

우리나라 Palmer 가뭄지수와 기상인자와의 Multi-Scale 분석

Multi-Scale Analysis Between Palmer Drought Index in Korea and Global Climate Indices

권현한*, 문영일**, 안재현***, 오테석****

Kwon, Hyun-Han / Moon, Young Il / Ahn, Jae Hyun / Oh, Tae Suk

요 지

수문순환 과정은 기상현상과 밀접한 관련을 가지고 서로 연관되어 있다. 이러한 연관성을 규명하여 수자원관리에 위험도를 감소시키려는 노력은 많은 분야에서 이루어지고 있으며, 주요 연구 주제가 되고 있다. 이러한 기상현상 중에서 가뭄은 여러 가지 요소가 복합되어 발생하는 것으로 알려지고 있으나 이를 설명하기에는 여전히 부족한 면이 존재한다. 가뭄을 발생시키는 몇 가지 가능한 원인으로는 El Niño-Southern Oscillation(ENSO)현상으로 잘 알려져 있는 비정상적인 해수면 온도의 변화나 기후 시스템의 비선형적 거동을 들 수 있다. 특히, 기후 시스템은 대개 경년 변화(inter-annual variability) 및 10년 이상의 주기(decadal variability) 특성을 가지고 있으며 가뭄 또한 경년변화의 주기 특성을 나타내고 있는 것으로 알려지고 있다. 이러한 관점에서 수문시계열을 특정 주파수(frequency)에서 고립시킨 후, 분석이 가능한 분해방법(decomposition method)을 통해 보다 해석적으로 접근하는 것이 가능하다. 이를 위해 본 연구에서는 Wavelet Transform분석을 도입하였으며 통계적으로 유의한 성분을 시계열로부터 추출하여 가뭄과 기상인자와의 변동성 분석을 실시하였다.

핵심용어 : Palmer 가뭄지수, Wavelet Transform, 기상인자, 시계열 분해

1. 서 론

수문순환 과정은 기상현상과 밀접한 관련을 가지고 서로 연관되어 있다. 이러한 연관성을 규명하여 수자원관리에 위험도를 감소시키려는 노력은 많은 분야에서 이루어지고 있으며, 주요 연구 주제가 되고 있다. 이러한 기상현상 중에서 가뭄은 여러 가지 요소가 복합되어 발생하는 것으로 알려지고 있으나 이를 설명하기에는 여전히 부족한 면이 존재한다. 가뭄을 발생시키는 몇 가지 가능한 원인으로는 El Niño-Southern Oscillation(ENSO)현상으로 잘 알려져 있는 비정상적인 해수면 온도의 분포나 기후 시스템의 비선형적 거동을 들 수 있다(Piechota와 Dracup, 1996; Chiew 등, 1998). Palmer(1965)는 가뭄을 “주어진 지점에서 실제수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년의 기간이 지속되는 현상”으로 정의하였고, 이런 가뭄의 정의를 통해 Palmer(1965)는 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 나타내었다. Palmer의 가뭄지수 산정방법은 강우량 및 기온, 일조시간 등의 자료를 사용하여 잠재증발산을 추정한 후, 대상지역의 실제 강우량과 기후학적으로 필요한 강우량의 차를 계산하여 지역적인 가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)를 얻게 된다.

가뭄의 빈도 및 심도를 추정하기 위해서 PDSI를 이용하여 가뭄을 해석하고자 하는 연구가 다수 수행되었으며

**** 정회원 · Columbia University Researcher · E-mail : hk2273@columbia.edu
*** 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : ymoon@uos.ac.kr
*** 정회원 · 서경대학교 이공대학 토목공학과 조교수 · E-mail : wrr@skuniv.ac.kr
**** 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : taesuk79@uos.ac.kr

윤용남 등(1997)은 지역별로 계속시간별 가뭄지수를 산정하여 기존에 발생하였던 주요 가뭄사상을 평가하였다. 이동률(1999)은 대표적인 ENSO 지수인 남방진동지수(Southern Oscillation Index, SOI) 및 해수면온도(Sea Surface Temperature, SST) 등과 PDSI와의 상관성 검토를 통하여 가뭄사상의 예측 가능성에 대한 심도 있는 연구를 수행하였으며 이들 자료간의 통계적으로 유의한 상관성이 있음을 지적하였으나 전체적인 거동을 평가하기에는 부족한 면이 있다고 언급하였다. 권현한과 문영일(2005a)은 전 지구적 자료로부터 추정된 국내 PDSI를 대상으로 저빈도 교차상관성분석을 통하여 ENSO 현상과 원격상관관계가 있음을 밝혔다. 일반적으로 가뭄현상은 ENSO 현상과 연관성을 갖고 있으며 이에 대한 연구로서 Dai 등(1997)은 ENSO 지수와 PDSI의 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 통해서 추정된 EOF(Empirical Orthogonal Function) 들에서 강한 저빈도의 상관성을 발견하였으며 이러한 강한 상관성은 ENSO 현상과 연관된 강우량의 이상 현상으로 설명되기도 하였다(Ropelewski와 Halpert, 1987; Dai와 Wigley, 2000; Trenberth와 Caron, 2000).

본 연구에서는 국내 수문자료를 통해 추정된 PDSI를 이용하였으며 이와 함께 Multi-Scale 분석이 가능한 Wavelet Transform을 도입하여 국내 PDSI자료와 ENSO현상을 대표하는 주요기상인자와의 특징을 다각적으로 검토하였다. 첫째, 에너지의 변동성을 중심으로 가뭄현상과 ENSO현상을 규명하기 위하여 통계적으로 유의한 주기에 대한 에너지만을 추출하여 비교 검토하였다. 둘째, 두 개의 시계열이 공통적으로 가지고 있는 시간에 따른 주기 특성을 검토하였다. 이를 위하여 Wavelet Transform의 Scale Average Wavelet Power(SAWP)와 Cross Wavelet Transform 방법들을 이용하였으며 이에 대한 이론적 배경은 기존 논문에서 참고할 수 있다(권현한과 문영일, 2005ab; 문영일 등, 2005).

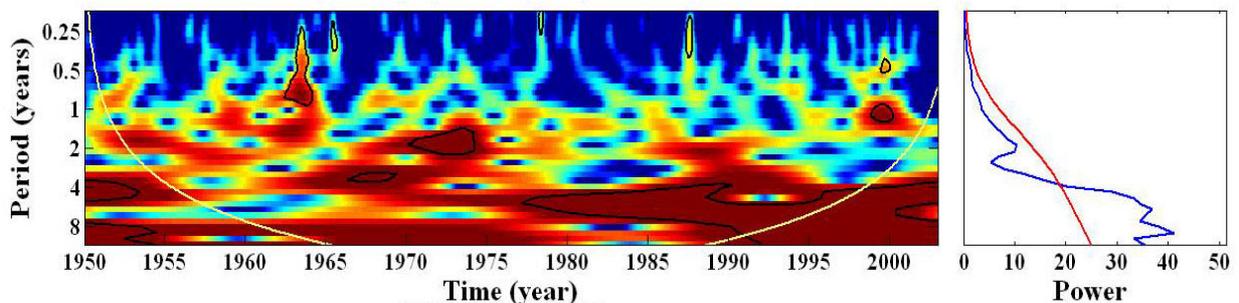
2. Wavelet Transform 분석

본 연구에서는 비교적 장기간의 자료를 보유하고 있는 서울, 인천, 강릉, 대구, 광주, 울산, 목포, 부산, 전주 등 9개 주요 관측지점을 대상으로 추정된 PDSI를 해석 대상으로 하였다. 또한 ENSO 현상과의 원격상관관계를 규명하기 위하여 SOI와 Nino4를 검토하였다.

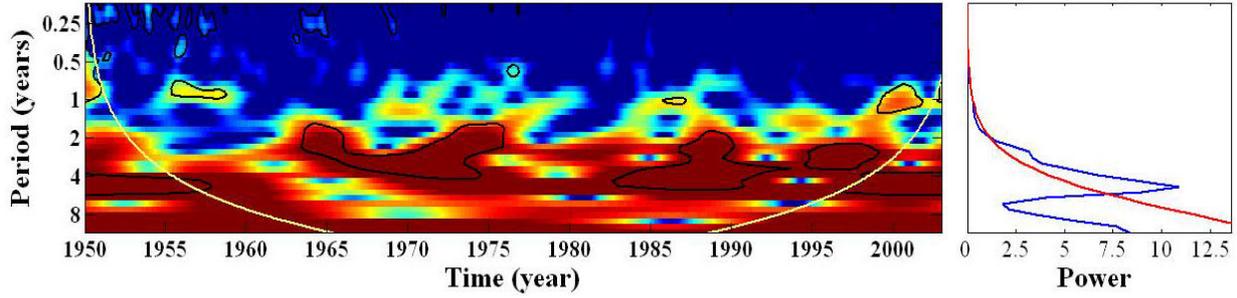
2.1 Palmer 가뭄지수 에너지의 변동성 분석

시계열자료가 가지고 있는 에너지(entropy)의 변동성을 분석하기 위해서 Wavelet Spectrum으로부터 시간에 따른 에너지 변동성분 즉, SAWP를 추출하였다. 그림 1은 9개 지점의 평균 PDSI와 Nino4 그리고 SOI의 Wavelet 분석결과를 나타낸다. 그림 1에서 왼쪽은 시간에 따른 스펙트럼의 강도를 나타내며 오른쪽 그림은 이들 스펙트럼을 주기성분을 따라 평균한 값을 나타낸다. 여기서, 통계적으로 유의한 주기를 갖는 스펙트럼을 굵은 등고선으로 그림에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 3개의 시계열에서 공통적으로 2년 이상 10년 이하의 주기를 갖는 성분이 존재함을 시각적으로 확인할 수 있다. 이들 스펙트럼의 변동성을 보다 자세히 검토하기 위해서 대표적인 ENSO 현상의 2-8년 주기의 성분만을 시간에 따라 평균한 SAWP를 각 지점으로부터 추출하였으며 이들 독립성분분석(권현한과 문영일, 2005c)을 통해 9개 지점의 SAWP 중 대표성분만을 추출하였다.

a) 9개 지점 평균



b) Nino4



c) SOI

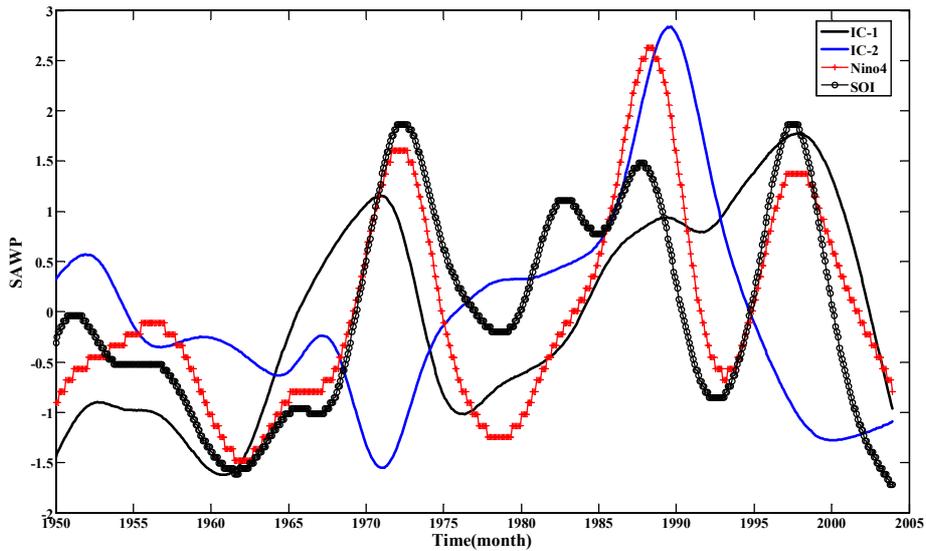
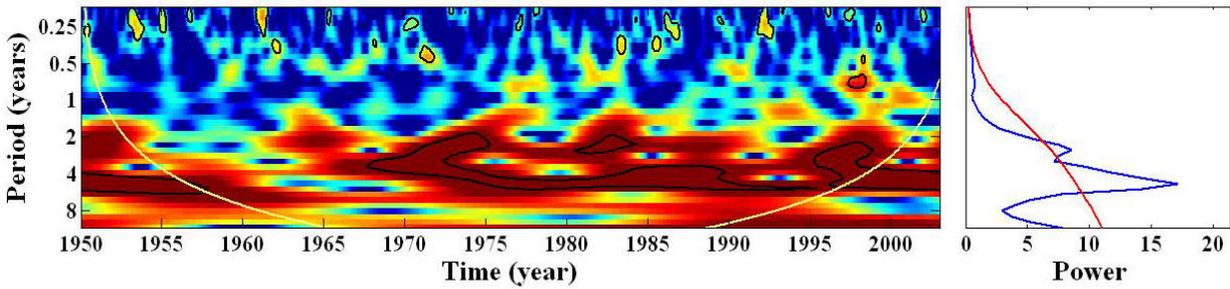


그림 2. PDSI의 SAWP로 얻어진 독립성분과 기상인자의 SAWP

그림 2에서 PDSI로부터 추출된 SAWP의 첫 번째 독립성분(40%)과 두 번째 독립성분(30%)을 Nino4와 SOI의 SAWP와 비교하여 나타내었으며 그림에서 나타나듯이 유사한 에너지의 변동성을 보여주고 있다. 이를 물리적으로 해석해보면 상대적으로 큰 변동성을 갖는 엘니뇨 사상이 발생했을 때 이에 반응하는 수문사상도 상대적으로 큰 변동성을 갖고 발달하는 것으로 유추할 수 있다. 즉, 그림에서 보듯이 약간에 지체시간을 두고 큰 엘니뇨 에너지가 발생했을 때 큰 홍수가 발생하고 반대에 경우에는 큰 가뭄이 발생할 수 가능성을 유추할 수 있다.

2.2 Palmer 가뭄지수와 ENSO 지수와의 Cross Wavelet 분석

우리는 종종 두 개의 시계열이 나타내는 공통적인 주기를 평가할 필요가 있다. 이런 경우 Cross Wavelet Transform을 이용하면 용이하게 시계열들이 갖는 공통주기를 파악할 수 있다(권현환과 문영일, 2005). 분석에 앞서

차원을 줄이기 위하여 독립성분분석을 실시하여 두 개의 주성분을 추출하였다. 두 개의 주성분은 전체 분산의 70% 정도를 나타내고 있으며 각 독립성분과 각 관측지점간의 상관관계를 표 1에 나타내었다. 표에서 나타나듯이 독립성분 1은 서울과 인천을 제외한 모든 지역의 대표성을 갖는 성분으로 사료되며 반대로 독립성분 2는 서울과 인천을 대표하는 성분으로 판단된다.

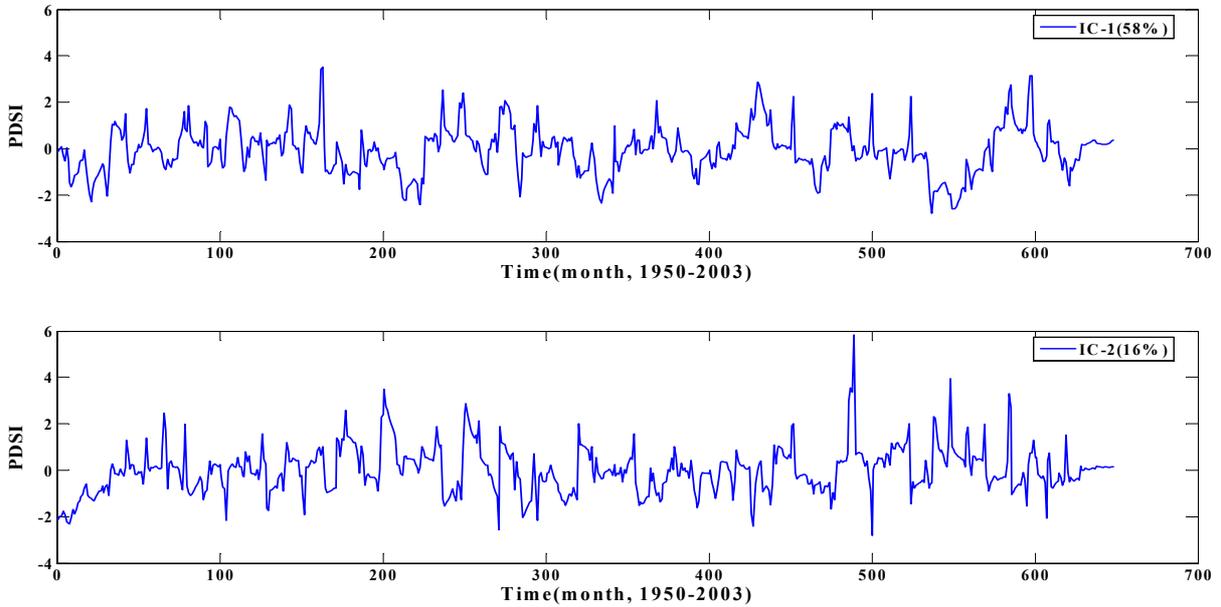


그림 3. 국내 주요 9개 지점의 PDSI로부터 추출된 독립성분

표 1. 2개의 독립성분과 각 지점 PDSI와의 상관성분석

| IC | 강릉 | 서울 | 인천 | 대구 | 울산 | 광주 | 부산 | 목포 | 전주 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| IC-1 | 0.52 | 0.54 | 0.55 | 0.88 | 0.87 | 0.81 | 0.87 | 0.83 | 0.78 |
| IC-2 | 0.38 | 0.77 | 0.76 | -0.04 | -0.13 | -0.01 | -0.21 | -0.14 | 0.14 |

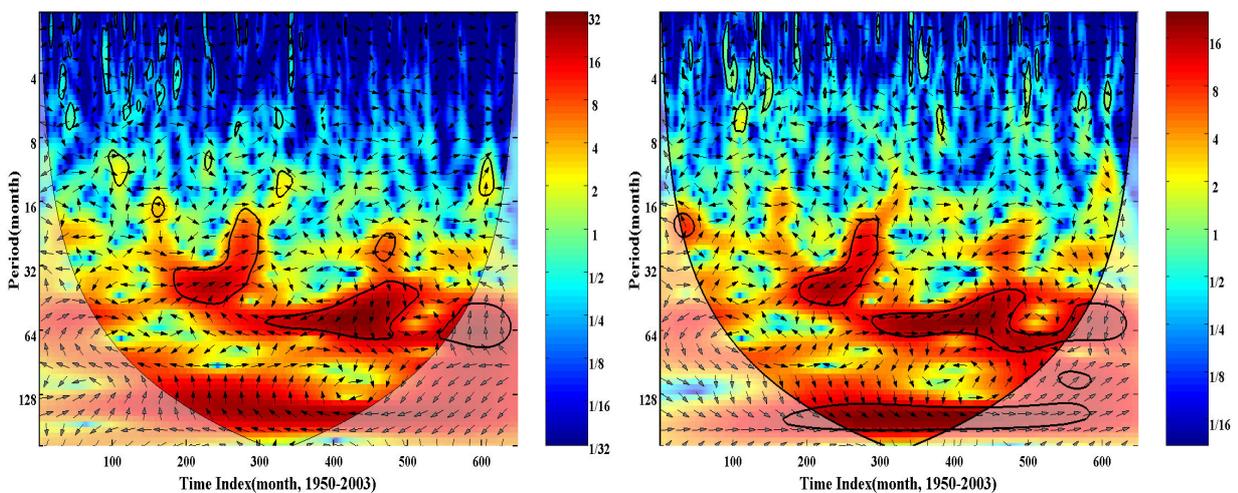


그림 4. 독립성분 1과 Nino4(왼쪽), SOI(오른쪽)의 Cross Wavelet 분석 결과

그림 4는 1950년부터 2003년까지의 주요 ENSO 지수와 PDSI간의 Cross Wavelet Transform의 결과를 나타내

며 오른쪽의 스케일은 스펙트럼의 강도를 나타낸다. 그림에서 아래 부분에 실선으로 나타난 곳은 앞서 설명했듯이 COI(Cone of Influence)가 발생하는 지역이며 스펙트럼에서 검은 실선으로 둘러싸인 부분이 두 시계열 간의 공통적으로 나타나는 스펙트럼 중 신뢰구간 95%에서의 유의한 스펙트럼을 의미한다. 또한 화살표는 두 개의 시계열이 나타내는 위상의 상태를 표현해 주며 오른쪽(시계방향)으로 향하는 화살표는 같은 위상을 나타내며 왼쪽(반시계방향)으로 향하는 화살표는 반대의 위상을 갖는 시계열을 의미한다. 대부분의 ENSO 지수와 PDSI는 2.5년 이상 10년 이하의 저빈도를 공통성분으로 갖는 시계열임을 그림에서 확인할 수 있다. 특히 이러한 경향은 최근 30년 사이의 더욱 뚜렷하게 발생하고 있다. 이는 최근에 상대적으로 강한 El Niño 현상과 관련이 있는 것으로 사료되며 ENSO의 5~6년의 저빈도 주기와 부합되는 주기가 가뭄사상에도 존재하는 것으로 판단할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 ENSO 지수와 PDSI와의 저빈도 상관성의 초점을 두고 분석을 실시하였다. 이를 위하여 연속 Wavelet Transform과 Cross Wavelet Transform를 수행하였으며 대부분의 ENSO 지수와 PDSI 사이에서 강한 저빈도의 공통성분을 확인할 수 있었으며 특히, 이러한 경향은 최근에 더욱 강하게 나타나고 있다. 또한 ENSO지수와 PDSI와의 SAWP로부터 강한 엘니뇨 또는 라니냐가 발생될 때 상대적으로 극한상태의 수문사상이 발생(propagation) 및 변조(modulation)될 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구의 일부는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

- 권현한, 문영일 (2005a) Palmer 가뭄지수(PDSI)와 ENSO 지수와의 상관성 분석, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 25권, 제 5b 호, pp.355-364.
- 권현한, 문영일 (2005b) Wavelet Transform을 이용한 수문시계열 분석, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 38 권, 제 6 호, pp. 439-448.
- 권현한, 문영일 (2005c) Nino3.4지역 SST 및 여름강수량의 독립성분분석, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 38 권, 제 12 호, pp. 985-994.
- 문영일, 권현한, 김동권 (2005) 해수면온도와 우리나라 강수량과의 상관성 분석, 한국수자원학회, 제 38 권, 제 6 호, pp. 995-1008.
- 윤용남, 안재현, 이동률 (1997) Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 30 권, 제 4 호, pp. 317-326.
- 이동률 (1999) 엘니뇨/남방진동과 한국의 가뭄과 관계, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 32 권, 제 2 호, pp. 111-120.
- Chiew, F. H. S., Piechota, T. C. Dracup, J. A and McMahon, T. A. (1998) El Niño/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: links and potential for forecasting, Journal of Hydrology, Vol. 204, pp. 138-149.
- Dai, A. G., Fung, I. Y. and Del Genio, A. D. (1997) Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988. *J. Climate*, Vol. 10, pp. 2943-2962.
- Dai, A. G., and Wigley, T. M. L. (2000) Global patterns of ENSO induced precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 27, pp. 1283-1286.
- Palmer, W. C., (1965) Meteorological drought. Research Paper 45, U.S. Dept. of Commerce, pp. 58.
- Piechota, T. C., and Dracup, J. A. (1996) Drought and regional hydrologic variation in the United States: Associations with the El Niño-Sothern Oscillation, Water Resouces Research, Vol. 32, No. 5, pp. 1359-1373.
- Ropelewski, C. F., and Halpert, M. S. (1987) Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 1606-1626.
- Trenberth, K. E., and Caron, J. M. (2000) The Southern Oscillation revisited: Sea level pressures, surface temperatures, and precipitation. *J. Climate*, Vol. 13, pp. 4358-4365.