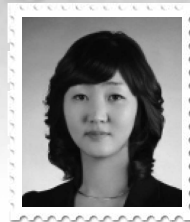


가뭄전망과 실시간물관리를 위한 APCC 계절예측정보의 활용



강 부 식
단국대학교 부교수
bskang@danook.ac.kr



문 수 진
단국대학교 박사과정
moonsujin@danook.ac.kr

1. 서론

대부분의 기후예측모델은 예측성이 낮아 홍수와 가뭄 등 이상기후 현상에 대한 대처 능력이 부족한 실정이며, 이에 따른 기후예측 기술개발이 요구되고 있는 실정이다. 기상전문 기관인 APEC 기후센터(APEC Climate Center, APCC)에서는 아·태지역 21개 APEC 회원국 간의 자료 수집 및 정보 교환을 통하여 생산되는 기후예측정보를 활용하여 매달 계절예측 및 기후전망을 하고 있다. 본 연구에서는 APEC에서 생산된 MME(Multi-Model Ensemble) 계절예측자료를 가뭄관리 및 전망에 활용하기 위하여 SPI(Standard Precipitation Index) 및 PDSI(Palmer Drought Severity Index)지수의 입력자료로 이용하여 3개월 전망을 실시하고 이를 모니터링 지수와 비교하였다. 강우자료의 경우 수치예보의 특성상 국부지

역오차에 따른 불확실성이 있을 수 있으므로 이를 고려하여 간단한 분위사상법(Quantile Mapping)을 통한 기상변수의 오차를 보정하고자 하였으며 전망자료를 실시간 물관리시스템과 연계하여 활용해보고자 하였다.

2. 연구방법 및 대상기간

2.1 MME(Multi-Model ensemble)와 규모축소

APCC MME는 기후예측모형이 가지는 불확실성을 최소화하기 위한 방법으로, 표 1과 같이 아시아·태평양 지역 내 9개 회원국 16개 기관 21개 기후모형의 계절예측정보를 바탕으로 한다. 개별 기후모델이 계산한 기후예측자료를 이용하여 모형이 가지는 계통오차(Systematic error)를 양상불 기법을 통하여 상쇄함으로써 최적의 예측자료를 도출한다.

또한, 통계적 규모축소화 기법을 통하여 매달 기상청 지점관측소 59개 지점의 3개월 기온과 강수량의 예측정보를 생산한다. 이는 다중 모델 변수 예측인자(predictor)를 바탕으로, 상세화된 기후예측자료를 생산하는 방안으로 각 모델별로 규모축소를 시행한 뒤, 최적의 예측인자를 산출, 모델별로 규모축소화된 정보를 평균하여 지점별 기후예측자료를 도출한다. 이렇게 계산된 기후전망 자료를 SPI와 PDSI 가뭄지수의 입력자료로 사용함으로써 가뭄을 전망하기 위한 기후자료로 활용하였다.

[표-1] APCC 3개월 MME 기후예측시스템을 위한 APEC 회원국 내 계절예측자료

회원국	기관	모델
대만	대만 기상청	CWB
러시아	러시아 수문기상센터	HMC
	러시아 지구물리 관측본부	MGO
미국	미국 해양육지대기연구소	COLA
	미국 국제기후연구소	IRI
		IRI_F
	미국 항공우주국	NASA-GSFC
	미국 국립환경예측센터	NCEP CFS
일본	일본 기상청	JMA
중국	베이징 기후센터 (중국 기상청)	BCC
	대기물리연구소 (중국과학연구원)	IAP
캐나다	캐나다 기상청	MSC_GEM
		MSC_GM2
		MSC_GM3
페루	페루 기상청	SENAMHI
한국	서울대학교	GPCS
	한국 기상청	GDAPS_F
		GDAPS_O
	한국 국립기상연구소	NIMR
호주	호주 기상청	POAMA

2.2 분위사상법(QM; Quantile Mapping)

가뭄전망을 위한 기상자료로 APCC 계절예측 강우와 온도를 사용하고 있지만, 온도자료에 비하여 강우자료의 불확실성이 상대적으로 크게 나타나고 있는 것을 확인하였다. 이에 분위사상법을 통하여 가뭄전망을 위한 기후 오차보정을 실시하고자 하였다. 분위사상법(QM; Quantile Mapping)은 관측값과 모의값이 동시에 존재하는 일정한 과거 기간을 선택하여, 관측값과 모의값의 누적확률분포

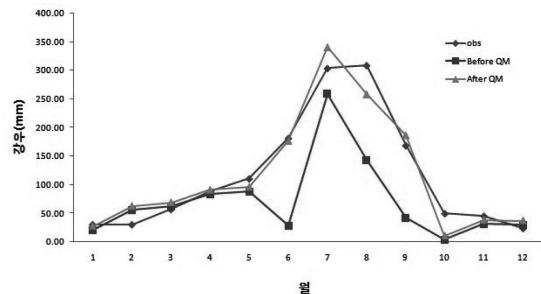
를 이용하여 모의값의 확률분포를 관측값의 확률분포에 사상(mapping)시키는 방법이다. 예를 들어 Y_j 를 j 번째 지점의 기상변수값이라 하면 오차보정된 값 Z_j 는 다음과 같다.

$$Z_i = F_{oi}^{-1}(F_{si}(\hat{Y}_i)) \quad (1)$$

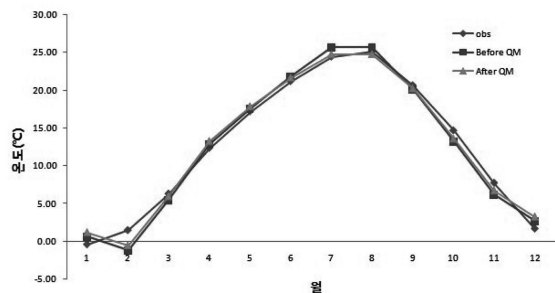
$F_{si}(\cdot)$: 모의값에 대한 경험적 확률 분포

$F_{oi}(\cdot)$: 관측값에 대한 경험적 확률 분포

QM을 실시하기 위하여 과거 1995~2008년(14개년)의 강우 및 온도 관측자료를 이용하여, 강우는 홍수기(6~9월)/비홍수기(1~5, 10~12월), 온도는 여름철(6~9월)/겨울철(1~5, 10~12월)로 구분한 후 전체 관측소를 하나의 관측소 평균으로 대체하여 최근 2009년에 대한 월별 QM을 실시하였다. 다음은 강우와 온도에 대한 보정전·후 값 및 결과 그래프와 2009년 6~9월의 QM 전·후 비교 그림이다.

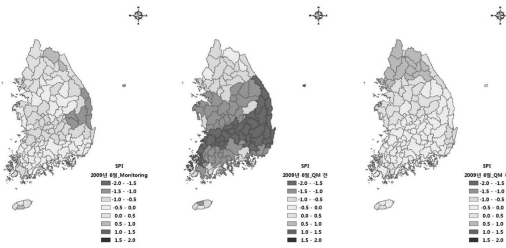


〈그림 1〉 QM을 이용한 강우자료 오차보정



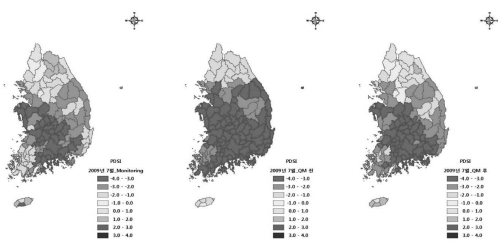
〈그림 2〉 QM을 이용한 온도자료 오차보정

SPI 6개월 모니터링 SPI 6개월 QM전 가뭄전망 SPI 6개월 QM후 가뭄전망



<그림 3> 2009년 6월의 6개월 SPI지수 비교

PDSI 모니터링 PDSI QM전 가뭄전망 PDSI QM후 가뭄전망



<그림 4> 2009년 6월의 PDSI지수 비교

SPI 6개월 및 PDSI지수의 QM 전·후를 관측값과 비교해 본 결과, 두 가지 지수 모두 QM 이전의 전망보다 이후의 전망이 더욱 좋은 결과를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 다음은 각 지수에 대한 QM 이전과 이후에 대한 상관관계를 2009년 6~9월에 대하여 분석하였다.

또한 QM기법이 일반적으로 강수를 과소추정하는 경향이 있기 때문에 QM 이전에 가뭄을 다소 과장해서 표현이 되고 있으며, 이는 SPI지수에서 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. SPI지수 보다 PDSI지수의 값이 모니터링결과와 비

[표-2] QM 검증을 위한 Pearson 상관계수비교(PDSI)

PDSI	QM전	QM 후
2009년6월	0.89	0.94
2009년7월	0.9	0.96
2009년8월	0.9	0.96
2009년10월	0.88	0.95

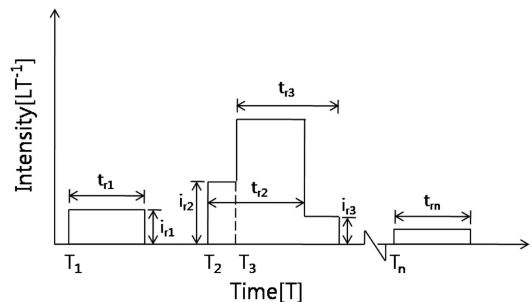
[표-3] QM 검증을 위한 Pearson 상관계수비교(6개월 SPI)

6개월 SPI	QM전	QM 후
2009년6월	0.69	0.80
2009년7월	0.19	0.50
2009년8월	0.31	0.51
2009년10월	0.17	0.50

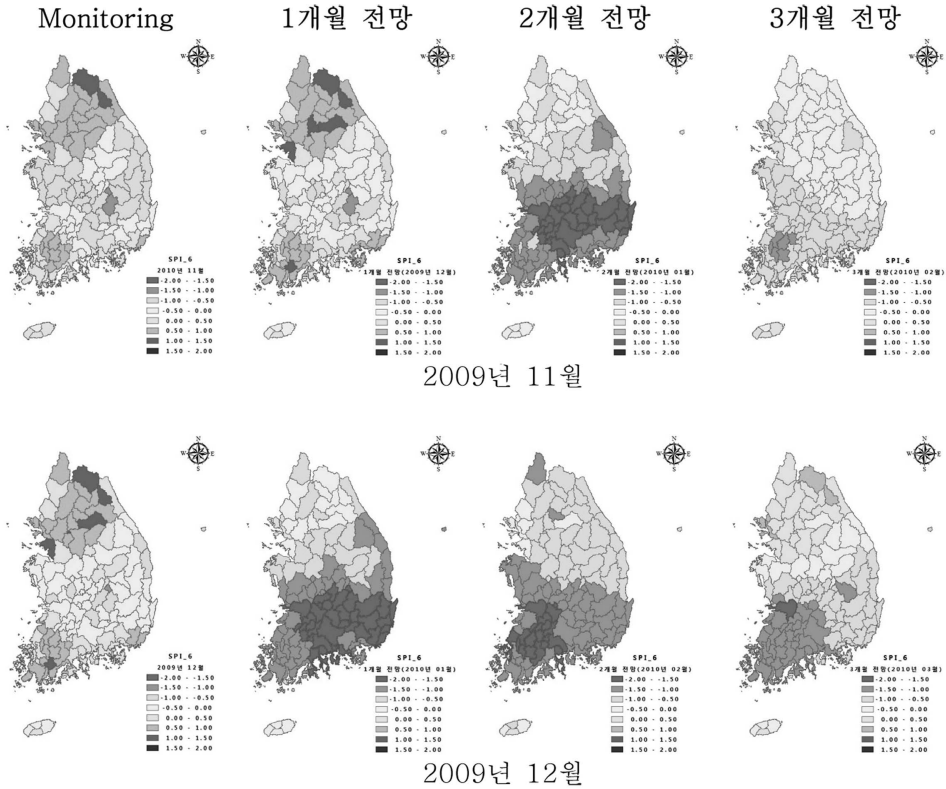
슷한 가뭄상황을 나타내고 있었으며 이는 PDSI지수가 강우뿐만 아니라 온도 및 토양수분 등을 입력자료로 사용함으로써 나타나는 의미있는 결과로 판단된다. 또한 2009년 6월의 SPI 6개월 지수의 경우 모니터링결과 대부분의 지역에서는 가뭄이 해갈된 것으로 보이며, 일부지역에서는 약간 건조한 상태를 나타내고 있으나 PDSI 지수의 경우에는 여전히 남부지방을 중심으로 가뭄상황이 심각한 것으로 나타나고 있다. 이는 PDSI지수의 경우 기존의 축차식 형태의 공식이 89.7%의 자기상관관계를 가지면서 가뭄이 심각했던 2008년 가을가뭄에 대한 영향이 계속되고 있는 것으로 판단된다. 이러한 자기상관계수는 강우와 무강우가 반복되는 경우에 효과적으로 모의가 이루어지지 않기 때문에 이를 탄력적으로 사용한다면 가뭄전망 및 모니터링 시 효과적으로 가뭄상황을 나타낼 것으로 보인다.

2.3 사각형펄스(RP; Rectangular Pulse) 기법

실시간 물관리시스템과의 연계를 위하여 월단위로 제공되는 전망강수자료를 일단위로 변환하기 위한 방법으로 본 연구에서는 Poisson model을 이용한 사각형펄스(RP; Rectangular Pulse) 기법을 사용하였다. 사각형펄스모형은 일반적으로 포아송과정에 근거한 점과정 모형으로부터 적용한 방법으로 어떤 사상의 발생은 포아송과정을 따르고 그 사상의 강도와 지속시간은 지수분포를 따르는 것으로 가정하며 Rodriguez-Iturbe et al.(1984), 유철상 등(2002)의 관련연구를 찾아볼 수 있으며 시장우



<그림 5> QM을 이용한 온도자료 오차보정



(그림 6) PDSI지수 가뭄전망(2009년 11월~12월)

이하의 정밀상세화를 위해 Netman-scott Rectangular Pulse 모형 등 좀 더 복잡한 모형으로 발전해왔다.

사각형펄스모형은 강우사상 간의 간격(λ), 각 사상의 강우강도(μ), 지속시간(η)의 세 개의 매개변수로 구성되며, 일반적으로 모형의 매개변수는 관측자료의 평균, 분산 및 lag-1 공분산이 보전되도록 추정하며 주어진 시간간격의 집계시간(aggregation time)에 대한 고려가 필요하다. Rectangular Pulse 모형은 매개변수의 추정과 강우모의 과정이 매우 간편하지만 강우의 시간적인 군집이 실제 강우보다 약하게 나타나는 경향이 있고 강우의 자기상관구조를 적절하게 재현하지 못하는 단점을 가지고 있다. 다음은 RP Model의 개념도이다.

3. 가뭄전망

3.1 SPI와 PDSI지수를 통한 가뭄전망

QM을 통하여 강우 및 온도의 오차를 보정한 결과 온도 자료는 큰 변화가 없었으나 강우자료는 분위사상 이전의 값보다 이후의 값이 관측값에 근접하는 결과를 나타내고 있었다. 또한 비홍수기에 비하여 홍수기에 Mapping효과가 더욱 잘 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 QM을 거친 입력자료를 이용하여 가뭄전망을 실시하였으며, 현재 가뭄모니터링 시스템에 사용되고 있는 SPI 와 PDSI지수의 입력자료의 형태로 변환한 뒤 분위사상 이전과 이후에 대하여 가뭄전망을 실시하였다.

SPI지수는 지속시간 6개월에 대하여 분석을 실시하였

으며, PDSI지수의 경우 기존의 PDSI 지수 산정 시, 모든 지역에서 상하부토양심도를 지역적 분포를 고려하지 않고 10inch(25.4cm)로 일정하게 사용함으로써 유효 토양 수분함량에 대한 신뢰도를 저하시키는 결과를 가져오는 경향이 있었다. 이에 본 연구에서는 GIS 정밀토양도를 사용하여 토양심도의 지역적 분포를 고려한 입력자료를 생성하여 분석을 실시하였다. 다음은 2009년 11월, 12월 SPI 6개월 및 PDSI 지수의 가뭄전망결과를 현재 모니터링이 이루어지고 있는 값과 비교·분석한 가뭄 모니터링 및 전망도이다.

또한 가뭄전망을 실시한 결과 가뭄지수 전망 시 신뢰도가 가장 높다고 판단되는 1개월 전망에 대한 검증에 위해 모니터링된 지수와 1개월, 2개월, 3개월 전망에 대한 Pearson 상관분석을 실시하였다. 다음은 그 결과를 나타내는 표이다

[표-4] Pearson 상관계수비교(6개월 SPI)

6개월 SPI	1개월예측	2개월예측	3개월예측
2009년 11월	0.96 (2009년 12월)	0.97 (2010년 01월)	0.51 (2010년 02월)
2009년 12월	0.98 (2010년 01월)	0.48 (2010년 02월)	0.30 (2010년 03월)

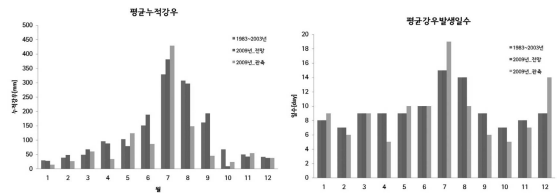
[표-5] Pearson 상관계수비교(PDSI)

PDSI	1개월예측	2개월예측	3개월예측
2009년 11월	0.98 (2009년 12월)	0.98 (2010년 01월)	0.96 (2010년 02월)
2009년 12월	0.97 (2010년 01월)	0.95 (2010년 02월)	0.90 (2010년 03월)

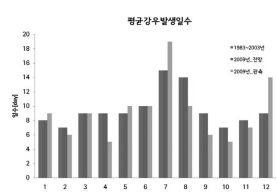
4. 실시간 물관리시스템과의 연계활용

3.1 일강수량 분해

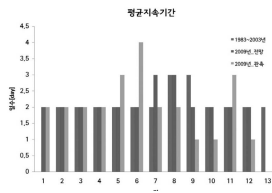
과거 통계자료를 바탕으로 RP기법을 이용하여 실제 관측값과의 비교를 위해 과거자료를 이용하여 분석해보고자 하였다. 이에 기간은 2009년 1월~12월까지로 하여 대전관측소의 월강수량자료를 일자료로 분해하였으며, 관측강우량과 전망강우량, 실시간 물관리시스템 운영 결과 대청댐 총 관측유입량을 비교·분석하였다. 다음은 대전관측소의 평균누적강우 및 강우일수, 지속기간, 강우강도에



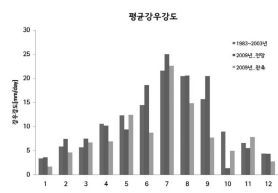
〈그림 8〉 평균누적강우 비교



〈그림 9〉 평균강우발생일수 비교



〈그림 10〉 평균지속기간 비교

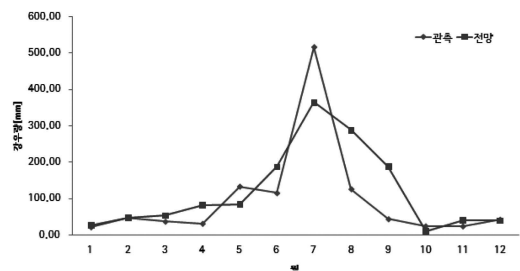


〈그림 11〉 평균강우강도 비교

[표-6] 실시간물관리 운영결과

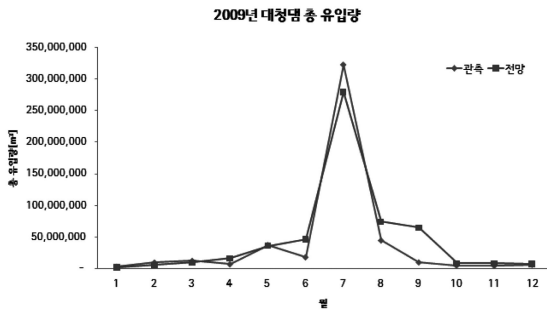
	관측강우량 [mm]	전망강우량 [mm]	관측유입량 [m³/s]	전망유입량 [m³/s]	관측총유입량 [천m³/month]	전망총유입량 [천m³/month]	전망오차 [%]
2009년11월	20.00	26.20	31.00	21.90	2,680	1,892	-29.40
2009년12월	46.20	47.00	106.40	61.30	9,193	5,296	-42.39
2009년3월	35.20	52.90	137.70	114.30	11,897	9,876	-16.99
2009년4월	29.60	81.10	75.00	185.70	6,481	16,044	47.57
2009년5월	131.70	83.60	426.30	419.10	36,832	36,210	-1.69
2009년6월	113.70	187.10	203.80	535.60	17,608	46,276	162.81
2009년7월	515.00	364.10	3727.20	3233.90	322,030	279,409	-13.24
2009년8월	124.50	286.90	510.80	857.80	44,133	74,114	67.93
2009년9월	42.00	187.30	110.30	750.90	9,531	64,878	580.72
2009년10월	22.90	9.00	52.30	94.40	4,520	8,156	80.43
2009년11월	22.40	39.20	47.10	98.10	4,067	8,476	108.41
2009년12월	40.90	39.00	65.50	89.40	5,663	7,724	36.41

2009년 대전관측소 월별 강우량



〈그림 12〉 2009년 대전관측소 월별 강우량

대한 과거자료와 2009년 관측 및 전망자료를 분석한 그래프이다.



(그림 13) 2009년 대청댐 총 유입량

5. 결론

APCC 계절예측자료를 가뭄모니터링시스템의 자료입력 포맷에 따라 적절히 가공한 뒤, 가뭄 관리 및 전망을 위하여 SPI(Standard Precipitation Index) 및 PDSI(Palmer Drought Severity Index)지수의 입력자료로 사용하여 SPI 및 PDSI 지수를 산정하고자 하였다. 또한 분위사상법(QM)을 이용하여 강우자료의 오차보정을 실시하였으며, 그 결과 QM 이후 가뭄지수를 산정 시 현재 가뭄모니터링 시스템과 유사한 결과를 나타냄으로서 Mapping의 효과가 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

이 중 PDSI지수의 경우 토양심도를 고려하여 입력자료를 수정하였으며, 기존의 축차식 형태의 공식이 89.7%의 자기상관관계를 가지기 때문에 장기가뭄에 유리한 것을 확인할 수 있었다. 강우만을 사용하기 때문에 강우에 대한 반응이 빠른 SPI지수에 비하여 자기상관계수는 강우와 무강우가 반복되는 경우에 효과적으로 모의가 이루어지지 않기 때문에 이를 탄력적으로 사용한다면 가뭄전망 및 모니터링 시 효과적으로 가뭄상황을 나타낼 것으로 보인다.

APCC 계절예측정보를 기반으로 3개월 전망을 실시하였으며 이를 모니터링 지수와 비교하였으며, QM 등을 사용하여 가뭄 전망에 대한 신뢰도를 높인다면, 가뭄에 대한 사전예방 및 피해완화로 실제 가뭄상황에 대한 신속한 대처 및 피해의 경감이 이루어질 수 있을 것이다. 또한 실시간 물관리시스템과의 연계활용을 위하여 월단위로 제공

되는 입력자료를 사각형펄스(RP)기법을 통하여 일단위로 분해하고자 하였다. 대청댐 유역의 2009년 대전관측소 자료에 대하여 위의 기법을 사용하여 일단위 분해를 실시하고 대청댐의 실제 유입량과 비교한 결과 비슷한 양상을 나타내고 있었으며, 이러한 결과를 토대로 전망자료의 신뢰도만 확보한다면 현재 운영되고 있는 실시간 물관리시스템을 적절히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강부식, 문수진(2009) Palmer가뭄지수산정에 있어서 지역별 토양심도영향분석, 2009년 한국수자원학회 학술발표회, pp.1472-1475
2. 강부식, 문수진, 손수진, 이우진(2010) APCC MME 계절예측 정보를 이용한 가뭄전망, 2010년 한국수자원학회 학술발표회, 대전컨벤션센터, pp.1784-1788
3. 건설교통부, 한국수자원공사(2005). 가뭄관리모니터링체계 수립
4. 건설교통부, 한국수자원공사(2008). 가뭄정보시스템(물공급 Guideline 중심으로)
5. 김기욱, 유철상(2008). 시간적 군집특성을 고려한 강우모의모형의 선정, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, Vol. 41, No. 7, pp.747-759
5. 유철상, 김남원 정관식(2002). 점강우모형과 강우강도-지속기간-생기빈도 해석, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, Vol. 34, No. 6, pp.577-586
6. 한국수자원공사(2002). 가뭄관리 종합대책 수립연구
7. Alley. W.M. (1984). The Palmer Drought Severity Index, limitations and assumptions, Journal of Applied Meteorology, Vol. 23, Issue 7, pp.1100-1109
8. Kang,H,C.-K, Park, N. H, Saji, and K. Ashok(2009) Statistical downscaling of precipitation in Korea using multi-model output variables as predictors, Monthly Weather Review, 137, 1928-1938
9. Palmer. W.C. (1965).Meteorological Drought, Office of Climatology U.S. Weather Bureau, Washington, D.C
10. Rodriguez-Iturbe, I., Gupta, V. K., and Waymire, E.(1984). Scale Cosiderations in the Modeling of Temporal Rainfall, Water Resources Research, Vol. 20, No. 11, pp.611-1619