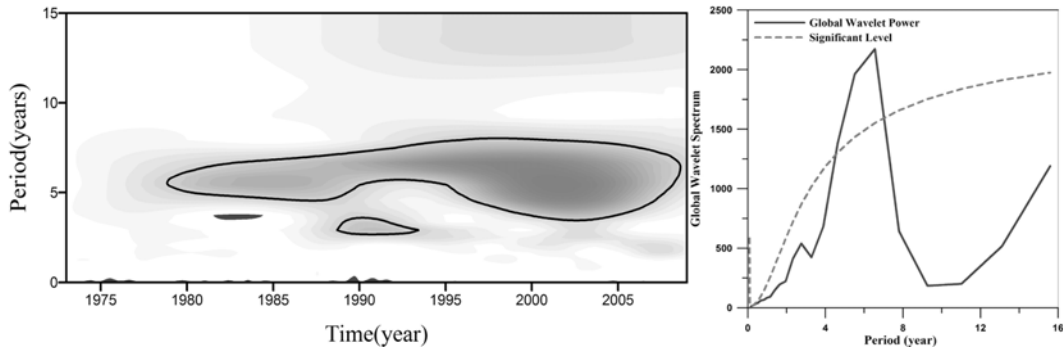


그림 21. 군집 1의 첫 번째 주성분의 저빈도 주기성분 추출 결과

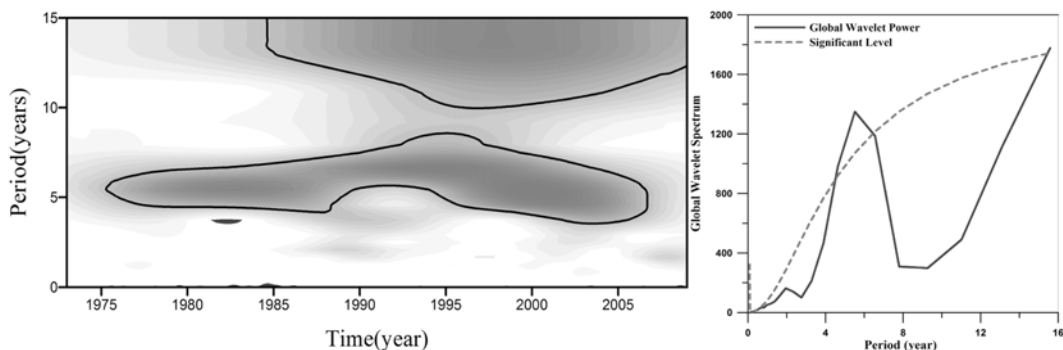


그림 22. 군집 3의 첫 번째 주성분의 저빈도 주기성분 추출 결과

대한 추출은 각각의 군집 1부터 군집 6까지의 첫 번째 주성분을 대상으로 수행하였다. 따라서 군집 1부터 군집 6까지의 첫 번째 주성분을 대상으로 저빈도 주기성분을 Wavelet Transform을 통해 추출하였다. 분석 결과에서 군집 1, 군집 3 및 군집 4의 주성분은 4-7년 주기의 저빈도 성분을 갖는 것으로 나타났다. 군집 2 및 군집 5의 주성분은 4-6년 주기를 갖으며, 군집 6은 11-12년 주기를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 저빈도 주기를 갖는 성분을 추출하여 해수면온도와 상관계수 산정을 통해 상관관계 분석을 수행하였다. 분석 결과에서 우리나라의 기문을 나타내는 PDSI는 군집 6의 대관령 지점을 제외하고 대부분 4-7년 정도의 저빈도 주기를 갖는 것으로 나타났다. 다음 그림 21과 그림 22는 군집 1과 군집 3에 해당하는 주성분에 대하여 통계적으로 유의

한 Wavelet Transform의 변환 결과를 도시한 것이다. 그림 23은 군집 1의 PDSI의 주성분에 대하여 Morlet 함수를 적용하여 스펙트럼을 추정하고 원시계열로 재구성을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

각각의 군집에서 저빈도 주기성분을 갖는 SAWP(Scaled Average Wavelet Power)를 추출하여 범지구적 해수면온도와 상관계수를 산정하였다. 다음 그림들에서 보는 바와 같이, 저빈도 주기성분을 추출하여 상관성 분석을 수행한 결과에서 우리나라의 PDSI 자료는 해수면 온도와 밀접한 원격 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 저빈도 주기성분과 해수면온도 사이의 상관계수는 저빈도 성분을 추출하지 않은 PDSI의 주성분과의 상관계수를 산정한 결과보다 더 큰 상관계수를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 우리나라의 PDSI의 저빈도 주기성분은 해수면 온도와 밀접한 관련이 있는 것을 확인할 수

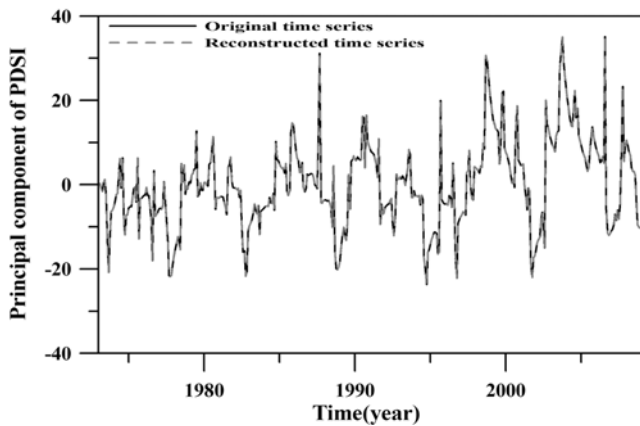


그림 23. 군집 1의 첫 번째 주성분에 대한 원자료와 Wavelet Transform으로 재구성한 시계열

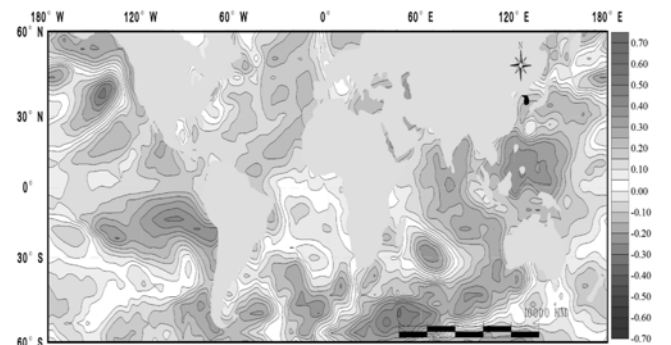


그림 26. 군집 3에 첫 번째 주성분과 SAWP와 2개월 지체된 해수면온도의 상관성 분석

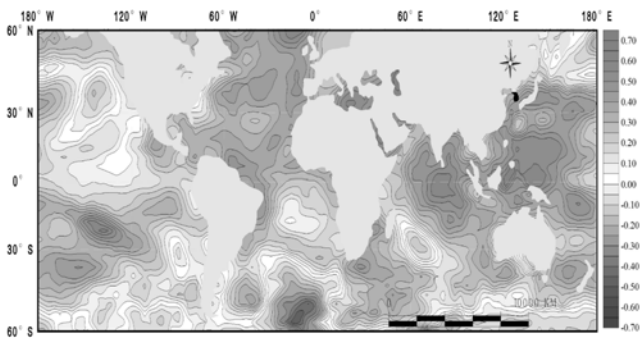


그림 24. 군집 1에 첫 번째 주성분과 SAWP와 2개월 지체된 해수면온도의 상관성 분석

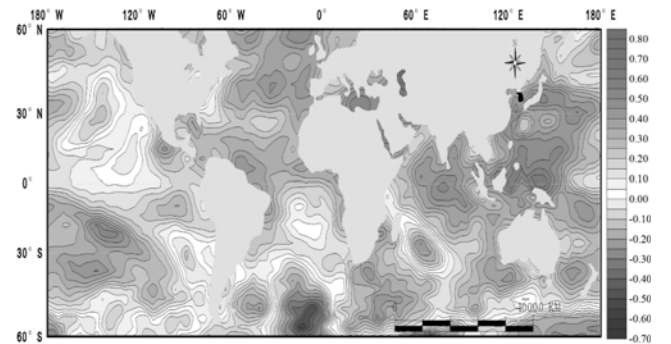


그림 27. 군집 4에 첫 번째 주성분과 SAWP와 2개월 지체된 해수면온도의 상관성 분석

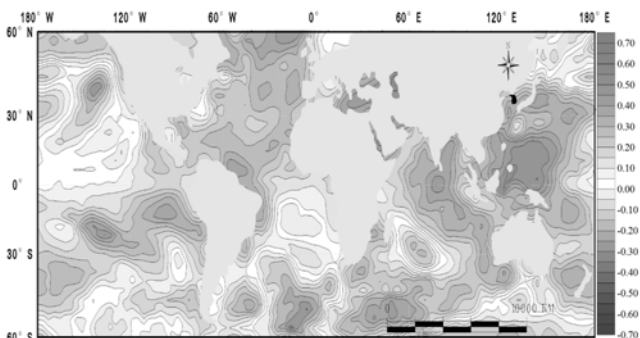


그림 25. 군집 2에 첫 번째 주성분과 SAWP와 2개월 지체된 해수면온도의 상관성 분석

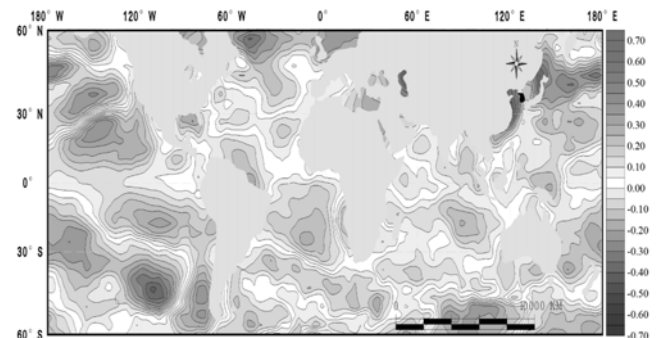


그림 28. 군집 5에 첫 번째 주성분과 SAWP와 2개월 지체된 해수면온도의 상관성 분석

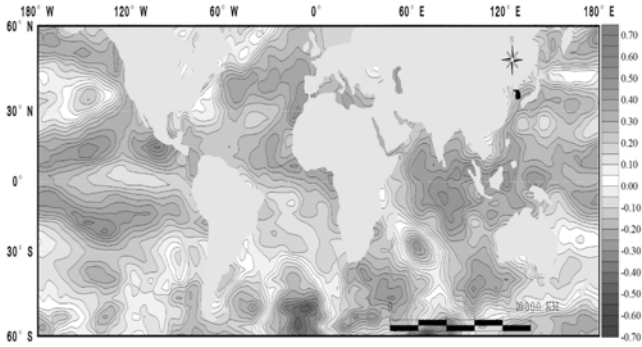


그림 29. 군집 6에 첫 번째 주성분과 SAWP와 2개월 지체된 해수면온도의 상관성 분석

있으며, 이를 통하여 우리나라의 PDSI 성분에 대한 예측 가능성을 확인할 수 있었다. 다음 그림들은 군집 1부터 군집 6까지의 첫 번째 주성분에 대하여 해수면온도와 상관계수를 산정한 결과를 지체 2개월에 대하여 도시한 결과이다. 군집 1부터 군집 6은 대부분 양의 상관계수가 더 크게 산정되었다. 그러나 군집 5는 음의 상관계수도 크게 나타나는 것으로 확인되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 NOAA(National Oceanic & Atmospheric Administration)에서 관측하고 있는 범지구적 월해수면온도와 팔머기름지수와 상관관계에 대해 분석하였다. 분석 방법으로는 먼저, 중심화 과정을 통해 1973년부터 2008년까지 36년 동안 관측된 월평균강수량, 월평균온도 및 월해수면온도의 연주기 성분을 제거하였다. 연주기 성분을 제거한 월평균강수량과 월평균온도를 군집분석과 팔머기름지수의 주성분 분석을 통해 범지구적 해수면 온도와 상관계수를 산정하여 우리나라에 발생하는 가뭄과 상관관계가 큰 해수면 온도 관측 지역을 선정하였다.

1. 우리나라의 61개 강우관측소에 측정된 월강수량 자료를 군집분석을 통해 6개의 군집을 구성하였으며, 6개의 군집 중에서 군집 1부터 6까지에 포함된 월평균강수량과 월평균온도 자료를 대상으로 팔머기름지수의 주성분을 추출하였다. 각 군집의 전체 분산의 80% 이상을 설명할 수 있는 주성분을 추출한 결과에서 군집 1에서는 5개의 주성분을 추출하였으며, 군집 2는 2개, 군집 3은 2개, 군집 4는 2개, 군집 5는 2개, 군집 6은 1개로 총 14개의 주성분 자료를 구성되었다.
2. 중심화 된 월평균강수량과 월평균온도에서 추출한 14개 팔머기름지수의 주요 성분과 범지구적 해수면 온도와 11개월까지 지체상관계수를 산정하여 분석하였다. 해수면 온도를 2개월 지체시켰을 때에 양(+의 상관계수가 가장 큰 것으로 나타났으며, 3개월 지체 시켰을 때에 음(-)의 상관계수가 가장 큰 것으로 나타났다. 비교분석결과 양(+의 상관관계가 음(-)의 상관관계보다 큰 것으로 나타났으며 대부분 태평양 지역의 해수면 온도가 다른 지역보다 높은 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다.

3. Wavelet Transform을 이용하여 PDSI의 주성분에 대한 저빈도 주기성분을 추출하였다. 추출된 주기성분은 각 분석 대상 자료별로 약간씩 다른 주기의 저빈도성분을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 일반적으로 4-7년 주기의 저빈도성분을 갖는 것으로 나타났다. 저빈도 성분만을 추출하여 해수면온도와 상관관계를 분석한 결과에서 보다 강한 상관계수가 산정되었다. 따라서 PDSI의 저빈도 주기성분은 해수면온도와 보다 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다.

그러므로 이 같은 기상인자를 이용하여 우리나라의 가뭄을 예측하는데 보다 많은 연구를 수행한다면, 안정적인 수자원의 확보 및 가뭄대비를 위한 기초자료로 충분히 활용 할 수 있을 것으로 예상 된다. 또한, 기상학적 가뭄지수 이외에 농업적 및 수문학적 가뭄지수들에 대한 검토도 필요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-08-NH-05] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 권현한, 문영일 (2005) Palmer 기름지수(PDSI)와 ENSO 지수와 의 상관성 분석, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제25권, 제5B호, pp.355-364.
- 권현한, 문영일, 안재현, 오태석 (2006) 우리나라 Palmer 기름지 수와 기상인자와의 Multi-Scale 분석, **한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp.1465-1469.
- 김형수 (1999) 가뭄 예측을 위한 나이트의 이용, **한국수자원학회 지**, 한국수자원학회, 제32권, 제1호, pp.92-94.
- 변희룡, 임병환 (2000) 한반도 기름주기와 이를 이용한 2000년도 기름의 예측, **한국수자원학회 2000년도 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp.304-314.
- 유철상, 류소라, 김정환 (2002) 서울지점 월강수량 자료에 나타난 기름의 장기 재현특성, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제22권, 제3B호, pp.281-289.
- 유철상, 김대하 (2006) 구형필스모형을 이용한 기름사상의 평가, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제4호, pp. 373-382.
- 이동률 (1999) 엘니뇨/삼방진동과 한국의 기름과 관계, **한국수자원 학회 논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제2호, pp.111-120.
- Chiew, F. H. S., Piechota, T. C., Dracup, J. A. and McMahon, T. A. (1988) El Niño/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting, *Journal of Hydrology*, Vol. 204, pp.138-149.
- Currie, R.G., and Fairbridge. R.W. (1985) Periodic 18.6-year and cyclic 11-year induced drought and flood in northeastern China and some global implications, *Quaternary Science Rev.*, 4, pp. 109-134.
- Byun and Wilhite (1999) Objective quantification of drought intensity and duration. *Journal of Climate*, Vol. 12, No. 9, pp.2747-2756.
- Dai. A. G., Fung, I. Y. and Del Genio, A. D. (1997) Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988, *Journal of Climate*, Vol. 10, pp.2943-2962.
- Nigam, R., Khare, N., and Nair, R.R. (1995) Foraminifera evidence

- for 77-year cycles of drought in India and its possible modulation by the Gleissberg solar cycle, *J. Coastal Res.*, 11, pp.1099-1107.
- Piechota, T. C. and Dracup, J. A. (1996) Drought and regional hydrologic variation in the United States: Associations with the El Niño-Southern Oscillation, *Water Resources Research*, Vol. 32, No. 5, pp.1359-1373.
- Smith, T.M., and R.W. Reynolds (2003) Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854-1997). *Journal of Climate*, Vol. 16, pp.1495-1510.
- Smith, T.M. and R.W. Reynolds (2004) Improved Extended Reconstruction of SST(1854-1997). *Journal of Climate*, Vol. 17, pp. 2466-2477.
- Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson and Jay Lawrimore (2008) Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis(1880-2006). *Journal of Climate*, Vol. 21, pp.2283-2296.
- Thorntawaite, C. W. and J. R. Mather (1955) The water balance. laboratory of Climatology, No. 8, Centerton NJ.

◎ 논문접수일 : 10년 02월 26일  
 ◎ 심사의뢰일 : 10년 03월 03일  
 ◎ 심사완료일 : 10년 04월 21일