

기후예측자료를 활용한 가뭄전망 기술



강 부 식 |
 단국대학교 토목환경공학과 교수
 bskang@dankook.ac.kr



차 형 선 |
 K-water 조사기획처 조사사업팀장
 chasun@kwater.or.kr



문 광 혁 |
 국토해양부 수자원정책관실 수자원개발과장
 mkh228@korea.kr

1. 서론

현재 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 9개 회원국(한국, 미국, 일본, 중국, 러시아, 호주, 캐나다, 대만, 페루) 16개 기관으로부터 계절예측 자료를 수집하고 종합 분석하여 기후예측 자료를

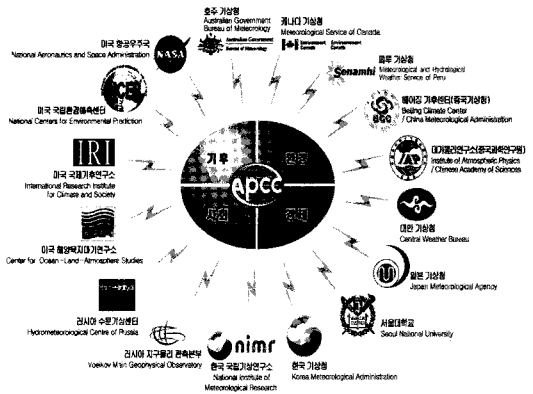


그림 1. APEC 기후센터와 기후모델 자료를 공유하는 기후 센터와 연구기관

생산하고, 이러한 기후예측정보를 활용하여 매달 계절예측 및 기후전망을 하고 있다.

본 연구에서는 APEC에서 제공하는 기후모델 계산 자료를 바탕으로 자료 요청, 처리, 예측 자료 생산, 예측 결과 검증의 절차를 거쳐 MME(Multi-Model Ensemble) 계절예측자료를 가뭄관리 및 전망에 활용하고자 하였다. 기존에 모니터링 되고 있는 SPI(Standard Precipitation Index) 및 PDSI(Palmer Drought Severity Index)지수에 대하여 입력자료로 기후예측자료를 이용하고, 이를 바탕으로 SPI와 PDSI 지수를 산정하여 가뭄전망을 실시하였다. 또한 총 59개 지점의 강우 및 온도자료에 대하여 분위사상법(Quantile Mapping)을 이용하여 오차보정을 실시하였다.

2. 연구방법 및 대상 기간

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 기후모형이 계산한 기후예측자료를 이용하여 모형이 가지는 계통오차(Systematic error)를 앙상블 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 3개월 기후예측 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	IRIRI_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
	서울대학교	GPCS
한국	한국 기상청	GDAPS_F
		GDAPS_O
		한국 국립기상연구소
호주	호주 기상청	POAMA

표 2. 개별 모델 및 모델간 앙상블 기후예측 자료 특성

자료명	구분	내용
3개월 기후	예측기간	매월 3개월 ex) 2009년11월인 경우 2009.12~2010.02 예측자료
	변수	<ul style="list-style-type: none"> • 지표 (지상 2m) 기온 [단위: K] • 해수면 온도 [K] • 총강수량 [kg/m2sec] • 평균 해면 기압[hPa] • 장파복사 [W/m2] • 850hPa 기온 [K] • 500hPa 지위고도 [m] • 850hPa 동서·남북 바람속도 [m/sec] • 200hPa 동서·남북 바람속도 [m/sec]
	예측자료	<ul style="list-style-type: none"> • 자료형태 • 각 앙상블 멤버에 대한 월(일) 평균 자료 • 월(일)별 기후값 (평년 자료) • 아노말리(편차) 자료는 월평균과 기후값으로부터 계산
	자료포맷	<ul style="list-style-type: none"> • 전구에 대해서 공간해상도 2.5 x 2.5도 간격(144 x 72 격자) • 기록순서는 경도의 경우 0°로부터 서경 2.5° 까지 동쪽으로 • 위도의 경우 북위 90°로부터 남위 90°로 남쪽으로 저장 • 자료저장형태는 개별 모델자료의 경우 GRIB(.ctt)과 같은 자료제어파일 포함 • NetCDF, Binary와 ASCII 형태 • 모델간 앙상블 자료는 NetCDF 포맷
과거 기후 예측자료	예측기간	3개월 기후예측기간과 동일한 계절에 대해서, 1979년부터 2008년까지 28년 자료 (보통 기후값으로 30년 권장)
	실험설계	SMIP-2/HFP (또는 SMIP) 타입의 예측 실험
	자료형태	각 앙상블 멤버에 대한 과거 월평균 자료 (28년 과거기후예측의 경우 총 시계열336 (28년*12개월))
	변수·자료 포맷	3개월 기후예측자료와 동일

2.2 분위사상법(Quantile Mapping)

분위사상법은 관측값과 모의값이 동시에 존재하는 일정한 과거 기간을 선택하여, 관측값과 모의값의 누적확률분포를 이용하여 모의값의 확률분포를 관측값의 확률분포에 사상(mapping)시키는 방법이다. 예를 들어 Y_j 를 j번째 지점의 기상변수값이라 하면 오차보정된 값 Z_j 는 다음과 같다.

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

$F_{si}(\cdot)$: 모의값에 대한 경험적 확률 분포
 $F_{oi}(\cdot)$: 관측값에 대한 경험적 확률 분포

가뭄전망을 위한 기상자료로 APCC 계절예측 강우와 온도를 사용하고 있다. 하지만 온도예측자료는 오차의 범위가 크게 나타나지 않았으나 강우예측자료의 불확실성이 크게 나타나고 있는 것을 확인하였다. 또한 겨울철보다 여름철의 강우 오차가 더욱 크게 나타나는 점을 확인하고 분위사상법을 통하여 가뭄전망을 위한 기후 오차보정을 실시하고자 하였다. 분위사상법을 실시하기 위해서 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 Quantile Mapping을 실시하였다. 다음은 강우와 온도에 대한 보정전·후 값 및 결과 그래프이다.

2.3 대상 기간

가뭄은 주기적으로 발생하며, 다른 자연재해에 비하여 매우 느린 진행속도를 나타내기 때문에 장기가뭄의 경우 오랫동안 지속될 수 있다. 그중 가뭄이 극심했던 기간은 1994~1995년의 장기가뭄, 2001년의 단기가뭄, 2008년 가을 가뭄 기간이었다. 본 연구에서는 가장 최근 발생했던 2008년 가을가뭄을 대상기간으로 선정하였다.

우리나라는 여름철 장마와 태풍으로 인해 발생한 많은 양의 강수량을 이용하여 나머지 기간의 필요한 용수를 확보하는 체계를 이루고 있다. 하지만 2008년 4월~2009년 6월의 가뭄상황은 2008년 여름철 강수량의 부족 및 여름철 이후 중국에서 다가오는 동서고기압의 지속적인 영향으로 인해 전국적으로 확산되었으며 강원도 내륙지방과 전라남도, 경상남도 등 특히 남부지방으로 가을이후의 가뭄이 심각했으며 이는 2009년까지 이어졌다. 2008년

표 3. 2008년 말 다목적 댐 저수율

	평균	한강	낙동강	금강	섬진강	기타
금년(%)	40.5	48.9	29.4	41.1	28.7	34.9
전년(%)	60.2	57.3	59.1	65.9	63.2	67.7
예년(%)	49.9	53.4	44.3	51.4	46.1	43.2
전년대비(%)	67.3	85.3	49.7	62.4	45.4	51.6
예년대비(%)	81.1	91.6	66.4	80.0	62.3	80.8

전국 평균 강수량은 906mm로 예년의 70%정도의 수준이었으며, 2008년 9월 이후의 평균 강수량은 107mm로 예년대비 42%에 머물렀다. 또한 전국 15개의 다목적댐의 평균 저수율은 40.5%로 예년의 81%수준으로 낙동강 및 섬진강유역이 상대적으로 저수율이 낮았다. 이로 인해 남부지방을 중심으로 계곡수·지하수 등을 취수원으로 하는 일부 산간·도서지역에서 제한 및 운반급수를 실시하였다.

3. 가뭄전망

3.1 SPI와 PDSI지수를 통한 가뭄전망

분위사상법을 통하여 강우 및 온도의 오차를 보정한 결과 온도예측자료는 큰 변화가 없었으나 강우예측자료는 분위사상 이전의 값보다 이후의 값이 관측값에 근접하는 결과를 나타내고 있었다. 또한 비홍수기에 비하여 홍수기에 Mapping효과가 더욱 잘 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 2009년 홍수기(6~9월)에 대한 가뭄전망을 실시하기 위하여 3개월 기후예측자료 중 가장 신뢰도가 높다고 판단되는 1개월 기후예측자료를 사용하였으며, 현재

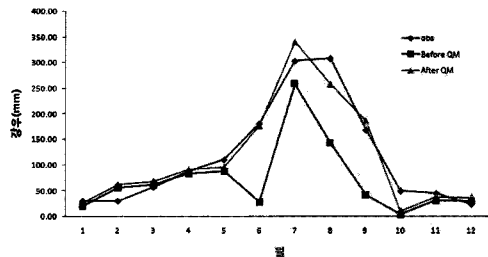


그림 2. 분위사상법을 이용한 강우자료 오차보정

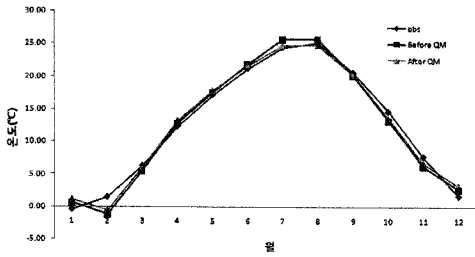


그림 3. 분위사상법을 이용한 온도자료 오차보정
가뭄모니터링 시스템에서 모니터링되고 있는 SPI와 PDSI지수의 입력자료의 형태로 변환한 뒤 분위

사상 이전과 이후에 대하여 가뭄전망을 실시하였다.

SPI지수는 지속시간 6개월에 대하여 분석을 실시하였으며, SPI와 PDSI지수에 대하여 월별 비교를 실시하였다. 또한 2009년 홍수기(6~9월) SPI 6개월 및 PDSI 지수의 가뭄전망결과를 현재 모니터링이 이루어지고 있는 결과값과 기후예측값에 대하여 분위사상법을 적용한 이전과 이후에 대한 결과값을 비교·분석하였다. 다음은 2009년 6, 7, 8월에 대한 가뭄 모니터링 및 전망도이다.

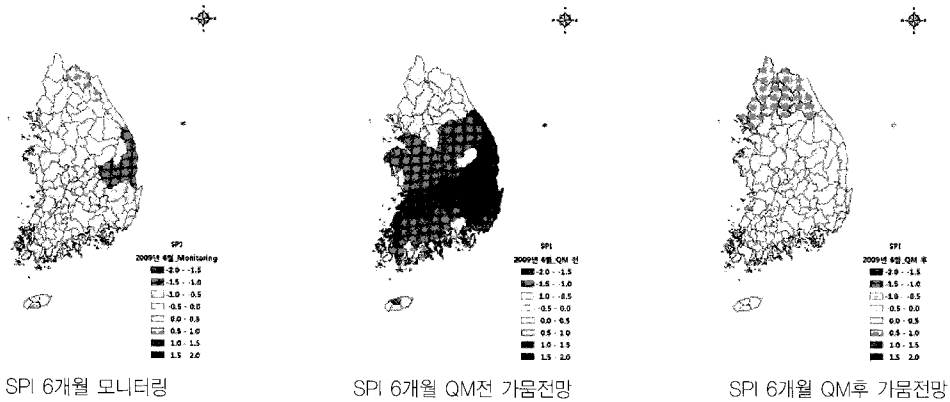


그림 4. 2009년 6월의 SPI 6개월 지수 비교

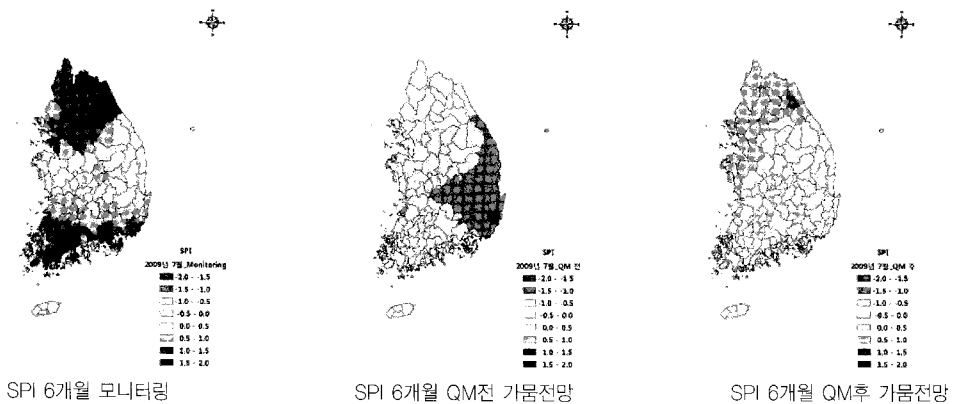
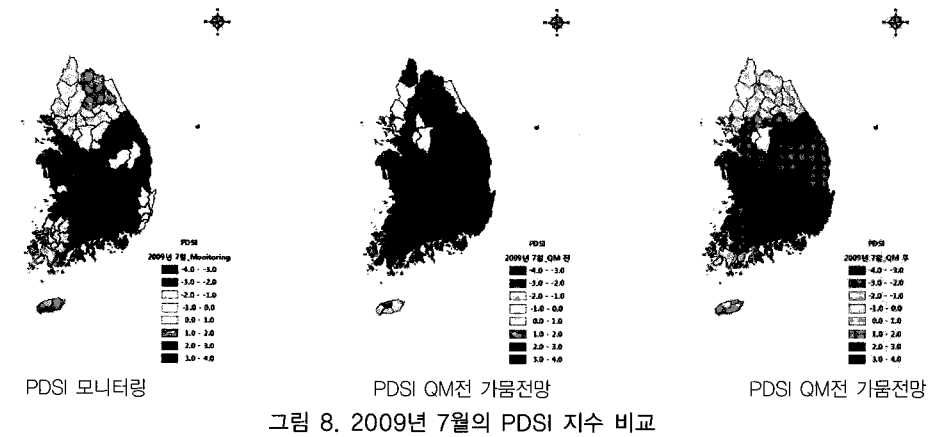
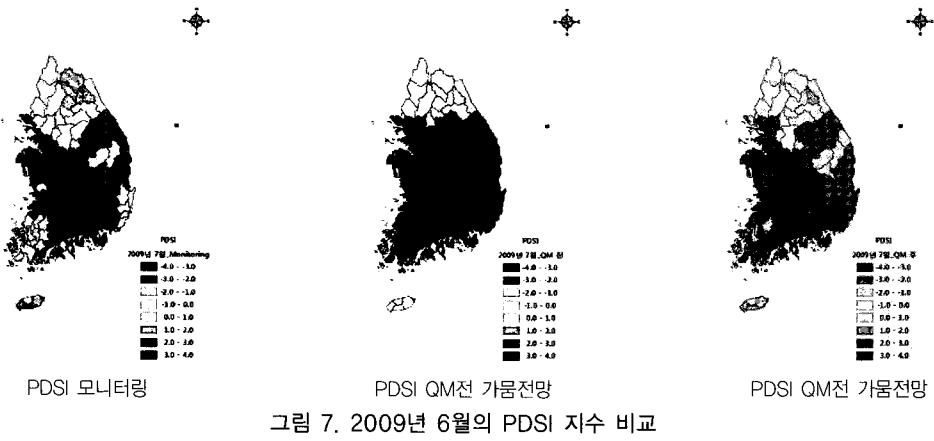
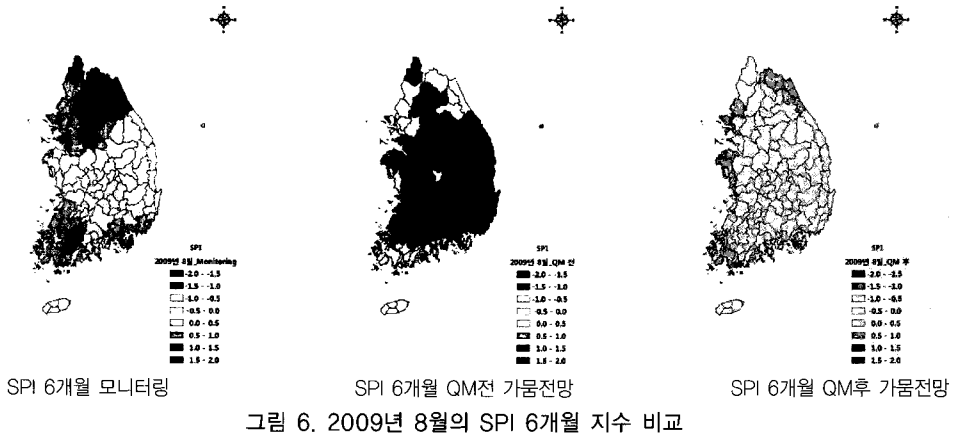


그림 5. 2009년 7월의 SPI 6개월 지수 비교



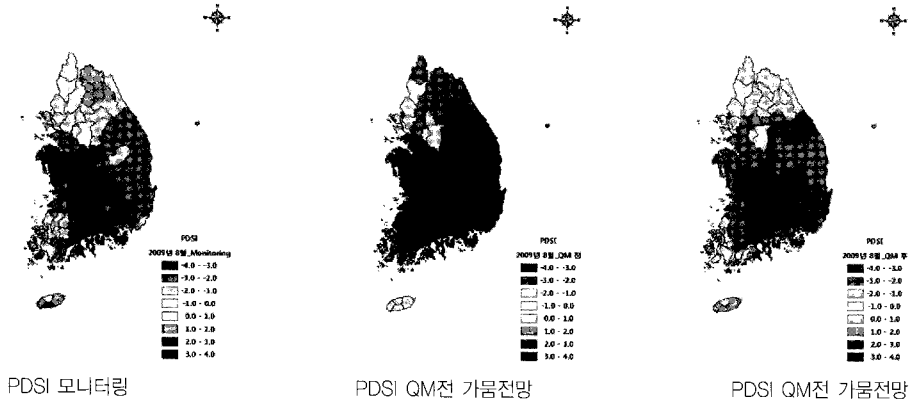


그림 9. 2009년 8월의 PDSI 지수 비교

4. 결론

APCC에서 생산하고 있는 계절예측자료를 가뭄 모니터링시스템의 자료입력 포맷에 따라 적절히 가공한 뒤, 가뭄 관리 및 전망을 위하여 SPI(Standard Precipitation Index) 및 PDSI (Palmer Drought Severity Index)지수의 입력 자료로 사용하여 2009년 6월에 대한 SPI 및 PDSI 지수를 산정하였다. 또한 분위사상법(Quantile Mapping)을 이용하여 과거 관측값을 기반으로 가뭄 전망을 위한 기상변수의 오차를 보정한 결과 온도는 큰 변화가 없었지만 강우의 경우 오차보정을 한 후 가뭄지수를 산정했을 때 현재 가뭄모니터링 시스템과 유사한 결과를 나타냄으로서 Mapping효과가 큰 것을 확인할 수 있었다.

가뭄지수도를 분석해 본 결과 2009년 홍수기의 SPI 6개월 지수의 경우 모니터링결과 대부분의 지역에서는 가뭄이 해갈된 것으로 보이며, 일부지역

에서는 약간 건조한 상태를 나타내고 있으나 PDSI 지수의 경우에는 여전히 남부지방을 중심으로 가뭄 상황이 심각한 것으로 나타나고 있다. 이는 PDSI 지수의 경우 기존의 축차식 형태의 공식이 89.7%의 자기상관관계를 가지면서 가뭄이 심각했던 2008년 가을가뭄에 대한 영향이 지속되고 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.

또한 APCC 계절예측정보를 기반으로 강우 및 온도에 대하여 분위사상법을 통한 오차보정을 실시하여 가뭄 전망에 대한 신뢰도를 높인다면, 가뭄에 대한 사전예방 및 피해완화로 실제 가뭄상황에 대한 신속한 대처 및 피해의 경감이 이루어질 수 있을 것이다. ☹

참고문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사(2005). 가뭄관리모니터링체계 수립
2. 건설교통부, 한국수자원공사(2008). 가뭄정보시스템(물공급 Guideline 중심으로)
3. 한국수자원공사(2002). 가뭄관리 종합대책 수립연구
4. Kang, H, C.-K. Park, N. H. Saji, and K. Ashok(2009) Statistical downscaling of precipitation in Korea using multimodel output variables as predictors , MonthlyWeatherReview, 137, 1928-1938

