



Flood inflow forecasting on HantanRiver reservoir by using forecasted rainfall

Yu, Myungsu^a · Lee, Youngmok^b · Yi, Jaeung^{c*}

^aDept. of Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

^bK-water, Daejeon 34005, Korea

^cDept. of Civil Systems Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

Paper number: 16-013

Received: 3 February 2016; Revised: 29 February 2016; Accepted: 29 February 2016

Abstract

Due to climate changes accelerated by global warming, South Korea has experienced regional climate variations as well as increasing severities and frequencies of extreme weather. The precipitation in South Korea during the summer season in 2013 was concentrated mainly in the central region; the maximum number of rainy days were recorded in the central region while the southern region had the minimum number of rainy days. As a result, much attention has been paid to the importance of flood control due to damage caused by spatiotemporal intensive rainfalls. In this study, forecast rainfall data was used for rapid responses to prevent disasters during flood seasons. For this purpose, the applicability of numerical weather forecast data was analyzed using the ground observation rainfall and inflow rate. Correlation coefficient, maximum rainfall intensity percent error and total rainfall percent error were used for the quantitative comparison of ground observation rainfall data. In addition, correlation coefficient, Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, and standardized RMSE were used for the quantitative comparison of inflow rate. As a result of the simulation, the correlation coefficient up to six hours was 0.7 or higher, indicating a high correlation. Furthermore, the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient was positive until six hours, confirming the applicability of forecast rainfall.

Keywords: LDAPS, Inflow Forecasting, Forecasted Rainfall, Ungaged Watershed

LDAPS 예측 강우를 활용한 한탄강홍수조절댐 홍수 유입량 예측

유명수^a · 이영목^b · 이재웅^{c*}

^a아주대학교 건설교통공학과, ^b한국수자원공사, ^c아주대학교 건설시스템공학과

요 지

최근 우리나라는 지구 온난화에 의한 기후 변화로 지역별 기후 변동뿐만 아니라 극한 기상 발생의 규모와 빈도가 커지고 있다. 2013년 장마 전선 이 주로 중부지방에 위치하여 중부지방에서 강수일수 최고값을 기록하였으며, 남부지방은 강수일수 최저값을 기록하였다. 이러한 강우의 공간적, 시간적 집중 현상으로 호우 피해가 발생하여 치수의 중요성이 부각되고 있다. 본 연구에서는 홍수기 신속한 홍수 방재를 위하여 예측 강우 자료를 활용하고자 한다. 이를 위해 수치 예보 자료의 적용 가능성을 지상 관측 강우 및 유입량을 이용하여 분석하였다. 지상 관측 강우와 정량적 비교를 위해 상관계수, 최대 강우강도 퍼센트 오차 및 총 강우량 퍼센트 오차 등을 이용하였으며, 유입량은 상관계수, Nash-Sutcliffe 효율계수, 표준화된 RMSE를 사용하였다. 모의 결과 6시간까지의 상관계수는 0.7 이상으로 높은 상관성을 나타내었으며, Nash-Sutcliffe 효율계수는 6시간까지 양수를 나타내어 예측 강우의 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

핵심용어: LDAPS, 유입량 예측, 예측 강우, 미계측 유역

*Corresponding Author.

E-mail: jeyi@ajou.ac.kr (J. Yi)

1. 서론

한국은 6·25 전쟁 이후인 1950년 중반부터 서울을 중심으로 도시화(24.5%)가 시작된 이후 급속하게 전개되어 도시화율이 1970년 41.2%, 1990년 74.4%, 2000년 79.7%, 2010년 85.4%로 상승했다(Cho, 1991; Cho, 2003). 도시화로 인한 포장면적 증가는 침투율과 증발량을 감소시켜 생태계 파괴 및 극한기온을 변화시켰다(Lee and Heo, 2011). 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO) 및 대기 과학계는 태평양 10년 주기 진동 및 ENSO (El Niño Southern Oscillation)의 이상 기상 영향으로 동아시아 지역의 기후 변동성 및 기후 변화 현상이 가속화되어 큰 규모의 자연재해가 발생할 수 있다고 시사하였다(So, 2015).

벨기에 루뱅대학교(Université catholique de Louvain Brussels, Belgium)의 국제 재난 데이터베이스(GAR, 2015)에 따르면 1990년부터 2014년 한국의 자연재해 발생 빈도 중 태풍이 51.6%로 가장 높았다. 또한, 재해연보의 최근 10년 자연재해 피해현황 조사에 따르면 태풍 25%, 호우 60%, 대설 13% 등으로 조사되었으며, 여름철 태풍 및 호우에 의한 자연재해가 약 85%에 달하는 것으로 나타났다(Ministry of Public Safety and Security, 2014).

현재 강우를 이용한 수문해석은 지상 관측강우 자료와 공간특성 반영이 가능한 레이더 및 인공위성을 활용한 연구가 진행되고 있다. 그러나 레이더 자료는 강우를 직접 관측하는 것이 아니라 전파가 강우 입자에 반사되어 되돌아오는 강도와 목표물까지의 거리를 측정하여 추정함으로써 실제 강우와 차이가 발생되어 레이더 자료를 이용한 강우 추정에 어려움이 있다.

수치예보는 영국의 기상학자 Richardson (1922)이 지상 관측 자료를 대수적 방법을 이용하여 6시간 후의 기압을 예측하는 것에서 시작되었으며, 1950년대에 컴퓨터 개발과 함께 Charney (1948)는 준지형 모델(Quasi-geostrophic Model)을 개발하여 대기층 기압골의 이동과 발달과정을 정량적으로 예측하였다.

국내 기상청에서는 2008년 6월부터 단시간 강우예측 모형인 MAPLE 모형을 시험운영하고 있으며 초단기 예측 정보를 제공하고 있다. 그러나 MAPLE 예측은 현재와 과거 시간의 레이더 영상 차이를 통해 강우를 예측하므로 강우의 생성과 소멸을 예측할 수 없고 레이더 추정의 오류로 인한 비정상 예보 등의 발생으로 예측장의 오차를 발생시키는 문제점을 안고 있다(Kim et al., 2009). Choi (2013)는 초단기 예측 정보를 자료지향형 모형인 뉴로 퍼지기법(ANFIS: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)에 적용하여 유역 예측 유출량을 산

정하였다. Han (2014)은 MAPLE 예측 자료의 정확도 개선을 위해 고정형, 변동형, 혼합형 보정방법을 적용하여 정확도 및 개선정도를 평가하였다.

현재 국내 기상청에서는 영국 기상청의 통합 모형을 사용하여 예측 자료를 제공하고 있다. Kim et al. (2005), Byeon (2009), Cho (2011) 등은 단기수치예보 자료인 RDAPS (지역 예보모델)의 수문학적 신뢰도를 검토하기 위해 댐 및 유역별 강수의 정확도를 분석하였다. Lee et al. (2011)은 RDAPS 강우 예보 자료를 이용하여 금강 유역의 유출량을 산정하고 중장기 예보가 가능한 ESP 분석을 수행한 결과 값을 비교하여 적용 가능성을 제시하였다. 그러나 RDAPS 자료의 경우 공간 해상도가 12 km로 낮아 시·공간 변동 반영이 어려워 수자원 분야에 적용하는데 추가적인 과정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 접경지역으로 수문 자료가 부족한 한탄강홍수조절댐 유역을 통해 지상부근에서의 예측 성능 및 공간해상도가 향상되어 추가 과정 없이 수자원 분야에 적용 가능한 LDAPS (국지 예보모델) 자료의 적용 가능성을 분석하였다.

2. 연구범위 및 방법

2.1 대상 유역

본 연구에서는 수치 예보 자료의 적용성을 분석하기 위하여 한탄강홍수조절댐 유역을 대상 유역으로 선정하였다. 한탄강홍수조절댐은 2003년 북한에서 황강댐을 건설 중인 것을 확인하여 임진강 홍수조절 사업의 일환으로 2005년 군남홍수조절지 및 한탄강홍수조절댐 사업이 재추진되었다. 군남홍수조절지는 2011년 10월에 완공하여 운영 중이며 한탄강홍수조절댐은 2016년 11월 준공 예정으로 현재 약 93% 이상의 공정률을 보이고 있다. 대상 유역은 Fig. 1과 같이 임진강 제1지류인 한탄강에 위치하며 유역 면적은 1,279 km²로 남한 879 km², 북한 400 km²로 구성되어 있다. 댐 유역의 지세는 험준한 산악 지형이며, 본류 및 지류는 급류 하천으로 험준한 협곡을 형성하고 있는 구간이 많으며, 만곡부가 많으나 대체로 하천 폭이 일정하다. 한탄강홍수조절댐 유역이 포함된 임진강 유역은 과거 홍수 피해 다발 지역으로 최근 2011년, 2013년에도 크고 작은 홍수가 발생하였다.

2.2 연구 자료

예측 강우 자료의 선행시간 검증을 위해 기상청에서 제공 중인 국지 예보 시스템(LDAPS, Local Data Assimilation and

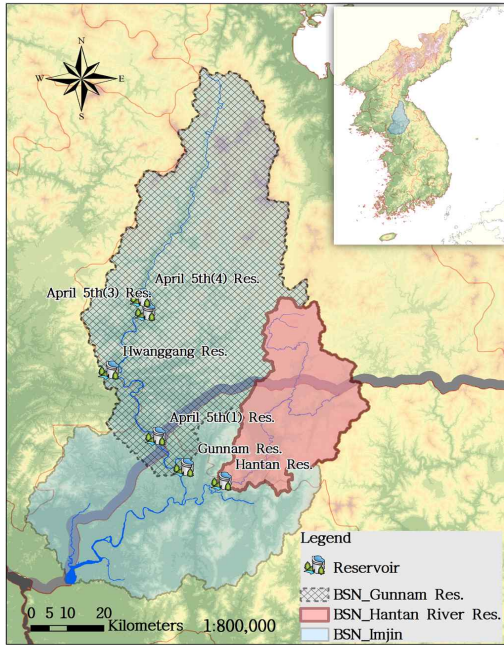


Fig. 1. Location of the Hantan River res. watershed

Prediction System) 출력 자료 및 예보 자료와 자동기상시스템 (AWS, Automatic Weather System)의 지상 관측 자료 및 국토교통부의 지상 관측 자료를 이용하여 비교하였다. 수치 예보 자료의 정확성 분석을 위한 자료 수집 기간은 국지 예보 시스템 자료가 생성된 2012년부터 2015년까지로 하였다.

2.2.1 LDAPS 자료

현재 기상청의 수치 예보 자료는 Table 1과 같이 초단기 예보와 단기 예보로 구분하여 제공 중이다. 초단기 예보 모형은 기반 자료에 따라 VSRF (Very Short-Range Forecast of Precipitation), MAPLE (McGill Algorithm for Precipitation Nowcasting Using Semi-Lagrangian Extrapolation), KLAPS (Korea Local Analysis and Prediction System) 등으로 구분된다. 단기 예보 모형은 영국 기상청에서 개발한 통합 수치 모형(UM, Unified Model)을 사용하며, 예보 지역에 따라 전지구 예보 시스템(GDAPS, Global Data Assimilation and Prediction System), 지역 예보 시스템(RDAPS, Regional Data Assimilation and Prediction System), 국지 예보 시스템(LDAPS, Local Data Assimilation and Prediction System) 등으로 구분된다.

레이더 자료를 기반으로 자료가 생성되는 초단기 모형은 단기 모형보다 공간분해능 및 자료 생성 주기가 높으나 자료의 정확도가 낮아 전처리 과정이 수행되어야 한다 (Han, 2014), 본 연구에서는 예측 자료의 신속한 사용을 위해 초단기 모형보다 예측 정확도가 높은 단기 모형 자료 중 LDAPS 자료

Table 1. Numerical Weather Prediction model in the Korea meteorological administration

Forecast	NWP system	Spatial resolution (km)	Issuing period (hr)	Lead time (hr)
Very short-term	VSRF	1	1	6
	MAPLE	1	1	6
	KLAPS	5	1	12
Short-term	GDAPS	25	3	87
	RDAPS	12	3	87
	LDAPS	1.5	3	36

를 사용하였다.

LDAPS 자료의 공간분해능은 1.5 km 격자로 한반도와 중국, 일본 일부 지역에 대하여 602×781개의 격자로 구성되며 6시간 간격으로 36시간 예측 자료를 생성한다. 산출 자료는 대기, 지상, 토양에 대하여 총 78가지로 다양한 종류의 변수를 포함하나 본 연구에서는 강수량과 상관성이 가장 높은 변수를 선정하여 사용하였다.

2.2.2 지상 관측 자료

본 연구에서는 Fig. 2의 대상유역에 대하여 기관별 대상 기간의 강우 자료를 수집하였다. 한탄강홍수조절댐 유역은 2000년대 이후 우량 관측소를 추가 설치하여 관측소 밀도가

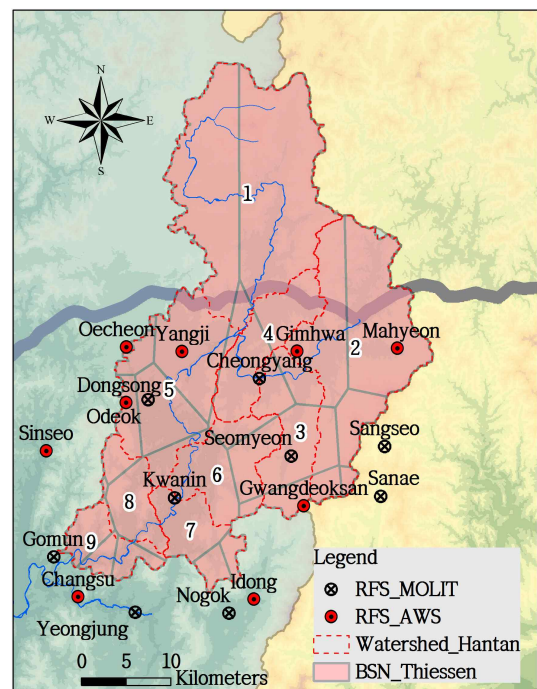


Fig. 2. Locations of observed rainfall

213 km²/개소로 세계 기상 기구(WMO, 1994)에서 권장하는 산악(250 km²/개소) 및 평야(575 km²/개소)를 만족한다. 따라서 지상관측 자료의 유역 평균 강우량은 수치 예보 자료와 비교를 위해 Fig. 2와 같이 관측점의 지배면적을 가중인자로 사용하여 평균 강우를 산정하는 Thiessen 가중법을 적용하였다.

2.2.3 강우유출 모형

강우유출 모형은 집중형과 분포형으로 구분할 수 있다. 최근 소유역을 작은 격자 단위로 분석하는 분포형 모형에 대한 연구가 진행되고 있으나, 신속한 분석을 위해서 많은 매개변수 및 구동 시간이 집중형 모형보다 많이 필요하다는 단점이 있다. 그 결과 유역의 계절적 변화와 같은 유역 특성이 고려되어야 하는 장기 유출 분석에는 분포형 모형을 이용하며, 유역의 변화가 적은 홍수 모의와 같은 단기 유출 분석에는 집중형 모형을 사용하고 있다.

본 연구에서는 저류함수법을 이용하는 집중형 모형인 COSFIM (Coordinate Operation System for Flood control In Multi-reservoir) 모형을 사용하였다. 저류함수법은 1961년 기무라에 의해 제안되었으며 홍수파의 운동방정식을 계산하여 유출량을 결정하는 방법이다. 저류함수법은 강우와 유출의 차이를 저류량으로 정의하고 저류량은 유출량에 비선형적으로 비례한다는 개념에 따라 유출량을 축차적으로 계산한다. COSFIM 수문 모형은 강우-유출 관계의 비선형성과 유역의 지체시간 등을 고려할 수 있는 모형으로 현재 K-water의 다목적댐, 용수전용 댐 및 다기능 보 등 실무 운영에 활용하고 있다.

3. 적용 결과

3.1 강우 예측 결과

본 연구에서는 LDAPS 예측 강우의 유출 모형 적용을 위해 2012년 8월 14일 15시부터 15일 21시까지(Case I), 2013년 7월 13일 21시부터 15일 19시까지(Case II), 2015년 7월 23일 15시부터 24일 15시까지(Case III)에 대하여 예측 자료와 관측 자료를 비교하였다.

자료별 유역 평균 강우량 비교를 위해 통계지표인 상관계수(Correlation Coefficient, CC), 최대 강우강도 퍼센트 오차(Percent Error in Peak, PEP), 총 강우량 퍼센트 오차(Percent Error in Rainfall, PER) 등을 이용하여 소유역별 변화 양상을 비교하였다.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \tag{1}$$

$$PEP (\%) = \frac{O_{max} - P_{max}}{O_{max}} \times 100 \tag{2}$$

$$PER (\%) = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^N O_i} \times 100 \tag{3}$$

여기서, N은 자료 수, O_i는 Thiessen 자료의 유역 평균 강우량이며 P_i는 LDAPS 유역 평균 강우량, \bar{O} 와 \bar{P} 는 자료별

Table 2. Correlation comparison of thiessen and LDAPS rainfall

Basin	Case I			Case II			Case III		
	CC	PEF	PER	CC	PEF	PER	CC	PEF	PER
HanRes.	0.72	-	-	0.68	-	-	0.83	-	-
B.01	0.35	8	9	0.53	7	7	0.77	7	2
B.02	0.72	1	1	0.52	6	2	0.77	9	8
B.03	0.70	4	2	0.63	9	3	0.55	1	9
B.04	0.74	3	7	0.33	8	9	0.77	3	1
B.05	0.64	9	8	0.43	5	8	0.67	8	4
B.06	0.74	5	4	0.58	4	4	0.54	4	5
B.07	0.49	7	3	0.53	3	1	0.52	5	7
B.08	0.84	6	6	0.49	2	5	0.62	6	6
B.09	0.70	2	5	0.38	1	6	0.46	2	3

평균값, O_{max} 와 P_{max} 는 각 자료별 최대 강우강도를 나타낸다.

Table 2는 각각 Case I, Case II, Case III에 대하여 한탄강 홍수조절댐 유역 및 소유역별 Thiessen 유역 평균 강우량과 LDAPS 유역 평균 강우량 사이의 상관관계(CC), 최대 강우강도 퍼센트 오차(PEP), 총 강우량 퍼센트 오차(PER)를 비교한 것으로, LDAPS 자료가 강우의 공간분포를 얼마나 잘 묘사하는지 평가할 수 있다. Table 2에서 대상 유역 전체의 경우 상관관계수가 0.6 이상으로 예측 자료가 관측 자료를 잘 나타내고 있다. 각 자료의 결과를 비교 분석하여 산술적 순위로 나타낸 최대 강우강도 퍼센트 오차(PEF) 및 총 강우량 퍼센트 오차(PER)는 미계측 유역으로 관측 자료가 부족한 1번 소유역(B.01)에서 순위가 낮게 분석되었다.

3.2 홍수 유입량 예측 결과

홍수 유입량 비교를 위해 통계지표인 상관관계수(CC), Nash-Sutcliffe 효율계수(Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE), 표준화된 RMSE (Normalized RMSE, nRMSE) 등을 이용하여 관측 유입량과 자료별 변화양상을 비교하였다.

Nash-Sutcliffe 효율계수(NSE)는 Eq. (4)과 같이 $-\infty$ 에서 1.0 사이에 분포하며, $NSE < 0$ 인 경우는 모형 산정값이 나쁘거나 관측값이 일관성이 없음을 의미하며, $NSE = 0$ 은 모형의 산정값과 관측값의 평균값이 같은 경우, $NSE > 0$ 은 산정값을 사용하는 것이 관측값의 평균을 사용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으며, $NSE = 1$ 은 가장 좋은 값이다 (Wilcox et al., 1990; Legates and McCabe, 1999).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \tag{4}$$

여기서, N 은 자료 수, O_i 는 관측한 한탄강홍수조절댐의 유입량이며 P_i 는 LDAPS의 유역 평균 강우량으로부터 산정한 예측 유입량, \bar{O} 는 관측 유입량 자료의 평균값이다.

RMSE는 Eq. (5)와 같이 분산의 퍼진 정도를 이용하여 적합성을 판단하며 일반적으로 정확도 평가 시 가장 많이 사용된다. 그러나 자료별 범위가 다를 때 상대적인 비교 분석이 가능하도록 표준화 작업이 필요하다. 표준화된 RMSE (nRMSE)는 0이 가장 좋고 nRMSE가 커질수록 관측값과 산정값의 차이가 증가하며, Eq. (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}} \tag{5}$$

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \tag{6}$$

Fig. 3은 Case I, Case II, Case III에 대한 한탄강홍수조절댐의 관측 유입량과 LDAPS 예측 강우를 이용한 예측 유입량을 비교한 것이다. Case I의 LDAPS 자료는 24시간까지 예측하므로 해당 시간까지 비교하였으며 Case II, Case III는 36시간까지 비교하였다. 모든 Case에서 선행 시간이 증가할수록 과소 추정하는 경향을 Fig. 3의 산포도에서 확인할 수 있으

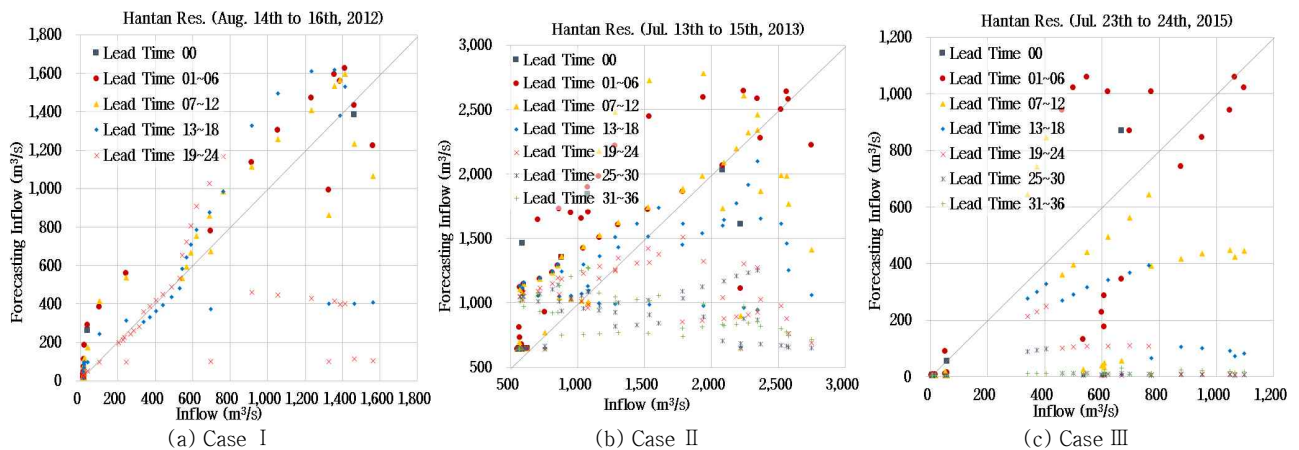


Fig. 3. Scatter plots of observed and forecasted inflow

Table 3. Correlation comparison of observed and forecasted inflow

Lead Time (hr)	Case I			Case II			Case III		
	CC	NSE	nRMSE	CC	NSE	nRMSE	CC	NSE	nRMSE
00	0.99	0.96	0.31	0.69	0.35	0.46	1.00	0.87	0.54
01	0.98	0.92	0.44	0.78	0.47	0.45	1.00	0.86	0.57
02	0.98	0.89	0.44	0.85	0.38	0.44	0.91	0.77	0.42
03	1.00	0.96	0.27	0.90	0.43	0.42	0.83	0.60	0.56
04	0.95	0.91	0.36	0.94	0.63	0.36	0.78	0.47	0.65
05	0.95	0.90	0.38	0.94	0.70	0.31	0.76	0.38	0.66
06	0.98	0.94	0.31	0.70	0.43	0.43	0.78	0.50	0.70
07	0.98	0.88	0.41	0.64	0.36	0.47	0.74	0.47	0.73
08	0.99	0.89	0.36	0.72	0.42	0.41	0.52	0.03	0.83
09	1.00	0.97	0.20	0.78	0.47	0.39	0.51	0.01	0.85
10	0.93	0.87	0.39	0.86	0.66	0.32	0.77	0.12	0.83
11	0.93	0.86	0.41	0.90	0.78	0.25	0.76	0.06	0.81
12	0.97	0.94	0.27	0.70	0.47	0.38	0.76	0.16	0.91
13	0.98	0.95	0.24	0.62	0.35	0.44	0.66	0.05	0.98
14	0.99	0.96	0.21	0.71	0.46	0.37	0.33	-0.63	1.07
15	0.94	0.83	0.35	0.75	0.49	0.36	0.25	-0.68	1.11
16	0.70	0.38	0.69	0.75	0.45	0.41	0.36	-0.70	1.16
17	0.56	0.17	0.85	0.64	0.31	0.44	0.37	-0.79	1.12
18	0.54	0.16	0.84	0.27	-0.15	0.56	0.42	-0.50	1.22
19	0.51	0.11	0.84	0.08	-0.31	0.63	0.34	-0.54	1.25
20	0.46	0.04	0.84	0.09	-0.31	0.58	0.06	-1.08	1.21
21	0.33	-0.27	0.83	0.17	-0.20	0.56	-0.01	-1.08	1.23
22	0.11	-0.53	0.95	0.37	-0.06	0.57	0.15	-1.10	1.29
23	0.04	-0.52	1.02	0.47	-0.05	0.54	0.13	-1.23	1.25
24	0.06	-0.47	1.00	0.26	-0.31	0.60	0.18	-0.86	1.36
25	-	-	-	0.17	-0.37	0.64	0.12	-0.85	1.37
26	-	-	-	0.20	-0.38	0.60	-0.07	-1.31	1.27
27	-	-	-	0.18	-0.37	0.60	-0.11	-1.27	1.29
28	-	-	-	0.13	-0.33	0.64	0.37	-1.22	1.32
29	-	-	-	0.05	-0.42	0.63	0.44	-1.36	1.29
30	-	-	-	-0.25	-0.83	0.65	0.61	-0.95	1.39
31	-	-	-	-0.28	-0.79	0.68	0.72	-0.93	1.39
32	-	-	-	-0.22	-0.81	0.62	0.73	-1.35	1.29
33	-	-	-	-0.15	-0.72	0.61	0.81	-1.29	1.29
34	-	-	-	-0.06	-0.63	0.64	0.96	-1.19	1.31
35	-	-	-	-0.06	-0.71	0.63	0.95	-1.31	1.27
36	-	-	-	-0.44	-1.38	0.65	0.86	-1.33	1.25

며 선행 시간에 따른 상관성은 Table 3을 통해 비교할 수 있다. LDAPS 자료는 6시간 간격으로 생성되며 Case 별 6시간까지의 상관계수(CC)는 0.95, 0.69, 0.76 이상으로 높은 상관성을 나타낸다. Nash-Sutcliffe 효율계수(NSE)는 선행시간이 증

가할수록 효율계수가 감소하나 6시간까지 양수를 나타내어 예측값 사용의 적용성을 확인할 수 있다. 표준화시킨 RMSE (nRMSE) 역시 선행시간이 증가할수록 값이 증가하여 관측 값과 차이가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 수자원 분야의 강우 예측 자료의 활용을 위해 예측 성능과 공간해상도가 향상된 LDAPS 자료를 한탄강 홍수조절댐 유역의 관측 강우와 관측 유입량을 이용하여 검증하였다. 본 연구를 통하여 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 예측 강우와 관측 강우의 소유역별 정량적 비교 결과 소유역에 따른 상관성에는 차이가 있으나 유역 전체의 상관계수의 경우 0.6 이상으로 적용 가능성을 확인하였다.
- 2) 관측 유입량과 예측 강우를 이용한 예측 유입량 비교 결과 Case I 에서 선행시간 15시간까지 상관계수가 0.9 이상으로 상관계수가 매우 높았으며, Nash-Sutcliffe 효율계수 또한 0.8 이상으로 예측 강우의 적용가능성을 확인할 수 있었다.
- 3) 미계측 유역이 있는 한탄강홍수조절댐 유역에서의 비교 결과 예측 유입량의 상관성이 높은 것으로 확인 되어 지상 관측소가 부족한 지역에서도 LDAPS 예측 자료의 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) LDAPS 자료는 RDAPS 자료의 낮은 공간해상도를 향상시켜 공간적 예측 강우의 변동성을 적용할 수 있으며, 본 연구를 통해 LDAPS 자료의 적용 가능성이 있다고 판단되어 향후 산지 및 도시 지역에서도 활용 가능하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원 12 기술혁신C04에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

Byeon, D.H. (2009). *Dam Inflow Forecasts Using Short-Term Numerical Weather Forecast Data*, Sejong University.
 Charney, J.G. (1948). "On the scale of atmospheric motions", *Geofysiske Publikasjoner*, Vol. 17, No. 2, 1948.
 Cho, M.R. (1991). *Political Economy of Regional Differentiation*,

Seoul, Hanul.
 Cho, M.R. (2003). "Trend and Prospect of Urbanization in Korea: Reflections on Korean Cities", *Economy and Society*, Vol. 60, pp. 10-39.
 Cho, S.H. (2011). *Development of a Precipitation Forecast Model Using Satellite Data and Ground Network Data*, Kyungpook National University.
 GAR, Global Assessment Report on disaster risk reduction (2015). *Internationally Reported Losses 1990-2014 EMDAT*, Retrieved from <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/data.php>.
 Han, M.S. (2014). *Correction from MAPLE and KLAPS rainfall forecasting*.
 Kim, B.K., Jang, D.W., Yang, D.M., and Yoo, C.S. (2009). "Accuracy Consideration of MAPLE Data Vary Short-Term Forecasting Model.", *Water for Future*, Korea Water Resources Association, Korea, Vol. 42, No. 12, pp. 52-64.
 Kim, J.H., Bae, D.H., and Kim, W.T. (2005). "Hydrological Rainfall Forecast for Short-Range Numerical Weather Prediction Model", *Korean Society of Civil Engineers*, KSCE Convention, pp. 1493-1496.
 Lee, S.H., and Heo, I.H. (2011). "The Impacts of Urbanization on Changes of Extreme Events of Air Temperature in South Korea", *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 46, No. 3, pp. 257-276.
 Lee, S.J., Jeong, C.S., Kim, J.C., and Hwang, M.H. (2011). "Long-term Streamflow Prediction Using ESP and RDAPS Model", *Journal of Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 44, No. 12, pp. 967-974.
 Legates, D.R., and McCabe, G.J. (1999). "Evaluating the use of goodness-of-fit measures in hydrologic and hydroclimatic model validation", *Water Resources Research*, Vol. 35, No. 1, pp. 233-241.
 Ministry of Public Safety and Security (2014). *Chronology of Disasters*.
 Richardson, L.F. (1922). *Weather Prediction by Numerical Process*. Cambridge University Press. 2nd Edn. with Foreward by Peter Lynch (2007).
 So, C.H. (2015). "Climate Change Adaptation and Business", *Risk Management*, Vol. 136, pp. 50-54.
 Wilcox, B.P., Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., and Wight, J.R. (1990). "Predicting runoff from rangeland catchments : A comparison of two models", *Water Resources Research*, Vol. 26, Issue 10, pp. 2401-2410.
 WMO (1994). *Guide to Hydrological Practices-Fifth Edition*, WMO-No. 168.