



Estimation and assessment of long-term drought outlook information using the long-term forecasting data

So, Jae-Min^a · Oh, Taesuk^b · Bae, Deg-Hyo^{a*}

^aDepartment of Civil and Environmental Engineering, Sejong University

^bClimate Extremes Analysis and Assessment Team, Korea Meteorological Administration

Paper number: 17-059

Received: 17 July 2017; Revised: 4 September 2017; Accepted: 4 September 2017

Abstract

The objective of this study is to evaluate the long-term drought outlook information based on long-term forecast data for the 2015 drought event. In order to estimate the Standardized Precipitation Index (SPI) for different durations (3-, 6-, 9-, 12-months), we used the observation precipitation of 59 Automated Synoptic Observing System (ASOS) sites, forecast and hindcast data of GloSea5. The Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis and statistical analysis (Correlation Coefficient, CC; Root Mean Square Error, RMSE) were used to evaluate the utilization of drought outlook information for the forecast lead-times (1~6months). As a result of ROC analysis, ROC scores of SPI(3), SPI(6), SPI(9) and SPI(12) were estimated to be over 0.70 until the 2-, 3-, 4- and 5-months. The CC and RMSE values of SPI(3), SPI(6), SPI(9) and SPI(12) for forecast lead-time were estimated as (0.60, 0.87), (0.72, 0.95), (0.75, 0.95) and (0.77, 0.89) until the 2-, 4-, 5- and 6-months respectively.

Keywords: Long-term drought, GloSea5, Drought outlook, Meteorological drought index

장기예보자료를 활용한 장기 가뭄전망정보 산정 및 평가

소재민^a · 오태석^b · 배덕효^{a*}

^a세종대학교 건설환경공학과, ^b기상청 이상기후팀

요 지

본 연구에서는 장기예보자료 기반의 장기 가뭄전망정보를 산정하고, 2015년 가뭄사상을 대상으로 활용성을 평가하였다. 이를 위해 ASOS 59개 지점의 관측강수량, GloSea5의 미래예측 및 과거재현 자료를 활용하였으며, 다양한 지속기간(3, 6, 9, 12개월)에 대한 SPI를 산정하였다. 또한 예보선행시간(1~6개월)에 따른 SPI와 관측자료 기반의 SPI 간의 ROC (Receiver Operating Characteristic) 및 통계적 분석(상관계수, 평균제곱근오차)을 수행하여 전망정보의 활용성을 평가하였다. ROC 분석결과, SPI(3)는 2개월, SPI(6)은 3개월, SPI(9)는 4개월, SPI(12)는 5개월까지 ROC score 약 0.70 이상으로 산정되었다. 예보선행시간별 상관계수 및 평균제곱근오차의 경우, 2개월 선행시간 SPI(3)은 0.60, 0.87, 4개월 선행시간 SPI(6)은 0.72, 0.95, 5개월 선행시간 SPI(9)는 0.75, 0.95, 6개월 선행시간 SPI(12)는 0.77, 0.89로 상관계수는 높게, 평균제곱근오차는 낮게 산정되어 활용성이 있는 것으로 판단된다.

핵심용어: 장기가뭄, GloSea5, 가뭄전망, 기상학적 가뭄지수

*Corresponding Author. Tel: +82-2-3408-3814
E-mail: dhbae@sejong.ac.kr (D.-H. Bae)

1. 서론

가뭄은 강수량 부족에 따른 물수지 불균형 현상으로 장기간 넓은 지역에서 발생한다. 따라서 가뭄을 감지하더라도 구체적인 발생 시기, 장소 및 원인을 규명하는 것이 어려우며, 장기간 지속될 경우 물부족 발생과 인명 및 재산피해를 초래하는 경우가 있다. 우리나라는 보통 2~3년을 주기로 국지적인 가뭄, 5~7년을 주기로 극심한 가뭄이 발생한다. 2014년에는 마른장마의 영향으로 중부지방에 가뭄이 발생하였으며, 여름철 강수부족은 2015년 봄가뭄에 영향을 미쳤다. 이로 인해 소양강 댐은 역대 최저수위를 기록하였으며, 일부 지역에서는 제한급수, 농업용수 부족 등의 피해가 발생한 바 있다.

일반적으로 가뭄은 강수량 부족에서 시작되어 토양수분, 하천유량에 영향을 미치며, 가뭄발생 원인에 따라 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄으로 정의하고 있다(Wilhite and Glantz, 1985). 기상학적 가뭄은 농업적 및 수문학적 가뭄에 영향을 미치므로 가뭄을 판단하는데 있어 중요한 요소라 할 수 있다. 기상학적 가뭄을 정량적으로 판단하기 위해 SPI (Standardized Precipitation Index), PDSI (Palmer Drought Severity Index), PN (Percentile Normal) 등이 활용되고 있으며, 특히 강수량 기반의 SPI는 계산과정이 쉽고, 다양한 지속기간(3, 6, 9, 12개월 등)에 따라 객관적으로 가뭄을 판단할 수 있어 가장 활발하게 이용되고 있다(Mckee *et al.*, 1993).

가뭄은 홍수와 달리 통상 장기간에 걸쳐 광범위하게 발생하는 특징이 있어 이를 사전에 감지할 수 있다면 피해를 최소화하는데 시간적인 여유가 있다. 가뭄관리 선진국들은 가뭄전망을 위한 다양한 기술들을 개발해 왔다. 가뭄전망은 통계적(statistical) 방법 및 물리적(dynamic) 방법으로 구분된다. 통계적 기반의 가뭄전망 기법은 과거 기상 현상들이 미래에도 재현될 수 있다는 전제하에 미래 가뭄상황을 예측하는 방법으로 다양한 통계모델을 이용한다. 그러나 이 방법은 예측된 결과들이 과거의 경향에 국한됨에 따라 최근 급변하는 수문기상 현상을 고려하는데 한계가 있다(Trenberth, 1984). 물리적 기반의 가뭄전망 기법은 초기 기상조건으로부터 역학적 알고리즘이 탑재된 기후모델을 통해 미래 기상현상을 예측함으로써 가뭄상황을 전망하는 방법이다. 통계적 방법과는 달리 물순환 변화의 예측이 가능하다는 장점이 있어 그동안 많은 연구가 진행되어 왔다.

미국 CPC (Climate Prediction Center)는 MRF (Medium Range Forecast) 모델과 MOM3 (Modular Ocean Model version 3) 모델을 결합한 CFS (Climate Forecast System)로 SPI, PDSI 등을 생산하여 월별 및 계절별 가뭄전망정보를 제

공하고 있다. Yuan *et al.* (2011, 2013)은 아프리카 전역을 대상으로 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)의 CFSv2 (Climate Forecast System version 2)로부터 생산된 기상예측정보를 활용하여 SPI를 산정하고, 예보선행시간(1~6개월)에 대한 가뭄 예측성을 평가하였다. 또한 CFSv2와 지면모델을 연계한 가뭄전망 시스템을 구축하여 토양수분백분위를 산정하고, SPI와 비교를 통해 가뭄전망에 대한 활용성을 평가한바 있다. Mo and Lyon (2015)는 CGCMs (Coupled ocean-land-atmosphere General Circulation Models)의 기상예측정보를 이용하여 지속기간 3개월 및 6개월 SPI를 산정하고, 예보선행시간에 따른 활용성을 평가한바 있다.

국내의 경우 기상청, 국토교통부, 농림축산식품부 등 가뭄유관 부처에서는 가뭄예정보 운영 체계를 마련하여 기관별 고유 목적에 맞는 가뭄정보를 생산 및 제공하고 있다. 가뭄예정보는 현재 가뭄상황을 판단하고, 향후 3개월 내 예상되는 가뭄 및 용수 부족상황을 제공함으로써 가뭄에 선제적으로 대응하고 피해를 최소화하는데 노력하고 있다. 그 중 기상청은 영국으로부터 도입한 대기와 해양-해빙 결합모델인 GloSea5의 장기예보자료를 활용하여 월(1개월)~계절(3개월) 가뭄전망을 위한 기상학적 가뭄지수를 생산하여 현업에 활용하고 있다. 가뭄전망에 관한 연구로 Kim *et al.* (2012)은 기상예측정보를 활용하여 주단위, 월단위 확률론적 가뭄전망의 가능성을 평가한바 있다. Bae *et al.* (2013)은 UM (Unified Model)과 지면모델을 연계해석하여 기상학적, 농업적 및 수문학적 가뭄전망정보를 평가하였다. Son and Bae (2015)은 수문학적 가뭄전망을 위한 GloSea5의 활용체계를 구축하고, 3개월 예보선행시간에 대한 전망정보의 예측성을 평가한바 있다. 다만 국내에서는 단기가뭄(1~3개월)이 빈번하게 발생함에 따라 짧은 예보선행시간의 가뭄전망에 대한 평가에 집중되어 왔다. 2014, 2015년에는 이례적으로 2년 연속 가뭄이 지속된 바 있으며, 장기가뭄(3개월 이상)에 대한 전망정보의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기상예보자료 기반의 3개월 이상 장기가뭄 전망정보 산정 방법을 제안하고, 2015년 가뭄사상을 대상으로 활용성을 평가하였다.

2. 연구방법

기상예보자료를 활용한 장기 가뭄전망정보의 활용성 평가를 위한 연구수행 절차는 Fig. 1과 같다. 2015년 가뭄사상을 대상으로 가뭄전망정보 산정을 위해 ASOS (Automated Synoptic Observing System) 지점의 관측강수량과 GloSea5

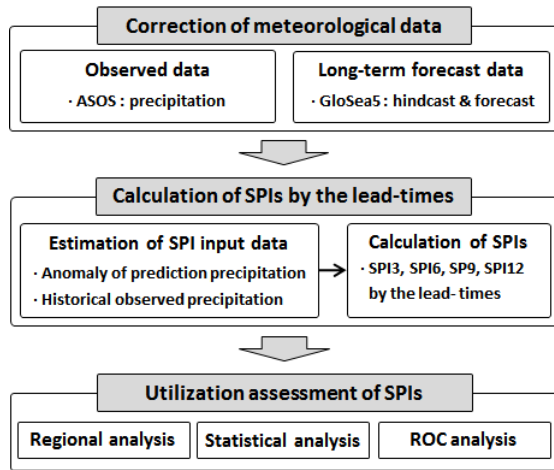


Fig. 1. Method of this study

의 기상예보자료(예측강수량)를 수집한다. GloSea5 예보자료를 내삽 기법을 통해 ASOS 지점에 대한 공간적 상세화를 수행하고, 예보선행시간에 따른 아노말리(Anomaly)를 산정한다. 산정된 아노말리는 과거 관측강수량과 결합하여 다양한 지속기간(3, 6, 9, 12개월)에 대한 SPI 입력자료를 구축한다. 2015년을 대상으로 1~6개월 선행시간에 대한 지속기간별 SPI를 산정한 후 관측강수량 기반의 SPI와 지역별 분석을 통해 2015년 가뭄사상의 재현성을 평가한다. SPI의 전망정보에 대한 가뭄판단 유무를 정성적으로 평가하기 위해 ROC (Receiver Operating Characteristics) 분석을 수행한다. 또한 상관관계수(Correlation Coefficient, CC) 및 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 산정하여 SPI 값에 따른 정확도를 평가한다.

2.1 표준강수지수

Mckee et al. (1993)은 가뭄은 상대적으로 물수요에 비해 물부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 점에 착안하여 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)를 개발하였다. SPI는 강수부족에 대한 확률적 특성을 적용한 것으로 특정한 기간에 대해 지속기간을 3, 6, 9, 12개월 등과 같이 설정가능하며, 지속기간별 강수 부족량을 산정하여 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄을 간접적으로 평가할 수 있다. 지속기간 1~3개월 SPI는 단기간의 강수량을 고려함으로써 기상학적 가뭄, 지속기간 4~6개월 SPI는 토양수분 및 지하수 부족으로 발생하는 농업적 가뭄, 지속기간 7~12개월 SPI는 하천유량 부족으로 발생하는 수문학적 가뭄을 평가하는데 활용되어 왔다(Hayes et al., 2011; Vicente-Serrano et al., 2012; Stagge et al., 2015).

Table 1. Classification range for SPI values (Mckee et al., 1993)

Values	Drought classification
2.00 ≤ SPI	Extremely wet
1.99 ~ 1.50	Very wet
1.49 ~ 1.00	Moderately wet
0.99 ~ -0.99	Near normal
-1.00 ~ -1.49	Moderate dry
-1.50 ~ -1.99	Severe dry
-2.00 ≥ SPI	Extremely dry

SPI는 30년 이상의 월 강수자료를 바탕으로 시간단위별 누가강수 시계열을 구성한 후, 적정 확률분포형을 통해 산정된다. 일반적으로 강수자료의 확률분포형은 2변수 Gamma 분포를 이용한다. 월별 확률분포로부터 산정된 누가확률과 표준정규분포의 누가확률이 같은 값을 찾아 표준정규분포상의 변수(X축)에 해당하는 값을 지수로 이용한다. SPI 값의 범위에 따라 Extremely wet에서 Extremely dry로 구분하며, 통상 -1 이하를 가뭄으로 정의한다(Table 1).

2.2 GloSea5 모델

기상청은 2010년 6월 영국 기상청과 계절예측시스템의 공동구축 및 운영에 관한 협정을 체결하였으며, 현업 예보를 위해 기후예측 모델인 GloSea5를 도입하여 현재 운영 중에 있다. 이 모델은 영국 기상청의 최신 계절예측시스템에 사용되고 있으며, 기후모델인 HadGEM3 (Hadley Centre Global Environment Model version 3)을 기반으로 구축되었다. HadGEM3는 대기, 해양, 해빙 및 지표모델들이 하나로 합쳐진 전지구 결합 모델(Coupled General Circulation Model, CGCM)로써 대기모델은 UM (Unified Model), 지표모델은 MOSES (Met Office Surface Exchange Scheme)가 결합되어 있다(Essery et al., 2003). 해양과 해빙모델은 각각 NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean), CICE (Los Alamos sea ice model)모델을 사용한다(Madec, 2008; Hunke and Lipscomb, 2008). 각 모델들은 대기-해양 플럭스 교환을 위해 Valcke (2011)이 개발한 OASIS 커플러에 의해 결합되어 있다. 대기모델의 수평해상도는 0.83° × 0.56°, 해양 모델의 수평 해상도는 tri-polar 격자에서 0.25° (약 25 km)이고, 연직으로는 L75의 해상도를 가진다. Table 2는 GloSea5에 대한 주요 특징을 나타낸 것이다. GloSea5의 과거재현(Hindcast, HCST) 자료는 매달 1일, 9일, 17일, 25일 마다 초기장을 입력하여 생산되며, 각 출발일에는 모델의 물리과정을 달리하는 방법으로 확률적 운동에너지 후방 산란법(Stochastic Kinetic

Table 2. Characteristics and Information of GloSea5

		Major characteristics and informations
Composition of model	Atmosphere	• UM (v8.0)
	Ocean	• NEMO (v3.2) - CICE (v4.1)
	Copuler	• OASIS3
Spatial resolution	Atmosphere	• N216 (0.83° × 0.56°)
	Ocean	• ORCA tri-polar grid at 0.25°
Initial input data	Atmosphere	• Hindcast: ERA interim • Forecast: KMA numerical analysis field
	Ocean	• Hindcast: Seasonal ODA reanalysis • Forecast: NEMO VAR
Production period of data and ensemble number		• Hindcast: - Fixed start dates of 1st, 9th, 17th, 25th of each month - 3 members run per start date • Forecast: - 2 members run each day

Energy Backscatter 2, SKEB2)을 이용하여 대기 분석장과 해양 및 해빙 초기장으로부터 3개의 앙상블 멤버를 생산한다 (Bowler *et al.*, 2009). 자료생산 기간은 1996년부터 2009년 (총 14년)이며, 각 앙상블 멤버당 7개월간 모델적분이 진행된다. 미래예측자료(Forecast, FCST)는 HCST와 동일한 방식으로 매일 적분이 진행되며 매 초기장마다 2개의 앙상블 멤버가 생산된다.

2.3 장기 가뭄전망 방법

기상학적 가뭄전망을 위해서는 해당 시점이 미래이기 때문에 지속기간에 대한 누적 강수량을 계산하는 방안이 요구된다. 또한 자료기간도 과거 30년 이상의 강수량 자료를 필요로 하지만 GloSea5의 경우 과거재현자료(HCST) 기간이 14년 (1996~2009년)으로 가뭄지수를 산정하기에는 기간이 짧고

관측 자료기간과 달라 이를 처리할 수 있는 방법이 필요하다.

Yoon *et al.* (2012)은 SPI를 활용한 가뭄전망을 위해 기후모델로부터 강수량의 아노말리를 계산하고 과거 관측강수량의 평균값에 이를 더하여 최종 활용한바 있다. 기상 관측자료와 예측자료의 결합하여 활용하는 방법은 가뭄전망의 정확도를 향상시키는 주요 요인이 될 수 있으며, 여러 문헌에서 활용성을 제시한바 있다(Yuan *et al.*, 2013; Son *et al.*, 2015). 본 연구에서는 예보선행시간에 따른 예측강수량을 산정하기 위해 Eqs. (1) and (2)를 사용하였다. 특정 *i*월에 대한 *j*개월 예보시간에 해당하는 예측강수량($PP_{i,j}$)은 Eq. (1)을 통해 과거재현자료(HCST)의 앙상블 멤버(168개)를 평균한 $\overline{HCST_P}_{e(i,j)}$ 와 금회 예보된 미래예측자료(FCST)의 앙상블 멤버(60~62개)를 평균한 $\overline{FCST_P}_{e(i,j)}$ 의 $Anomaly_{i,j}$ 을 계산한다. 그 후 Eq. (2)와 같이 과거 30년(1981~2010년) 평균 $\overline{HP}_{i,j}$ 에 더하여 최종 예측강수량($PP_{i,j}$)을 계산한다.

$$Anomaly_{i,j} = \overline{FCST_P}_{e(i,j)} - \overline{HCST_P}_{e(i,j)} \tag{1}$$

$$PP_{i,j} = \overline{HP}_{i,j} + Anomaly_{i,j} \tag{2}$$

Figs. 2(a) and 2(b)는 지속기간 3개월 및 6개월 SPI의 관측 및 예측강수량의 활용 방법과 예보선행시간(3~6개월)에 대한 지속기간 3개월 SPI를 예로써 도시한 것이다. 지속기간 및 선행시간에 따른 SPI의 입력자료 산정은 Eq. (3)과 같다. 여기서, *n*은 SPI의 지속기간 3, 6, 9, 12개월, *i*는 특정 월, *j*는 예보선행시간 1~6개월, *HP*는 과거 관측강수량, *PP*는 예측강수량을 의미한다. 예를 들어 SPI의 지속기간이 6개월이고, 특정 월에 대한 예보선행시간 1개월의 전망정보를 생산하고자 한

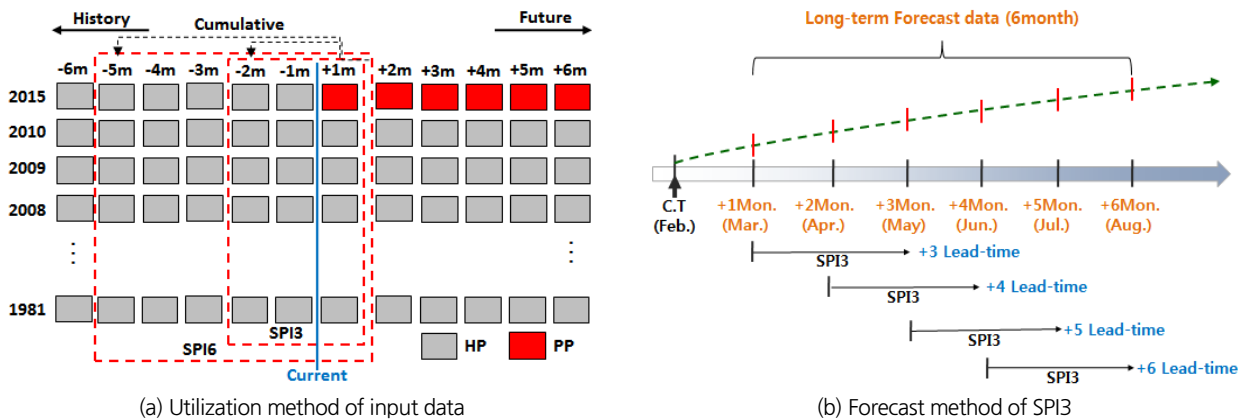


Fig. 2. Utilization method of input data for drought outlook

다면, 예보시점을 기준으로 과거 5개월은 *HP* 이후 1개월은 *PP*, 2개월 전망에서는 과거 4개월은 *HP* 이후 2개월은 *PP*가 활용된다.

$$Input_SPI_{i,j}(n) = \sum_{k=-(n-j)}^0 HP_{i,k} + \sum_{k=0}^j PP_{i,k} \quad (3)$$

2.4 가뭄전망 정확도 평가방법

지속기간별 SPI 전망정보에 대한 정성적 정확도 평가를 위해 ROC (Receiver Operating Characteristic) 분석을 이용하였다. ROC 분석은 특정 수치를 X, Y좌표로 나타내어 이를 확률적 근거를 통해 가장 높은 확률을 가지는 분류를 찾아내는 방법으로 주로 기상분야에서 확률예보의 정성적 검증에 활용되는 기법이다(Mason, 1982; Wilks, 1995). ROC 분석은 Fig. 3과 같이 크게 “감시 결과(Monitoring result)”와 “예보 결과(Prediction result)”로 구성된 표를 이용하며, “진실(Yes)”과 “거짓(No)”에 의해 2가지로 세부 분류된다.

만약 특정 사건이 발생한다고 관측될 경우 예보결과에서도 사건이 발생하면 “성공(Hit, H)”, 그렇지 않으면 “잘못된 경고(Missing, M)”로 나타내며, 사건이 발생하지 않을 경우 예보결과에서 사건이 발생하면 “실패(False, F)”, 그렇지 않으면 “음의성공(Negative hit, N)”으로 정의한다. 이중 Hit와 Negative hit의 경우는 각각 “Yes”와 “No”로만 이루어진 참값으로 판단하고, False와 Missing은 거짓값으로 정의한다. 또한 분류된 4요소를 이용하여 적중률(Hit Rate, HR), 비적중률(False Alarm Rate, FAR), 정확도(Accuracy, ACC) 및 ROC score를 평가하며, 산정 식은 다음과 같다. 일반적으로 ROC score가 1.0일 경우 완벽한 예보, 0.5 이하일 경우 예측성이 없다고 간주한다.

$$Hit\ rate\ (HR) = H / (H + M) \quad (4)$$

$$False\ alarm\ rate\ (FAR) = F / (F + N) \quad (5)$$

$$Accuracy\ (ACC) = (H + N) / (H + F + M + N) \quad (6)$$

		Monitoring result	
		Yes	No
Prediction result	Yes	Hit (H)	False (F)
	No	Missing (M)	Negative hit (N)

Fig. 3. ROC Table

지속기간 및 예보선행시간에 따른 SPI_p 와 SPI_o 의 평균적 차이 및 거동을 정량적으로 평가하고자 상관계수(Correlation Coefficient, CC), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 이용하였으며, 각각 Eqs. (7) and (8)과 같다. CC는 감시와 전망정보의 표준편차의 비율을 이용하여 크기와 모양의 일치 정도를 동시에 평가할 수 있는 무차원계수이며, RMSE는 자료의 개수에 무관하고 차원이 해석하고자 하는 변량과 같은 차원을 갖는 지표로 가뭄감시 및 전망정보의 평균적으로 발생하는 오차를 의미한다(Son et al., 2015). 가뭄정보의 CC가 +1에 가까울수록, RMSE가 0에 가까울수록 가뭄전망정보의 정확도가 높다고 평가된다.

$$CC = \frac{\frac{\sum\{SPI_o(n) \times SPI_p(n)\}}{m} - \frac{\sum SPI_o(n)}{m} \times \frac{\sum SPI_p(n)}{m}}{SD1 \times SD2} \quad (7)$$

$$where, \quad SD1 = \sqrt{\left| \frac{\sum\{SPI_o(n)\}^2}{m} - \left\{ \frac{\sum SPI_o(n)}{m} \right\}^2 \right|}$$

$$SD2 = \sqrt{\left| \frac{\sum\{SPI_p(n)\}^2}{m} - \left\{ \frac{\sum SPI_p(n)}{m} \right\}^2 \right|}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (SPI_o(n) - SPI_p(n))^2}{m}} \quad (8)$$

여기서, n 은 SPI의 지속기간, $SPI_o(n)$ 은 관측강수량 자료 기반의 SPI, $SPI_p(n)$ 은 기상예보자료 기반의 SPI, m 은 자료의 개수이다.

3. 기상자료 수집

Fig. 4는 기상청 관할 ASOS 지점 및 GloSea5의 해상도를 도시한 것이다. 통상 SPI를 산정하기 위해서는 30년 이상의 자료가 필요하다. 본 연구에서는 관측강수량 자료 기반의 가뭄지수를 산정하기 위해 59개 ASOS 지점을 선정하였으며, 평년(1981~2010년)을 고려한 1981~2015년 기간의 자료를 활용하였다. GloSea5 자료는 0.83° (약 85 km) × 0.56° (약 55 km)의 해상도를 갖는 격자 기반으로 생산되며, 국내에 포함되는 격자수는 33개이다. ASOS 지점에 대한 예측강수량을 산정하기 위해 이중선형보간(bilinear interpolation) 기법을 이용하였다(Singh, 1996).

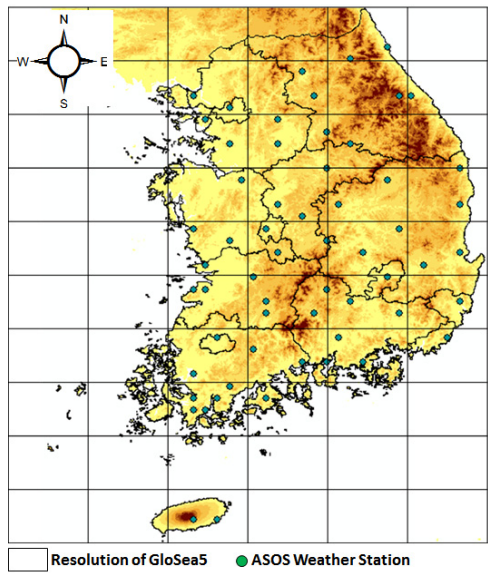


Fig. 4. Spatial resolution of GloSea5 and ASOS weather stations

4. 결과 및 분석

4.1 관측자료 기반 SPI 산정 및 평가

본 연구에서는 장기 가뭄전망정보에 대한 활용성 평가를 위해 59개 ASOS 지점에 대한 관측강수량 기반 SPI_t 를 산정하고, 이를 Barnes 객관분석 기법(Barnes, 1964)을 이용하여 가뭄분포도를 작성하였다. 또한 지역별 가뭄상황을 언론 및 매스컴에서 보도된 가뭄피해자료(강수량 부족, 댐 및 저수지 저수율 부족, 제한급수 등)와 비교하였다(Fig. 5). 2015년에 대한 가뭄피해자료는 3월을 시작으로 4월 제외한 11월까지 지속적으로 발생하였으며, 6월 중부지역(경기, 강원, 충청)에

집중적으로 발생하였다. $SPI_t(3)$ 은 3월 경기 및 강원지역의 가뭄상황을 반영하였으나 가뭄피해자료가 급증한 6월과 달리 중부지역의 가뭄상황을 보통가뭄 수준으로 나타냈다. 7월부터 전국으로 확장된 가뭄상황을 가뭄피해자료와 동일하게 나타냈으며, 11월은 평년보다 많은 강수량으로 인해 해갈되는 것으로 나타났다. $SPI_t(6)$ 은 3월 지역별 가뭄상황을 반영하지 못하였으나, 5월 경기 및 강원지역을 시작으로 7월부터 전국의 가뭄상황을 반영하였다. 또한 $SPI_t(3)$ 와 달리 11월 지역별 가뭄상황을 반영하였으며, 12월까지 지속되는 것으로 나타났다. $SPI_t(9)$ 및 $SPI_t(12)$ 는 1월 중부지역을 가뭄상황으로 나타냈으며, 12월까지 가뭄이 지속되는 것으로 나타났다. 2015년에 대한 가뭄피해자료와 지속기간별 SPI_t 를 분석한 결과 가뭄의 시작은 $SPI_t(3)$, 가뭄의 지속 및 해갈은 $SPI_t(6)$, $SPI_t(9)$ 가 적절하게 반영하는 것으로 나타났다. 반면 $SPI_t(12)$ 는 2014년 강수량의 영향으로 인해 지역별 가뭄상황이 지속되는 것으로 나타나 일부 월의 가뭄상황을 적절하게 반영하지 못하였다.

4.2 장기에보자료 기반 SPI 산정 및 평가

Fig. 6은 2015년 6~12월에 대한 SPI_t 와 예보선행시간별 SPI_t 를 도시한 것이다. 예보선행시간 1개월 $SPI_t(3)$ 은 $SPI_t(3)$ 과 달리 6, 7월 가뭄상황을 전망하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 5, 6월 관측강수량이 평년대비 적었음에도 불구하고, GloSea5의 7월 예측강수량이 관측강수량에 비해 과대 산정되어 나타난 것으로 판단된다. 반면 8~10월에는 $SPI_t(3)$ 과 동일하게 지역별 가뭄상황을 적절히 전망하였으며, 11월 전국적으로 해갈되는 것으로 나타났다. 예보선행시간 2개월

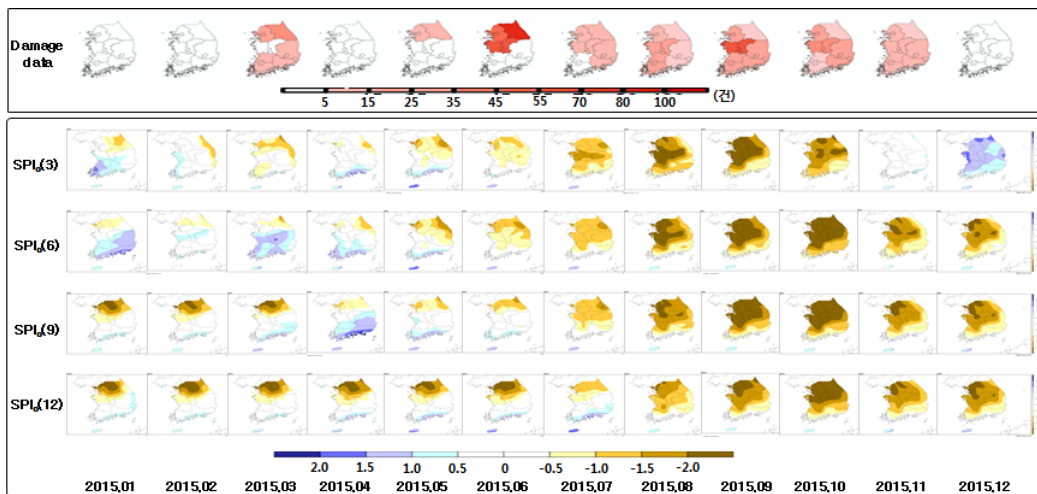


Fig. 5. Drought distribution map of damage data and monitoring information

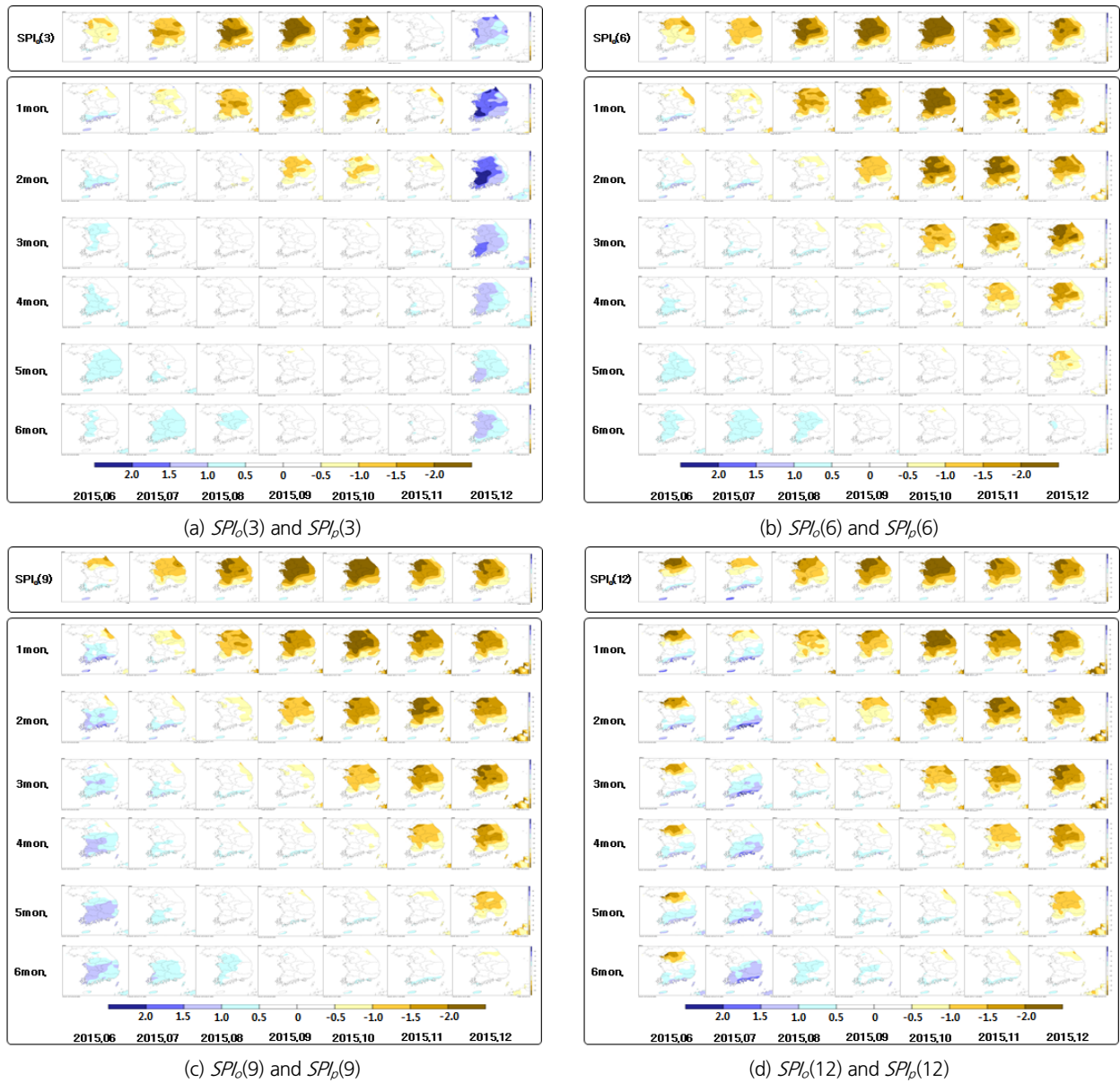


Fig. 6. Drought distribution map of monitoring and outlook information

$SPI_p(3)$ 은 9, 10월 가뭄상황을 일부 전망하였으며, 예보선행 시간 3개월 이후의 $SPI_p(3)$ 은 지역별 가뭄상황을 전망하지 못하는 것으로 나타났다. 다만 가뭄이 해갈된 11월 이후부터는 $SPI_o(3)$ 과 동일하게 전국을 습윤상태로 전망하였다. $SPI_p(6)$ 은 8월부터 지역별 가뭄상황을 전망하는 것으로 나타났으며, 가뭄이 지속될 경우 예보선행시간 4개월까지 전망정보의 활용성이 높은 것으로 확인되었다. 또한 $SPI_p(9)$ 는 $SPI_p(6)$ 과 동일하게 8월부터 지역별 가뭄상황을 적절히 전망하였으며, 12월에는 예보선행시간 5개월까지 가뭄상황을 전망하는 것으로 나타났다. $SPI_p(12)$ 는 6월의 경우 예보선행시간 6개월

까지 중부지역의 가뭄상황을 전망하는 것으로 나타났으며, 7월 이후부터는 $SPI_p(9)$ 와 유사한 것으로 나타났다.

4.3 가뭄전망정보의 활용성 평가

2015년 가뭄전망정보에 대한 활용성을 평가하기 위해 SPI_o 및 SPI_p 로부터 ROC 분석을 수행하였다. 이를 위해 예보 선행시간별 정확도(ACC), 적중률(HR)과 비적중률(FAR)로부터 ROC score를 산정하였으며, 산정결과는 Fig. 7과 같다. SPI_o 및 SPI_p 가 모두 가뭄일 경우와 아닐 경우의 횟수를 바탕으로 산정되는 ACC는 지속기간 3, 6, 9, 12개월 모두 선행시간

3개월까지 0.73~0.94로 산정되었으며, $SPI_p(12)$, $SPI_p(9)$, $SPI_p(6)$, $SPI_p(3)$ 순으로 높게 나타났다. 지속기간별 SPI_p 의 ROC score의 경우 $SPI_p(3)$ 은 0.50~0.75, $SPI_p(6)$ 은 0.53~0.86, $SPI_p(9)$ 는 0.64~0.90, $SPI_p(12)$ 는 0.71~0.93으로 산정되었으며, 각각 선행시간 2개월(0.68), 3개월(0.69), 4개월

(0.73), 5개월(0.74) 까지 예측성이 높은 것으로 나타났다.

Table 3은 2015년 동안 월별 SPI_p 에 대한 CC 및 RMSE 산정 결과를 나타낸 것이다. 선행시간별 $SPI_p(3)$ 의 평균 CC는 0.17~0.85로 선행시간 1개월(0.85), 2개월(0.60)까지 $SPI_p(3)$ 와 상관성이 높은 것으로 나타났다. 3개월 이상부터는 상관성

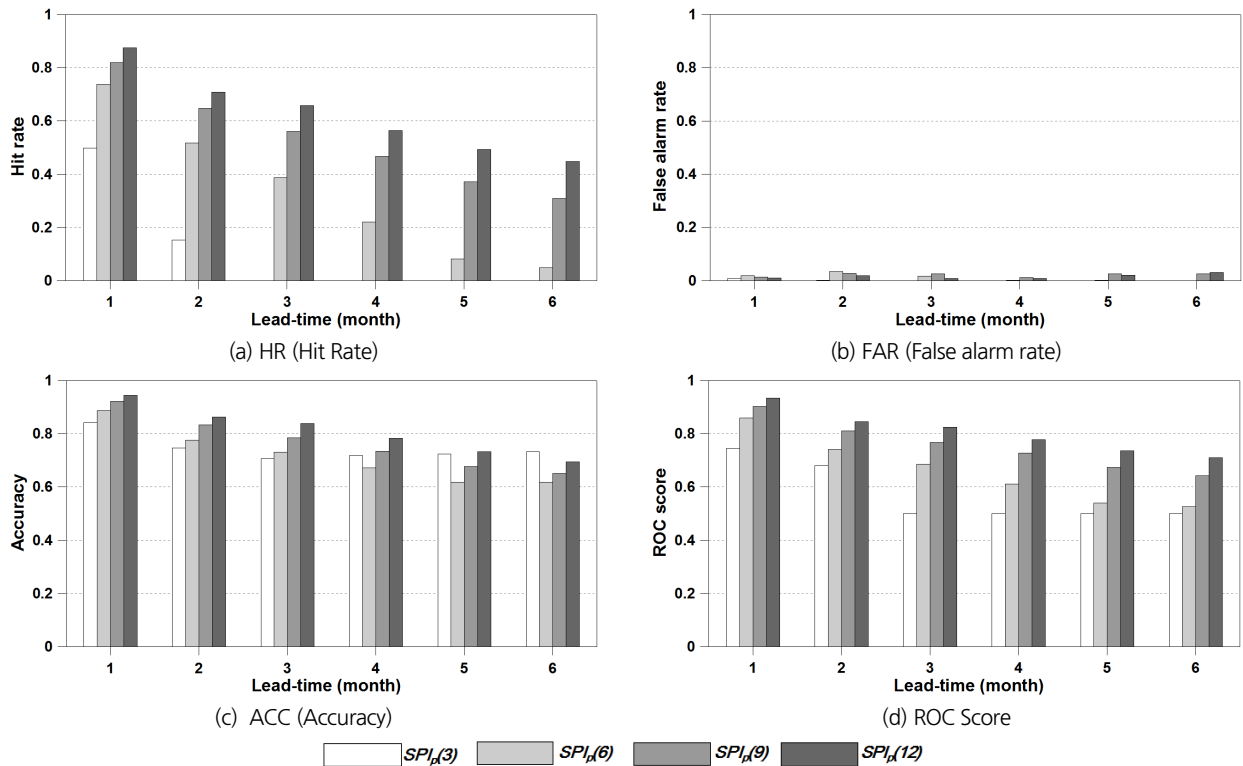


Fig. 7. Result of ROC Analysis for SPIs

Table 3. CC and RMSE of SPIs by the forecast lead-time for 2015

SPI(3)	CC						RMSE					
	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m
Jan.	0.98	0.79	0.06	-0.07	-0.05	-0.30	0.29	0.51	1.16	0.74	1.12	1.11
Feb.	0.89	0.61	0.03	0.00	0.30	-0.04	0.29	0.89	0.74	1.28	1.29	1.80
Mar.	0.86	0.49	0.35	0.29	-0.12	-0.71	0.54	0.64	1.08	1.17	1.60	2.11
Apr.	0.68	0.37	-0.34	-0.24	-0.32	0.05	0.55	1.06	1.15	1.54	1.83	1.91
May	0.96	0.85	0.20	0.16	0.21	0.46	0.76	1.06	1.47	1.73	1.78	1.49
Jun.	0.87	0.65	-0.07	0.40	0.47	0.09	0.79	1.37	1.81	1.85	1.53	0.44
Jul.	0.83	0.01	-0.08	-0.53	-0.21	0.29	0.79	1.53	1.86	1.69	0.44	0.46
Aug.	0.91	0.95	0.67	0.15	0.09	0.73	0.53	1.01	1.34	0.42	0.51	0.27
Sep.	0.98	0.88	0.04	0.24	0.76	0.80	0.48	0.82	0.42	0.45	0.25	0.50
Oct.	0.98	0.57	0.11	0.73	0.79	0.22	0.30	0.49	0.51	0.27	0.43	0.68
Nov.	0.39	0.26	0.77	0.79	0.59	0.24	0.47	0.79	0.24	0.39	0.61	1.03
Dec.	0.84	0.78	0.80	0.36	0.16	0.27	0.54	0.26	0.45	0.65	1.10	0.87
AVE	0.85	0.60	0.21	0.19	0.22	0.17	0.53	0.87	1.02	1.01	1.04	1.06

Table 3. CC and RMSE of SPIs by the forecast lead-time for 2015 (Continue)

SPI(6)	CC						RMSE					
	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m
Jan.	1.00	0.95	0.89	0.76	0.36	-0.13	0.04	0.31	0.59	0.61	1.15	1.34
Feb.	0.96	0.93	0.84	0.58	0.55	0.04	0.21	0.45	0.52	1.15	1.41	1.65
Mar.	0.97	0.87	0.66	0.62	0.30	-0.72	0.25	0.47	0.92	1.18	1.39	2.09
Apr.	0.92	0.66	0.57	0.38	-0.03	-0.10	0.40	0.92	1.06	1.33	1.82	1.95
May	0.96	0.89	0.71	0.64	0.63	0.42	0.62	0.98	1.28	1.69	1.83	2.09
Jun.	0.91	0.82	0.71	0.76	0.70	0.01	0.73	1.18	1.58	1.78	2.05	1.65
Jul.	0.92	0.71	0.69	0.48	-0.07	-0.34	0.67	1.34	1.53	1.78	1.39	1.61
Aug.	0.96	0.97	0.96	0.89	0.89	0.99	0.45	0.79	0.96	0.61	0.76	0.26
Sep.	0.99	0.98	0.94	0.95	0.99	0.93	0.37	0.53	0.26	0.34	0.26	0.27
Oct.	1.00	0.94	0.95	0.99	0.93	0.62	0.17	0.32	0.25	0.26	0.23	0.41
Nov.	0.91	0.90	0.99	0.93	0.67	0.09	0.32	0.36	0.22	0.21	0.44	0.74
Dec	0.99	0.99	0.93	0.65	0.08	0.71	0.17	0.28	0.25	0.50	0.69	0.81
AVE	0.96	0.88	0.82	0.72	0.50	0.21	0.37	0.66	0.79	0.95	1.12	1.24
SPI(9)	CC						RMSE					
	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m
Jan.	1.00	0.99	0.99	0.98	0.74	0.52	0.06	0.11	0.16	0.25	0.70	1.19
Feb.	1.00	0.99	0.98	0.78	0.68	0.49	0.08	0.12	0.22	0.69	1.26	1.52
Mar.	1.00	0.99	0.85	0.72	0.55	-0.32	0.07	0.19	0.55	1.07	1.28	1.95
Apr.	0.99	0.85	0.72	0.59	0.16	0.36	0.16	0.54	0.96	1.22	1.70	1.88
May	0.97	0.89	0.78	0.63	0.69	0.72	0.34	0.91	1.16	1.57	1.76	1.85
Jun.	0.93	0.85	0.70	0.78	0.81	0.67	0.71	1.08	1.47	1.71	1.81	1.49
Jul.	0.93	0.68	0.73	0.72	0.61	0.56	0.59	1.24	1.47	1.58	1.26	1.37
Aug.	0.95	0.97	0.97	0.93	0.94	1.00	0.42	0.76	0.84	0.55	0.64	0.18
Sep.	0.99	0.99	0.97	0.97	1.00	0.99	0.35	0.46	0.23	0.29	0.18	0.13
Oct.	1.00	0.97	0.97	1.00	0.99	0.99	0.14	0.28	0.20	0.18	0.12	0.17
Nov.	0.94	0.95	1.00	0.99	0.99	0.91	0.29	0.30	0.15	0.11	0.17	0.52
Dec	1.00	1.00	0.99	0.99	0.91	0.78	0.15	0.19	0.12	0.20	0.49	0.46
AVE	0.97	0.93	0.89	0.84	0.75	0.64	0.28	0.51	0.63	0.78	0.95	1.06
SPI(12)	CC						RMSE					
	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m	+1 m	+2 m	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m
Jan.	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.05	0.11	0.16	0.25	0.37	0.66
Feb.	1.00	1.00	0.99	0.97	0.97	0.88	0.08	0.11	0.22	0.37	0.68	0.98
Mar.	1.00	0.99	0.98	0.98	0.90	0.02	0.06	0.19	0.29	0.57	0.82	1.67
Apr.	0.99	0.98	0.98	0.91	0.34	0.41	0.17	0.29	0.51	0.77	1.45	1.77
May	0.99	0.99	0.93	0.66	0.66	0.76	0.17	0.47	0.73	1.35	1.66	1.73
Jun.	0.99	0.96	0.72	0.76	0.83	0.68	0.36	0.67	1.26	1.62	1.70	1.40
Jul.	0.98	0.73	0.71	0.76	0.62	0.61	0.35	1.05	1.39	1.48	1.19	1.32
Aug.	0.96	0.95	0.97	0.93	0.94	1.00	0.34	0.75	0.78	0.51	0.61	0.16
Sep.	0.99	0.99	0.97	0.97	1.00	1.00	0.39	0.43	0.22	0.28	0.16	0.12
Oct.	1.00	0.97	0.97	1.00	1.00	0.99	0.12	0.26	0.20	0.16	0.11	0.15
Nov.	0.95	0.95	1.00	1.00	0.99	0.97	0.26	0.29	0.13	0.10	0.16	0.40
Dec	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.95	0.14	0.17	0.11	0.18	0.38	0.31
AVE	0.99	0.96	0.93	0.91	0.85	0.77	0.21	0.40	0.50	0.64	0.77	0.89

이 낮은 것으로 나타났으며, 이는 GloSea5 예측강수량을 3개월 누적강수량으로 활용했기 때문인 것으로 판단된다. $SPI_p(6)$ 의 평균 CC는 0.21~0.96으로 선행시간 4개월까지 0.72 이상으로 산정되었으며, 가을철(9~11월)이 0.90~1.00으로 가장 높았다. $SPI_p(9)$ 의 평균 CC는 0.75~0.97로 선행시간 5개월까지 0.75 이상으로 산정되었으며, 가을철(9~11월)에 0.97~0.99로 가장 높았다. $SPI_p(12)$ 의 평균 CC는 0.77~0.99로 선행시간 6개월까지 0.77 이상으로 산정되었으며, 가을철(9~11월) 및 겨울철(12~2월)에 0.93~1.00으로 가장 높았다. 평균 RMSE의 경우 $SPI_p(3)$ 는 0.53~1.06, $SPI_p(6)$ 는 0.37~1.24, $SPI_p(9)$ 는 0.28~1.06, $SPI_p(12)$ 는 0.21~0.89로 산정되었으며, 각각 선행시간 1개월, 2개월, 3개월, 4개월까지 0.70 이하로 SPI_p 와의 상대적인 오차가 작은 것으로 나타났다. SPI_p 는 지속기간이 길수록 CC는 높게, RMSE는 작게 산정되었으며, 2015년 기간에 대한 장기 가뭄전망정보의 예측성은 가을철 및 겨울철에 높은 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는 장기예보자료 기반의 장기 가뭄전망정보 산정 기법을 제안하고, 2015년 가뭄사상을 대상으로 활용성을 평가하였다. 본 연구의 주요 내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기상예보자료 기반의 장기 가뭄전망정보 산정 방법은 ASOS 59개 지점의 관측강수량과 GloSea5의 미래예측 및 과거재현자료의 양상불 멤버를 결합하여 예보선행시간(1~6개월)에 따른 지속기간(3, 6, 9, 12개월)별 SPI를 산정한다.
- 2) 2015년 기간에 대한 관측강수량 기반의 $SPI_p(3, 6, 9, 12)$ 를 산정하고, 언론 및 매스컴에서 보도된 가뭄피해자료와 지역별 가뭄상황을 비교하였다. 가뭄피해자료와 지속기간별 SPI를 분석한 결과, 가뭄의 시작은 $SPI_p(3)$, 가뭄의 지속 및 해갈은 $SPI_p(6)$, $SPI_p(9)$ 가 적절하게 반영하는 것으로 나타났다. 반면 $SPI_p(12)$ 는 2015년 전월에 대하여 지역별 가뭄상황이 지속되는 것으로 나타나 실제 가뭄상황을 적절히 재현하지 못한 것으로 판단된다.
- 3) 장기예보자료 기반의 예보선행시간에 따른 $SPI_p(3, 6, 9, 12)$ 를 산정하고, 관측자료 기반의 $SPI_p(3, 6, 9, 12)$ 와 지역별 분석을 수행하였다. 가뭄이 극심했던 6~11월까지의 전망

정보를 평가한 결과, $SPI_p(3)$ 은 2개월, $SPI_p(6)$ 은 4개월, $SPI_p(9)$ 는 5개월, $SPI_p(12)$ 는 6개월까지 활용성이 있는 것으로 판단된다. 특히 가뭄이 지속되고, 관측강수량이 영향이 클수록 전망정보의 활용성이 높은 것을 확인하였다.

- 4) 장기 가뭄전망정보에 대한 활용성을 평가하기 위해 예보 선행시간별 ROC 분석 및 통계적 분석을 수행하였다. ROC 분석결과, $SPI_p(3)$ 은 2개월, $SPI_p(6)$ 은 3개월, $SPI_p(9)$ 는 4개월, $SPI_p(12)$ 는 5개월까지 0.70 이상의 ROC score가 높게 산정되었다. 평균 CC 및 RMSE의 경우, $SPI_p(3)$ 은 2개월(0.60, 0.87), $SPI_p(6)$ 은 4개월(0.72, 0.95), $SPI_p(9)$ 는 5개월(0.75, 0.95), $SPI_p(12)$ 는 6개월(0.77, 0.89)로 CC는 높게 RMSE는 낮게 산정되었다. 특히 2015년 기간에 대한 가뭄전망정보는 가을철 및 겨울철에 예측성이 높은 것으로 나타났다.

본 연구에서 GloSea5의 기상예보자료를 활용하여 1~6개월 예보선행시간의 $SPI_p(3, 6, 9, 12)$ 를 산정하고, 2015년에 가뭄사상에 대한 활용성을 평가하였다. 최근 3개월 이상 지속되는 가뭄이 빈번하게 발생함에 따라 GloSea5 기상예보자료를 활용한 장기 가뭄전망정보의 활용성을 평가하였다는 측면에서 연구의 가치가 있다고 판단된다. 다만 장기 가뭄전망정보에 대한 평가가 2015년에 국한되어 있어 향후 2016, 2017년에 대한 기상예보자료 수집하고, 가뭄전망정보의 정확도에 대한 지속적인 평가가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상기술개발사업(KMIPA 2015-2070)과 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2011-0030040)을 받아 수행되었습니다.

References

- Bae, D. H., Son, K. H., and Kim, H. A. (2013). "Derivation & evaluation of drought threshold level considering hydro-meteorological data on South Korea." *Atmosphere*, Vol. 46, pp. 289-300.
- Barnes, S. (1964). "A technique for maximizing details in numerical map analysis." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 3, No. 4, pp. 395-409.
- Bowler, N. E., Arribas, A., Beare, S. E., Mylne, K. R., and Shutts, G. J. (2009). "The local ETKF and SKEB: upgrades to the

- MOGREPS short-range ensemble prediction system.” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 135, pp. 767-776.
- Essery, R. L. H., Best, M. J., Betts, R. A., Cox, P. M., and Taylor, C. M. (2003). “Explicit representation of subgrid heterogeneity in a GCM land surface scheme.” *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 4, pp. 530-543.
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., and Widhalm, M. (2011). “The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended.” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 92, No. 4, pp. 485-488.
- Hunke, E. C., and Lipscombe, W. H. (2008). *CICE: the Los Alamos sea ice model documentation and software user’s manual, Version 4.0*.
- Kim, Y. O., Lee, J. K., and Richard, N. P. (2012). “A drought outlook study in Korea.” *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 57, No. 6, pp. 1141-1153.
- Madec, G. (2008). “NEMO ocean engine.” *Institut Piere-Simon Laplace (IPSL)*, France, No. 27.
- Mason, I. B. (1982). “A model for assessment of weather forecasts.” *Australian Meteorological Magazine*, Vol. 30, pp. 291-303.
- 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*. 17-22 January, Anaheim, California.
- Mo, K. C., and Lyon, B. (2015). “Global meteorological drought prediction using the north american multi-model ensemble.” *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 16, pp. 1409-1424.
- Singh, V., and Fiorentino, M. (1996). “Geographical information systems in hydrology.” *Kluwer Academic Publishers*, pp. 175-194.
- Son, K. H., Bae, D. H. and Cheong, H. S. (2015). “Construction & evaluation of GloSea5-based hydrological drought outlook system.” *Atmosphere. Korean Meteorological Society*, Vol. 25, No. 2, pp.271-281.
- Stagge, J. H., Kohn, I., Tallaksen, L. M., and Stahl, K. (2015). “Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe.” *Journal of Hydrology*, Vol. 530, pp. 37-50.
- Trenberth, K. E. (1984) “Some effects of finite sample size and persistence on meteorological statistics. Part II: potential predictability.” *Monthly Weather Review*, Vol. 112, pp. 2369-2379.
- Valcke, S. (2011) *OASIS3 user guide (prism 2-5)*. Tech. Rep. 3 Programme for integrated earth system modelling (PRISM) support initiative.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J. J., López-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E., and Sánchez-Lorenzo, A. (2012). “Performance of drought indices for ecological, agricultural and hydrological applications.” *Earth Interactions*, Vol. 16, pp. 1-27.
- Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. (1985). “Understanding the drought phenomenon: the role of definition.” *Water International*, Vol. 10, pp. 111-120.
- Wilks, D. S. (2006). “Statistical methods in the atmospheric sciences.” *Academic Press*.
- Yoon, K. H., Mo, K., and Wood, E. F. (2012). “Dynamic model-based seasonal prediction of meteorological drought over the contiguous United States.” *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 13, pp. 463-482.
- Yuan, X., Wood, E. F., Luo, L., and Pan, M. (2011). “A first look at Climate Forecast System version 2 (CFSv2) for hydrological seasonal prediction.” *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, L13402, doi: 10.1029/2011GL047792.
- Yuan, X., Wood, E. F., Luo, L., Chaney, N. W., Sheffield, J., Kam, J., Liang, M., and Guan, K. (2013). “Probabilistic seasonal forecasting of African drought by dynamical models.” *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 14, pp. 1706-1720.