ERA-Interim 자료와 결합된 WRF 모형의 호우사상 모의능력평가: 1999년 임진강 유역 호우사상을 중심으로

Evaluation of Rainfall-Event-Simulation Performance of the WRF Model Combined with ERA-Interim Data: Focus on the Rainfall Event in Imjin River Basin in 1999

원정은* · 최정현** · 이옥정*** · 김상단****

Won, Jeongeun* · Choi, Jeonghyeon** · Lee, Okjeong***, and Kim, Sangdan****

Abstract

Because of climate change, extreme climatic conditions frequently occur all over the world, and the damage caused by heavy rainfall is rapidly increasing. To anticipate and compensate for the damage caused by the change in the rainfall pattern, studies are being actively conducted to estimate the maximum amount of rainfall depth and prepare appropriate measures. This work is a preliminary study to estimate the maximum rainfall amount resulting from climate change. We tried to reproduce the rainfall depth caused by a storm event in the Imjin River basin in 1999 using the Weather Research and Forecasting (WRF) model as a regional climate model. The initial and boundary conditions of WRF model were generated using the ERA-interim data, and SBU-YLIN, Kain-Fritsch, and YSU schemes were selected as an optimal physical-option combination through various numerical experiments. As a result, the linking of the WRF model with the ERA-Interim data was confirmed to reproduce the cumulative rainfall depth and temporal pattern of rainfall caused by the storm event in the Imjin River basin in 1999.

Key words : Imjin River Basin, Regional Climate Model, WRF

요 지

기후변화로 인해 세계적으로 이상기후현상이 빈번하게 발생하고 있으며 특히 집중호우로 인한 피해가 급증하고 있다. 이러한 강우 패턴의 변화로 인한 피해를 사전에 예상하고 대비하기 위하여 가능최대강수량을 산정하고 그에 따른 대책을 마련하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 기후변화가 고려된 최대 강수량을 산정하기 위한 사전연구로 지역대기모델인 Weather Research and Forecasting (WRF) 모형을 이용하여 1999년 발생한 임진강 유역의 호우사상에 의한 강우량을 재현하고자 하였다. ERA-Interim 자료를 이용하여 WRF 모형의 초기조건 및 경계조건을 생성하였으며, 다양한 수치실험을 통하여 SBU-YLin, Kain-Fritsch, YSU scheme 조합을 최적물리옵션 조합으로 선정하였다. 그 결과, ERA-Interim 자료와 연계된 WRF 모형은 1999년 임진강 유역의 호우사상에 의한 누적강우량과 강우의 시간적인 패턴을 우수하게 재현하고 있음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 임진강 유역, 지역기후모델, WRF

*정회원, 부경대학교 지구환경시스템과학부 환경공학전공 석사과정(E-mail: won6922@nate.com)

Member, Master Course Student, Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University

**정회원, 부경대학교 지구환경시스템과학부 환경공학전공 박사과정

Member, Ph.D. Student, Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University

***정회원, 부경대학교 지구환경시스템과학부 환경공학전공 박사수료

Member, Ph.D. Candidate, Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University

****교신저자, 정회원, 부경대학교 환경공학과 교수(Tel: +82-51-629-6529, Fax: +82-51-629-6523, E-mail: skim@pknu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

1. 서 론

기후변화의 영향으로 자연재해의 발생이 증가하고 있다. 특히 강우의 빈도와 강도의 변화와 함께 잦은 국지성 호우로 많은 강우가 발생하여 그에 따른 피해도 급증하고 있다. 기상청의 조사에 따르면 1990년대 중반 이후 집중호우 발생 빈도가 증가한 것으로 나타나고 있다. 최근 10년간의 기상재해 피해액을 조사한 결과, 집중호우는 태풍과 함께 우리나라에 가장 큰 피해를 끼치고 있었으며 실제로 2006년 장마기간 동안에 내린 집중호우로 인해 2조원이 넘는 재산피해와 약 2,800여명의 이재민이 발생한 바가 있다(NEMA, 2015). 집중호우는 기후변화로 인해 빈도와 강도가 증가할 것으로 예상되어 이를 예측하고 대비하는 일의 필요성은 더욱 커지고 있다.

본 연구는 기후변화가 고려된 최대 강수량을 산정하기 위한 사전연구의 일환으로, WRF 모형을 통해 과거호우사상에 의한 강우량을 합리적으로 재현하여 모형의 모의능력을 평가하고자 하였다. 연구 대상 지역인 임진강 유역의 경우 급경사로 이루어진 상류지역과 조위의 영향을 많이 받는 하류지역으로 구성되어 홍수피해의 가능성이 매우 큰 지역이다(Park and Hur, 2009). 그러나 유역의 2/3 정도가 북한에 포함되어 있어 정확한 과거 강우자료의 확보가 어려운 관계로 과학적인 재해저감대책의 수립을 위해 필수적인 강우유출모형의 매개변수 추정이 곤란한 상황에 있다. 이에 본 연구에서는 지역기후모형 중 하나인 Weather Research and Forecasting (WRF) 모형을 이용하여 임진강 유역에 발생하였던 과거 호우사상에 대한 유역의 전반적인 강우의 시공간적 분포특성을 재구성하고자 하였다.

Hong and Lee (2009)가 WRF 모형을 이용하여 돌발호우사상에 의한 강우량을 재현하고자 하는 연구를 시도한 이래로, Lee et al. (2015)은 2009년 7월 부산의 집중호우 모의를 통하여 WRF 모형의 강우량 모의 성능을 평가한 바 있다. 후속 연구로서 Lee et al. (2017a)는 강우량으로는 관측 최대를 기록한 태풍 루사에 의한 강우량을 WRF 모형을 이용하여 재현한 바 있으며, Lee et al. (2017b)은 WRF 모형에 의해 재현된 태풍 루사의 강우량으로부터 초기 및 경계조건의 조정과 수분최대화 기법의 적용을 통하여 최대 강우량을 추정하려는 연구를 시도하였다. 또한 Choi et al. (2018a)는 풍속으로는 관측 최대를 기록한 태풍 매미에 의한 강우량을 WRF 모형을 이용하여 재현한 바 있으며, Choi et al. (2018b)은 WRF 모형을 이용하여 해수면 온도가 태풍 강우량의 최대화에 미치는 영향을 분석한 바 있다.

상기 살펴본 국내에서의 WRF 모형 적용사례의 경우 WRF 모형의 구동을 위한 입력자료로 National Centers for Environmental Prediction (NCEP)에서 제공하는 수평 해상도 1° 간격의 Final Operational Global Analysis (FNL) 자료를 많이 사용하였다. 그러나 NCEP FNL 자료는 1999년부터 제공

되지만 1999년 자료는 결측치가 다수 존재하기 때문에, 본 연구에서 재현 대상으로 삼고 있는 1999년 임진강 유역 호우사상의 경우 WRF 모형을 구동시키는데 필요한 초기 및 경계조건의 자료를 획득할 수 없는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 FNL 자료보다 높은 해상도를 가지는 ERA-Interim 자료를 이용하여 WRF 모형 구동을 위한 입력자료를 생성하여 연구를 수행하고자 하였다. 참고로 ERA-Interim 자료는 1979년부터 전 지구 자료를 제공하고 있다.

2. 연구방법

2.1 대상 지역

임진강 유역은 지난 1996년, 1998년, 1999년 세 차례에 걸친 대홍수로 9천억의 재산피해와 128명의 인명피해를 입었다. 임진강 유역은 1996년 이후 계속되는 이상 강우로 대규모 홍수 피해가 발생하고 있으나, 유역 면적의 약 63%가 북한지역에 위치하고 있어 수해방지에 불리한 실정이다. 본 연구에 선정된 호우사상은 1999년 7월에서 8월에 걸쳐 발생한 호우사상으로 창수 지점에 총 강우량 873 mm, 일 최대 강우량 419.5 mm를 기록하였다. 호우사상이 집중적으로 발생한 한반도 중부지역 이외에도 남해안 인근에도 400 mm 이상의 강우가 발생하기도 하였다.

Fig. 1은 한국 표준시간인 Korea Standard Time (KST)를 기준으로 하여 1999년 7월 29일 00시부터 8월 5일 00시까지의 누가강우량의 공간분포와 창수, 근흥 그리고 해운대 지점의 강우 시계열을 나타낸다. 누가강우량의 공간분포는 377개 지점의 자동관측시스템(Automatic Weather System, AWS) 자료와 75개 지점의 종관기상관측시스템(Automated Synoptic Observing System, ASOS)자료를 이용하여 Kriging 기법을 통해 계산하였다. 창수, 근흥, 해운대 지점은 이 기간 동안 각각 873 mm, 552.5 mm 그리고 444 mm의 강우량을 기록하였다.

2.2 WRF 모형의 구성

본 연구에서는 WRF 3.9.1 버전이 사용되었다. WRF는 전처리 시스템인 WRF Pre-Processing System (WPS)와 Advanced Research WRF (ARW)를 거쳐 구동된다. WPS는 모의 대상 지역을 설정하고 초기 입력자료인 격자자료로부터 WRF 구동에 필요한 입력자료를 생성한다. 생성된 입력자료를 이용하여 ARW에서 초기조건 및 경계조건을 생성하고 WRF 구동을 실행한다(Fig. 2). 모의영역은 총 3개의 도메인으로 구성하였으며 36.0°N , 127.0°E 를 중심으로 설정하였다(Fig. 3). 도메인은 동아시아 영역인 도메인 1 (D01), 한반도 영역인 도메인 2 (D02)와 임진강 유역을 중심으로 설정한 도메인 3 (D03)으로 구성하여, D01에 대한 모의를 수행한 후, 이를 경계조건으로 설정하여 D02에 대한 모의를 수행하며, 다시 이를 경계조건으로 설정하여 D03에 대한 모의를

Fig. 1. Observed Accumulated Rainfall Depth and Hourly Rainfall Depth Hyetograph at Changsu, Keunheung and Haeundae Stations

Fig. 2. WRF Modeling Flow Chart

Fig. 3. Domain Configuration

수행하였다. 도메인별 수평해상도는 각각 27 km (D01), 9 km (D02) 그리고 3 km (D03)이다. WRF 모형은 시간기준으로 Universal Time Coordinated (UTC)를 사용하는 것을 고려하여 본 연구에서는 1999년 07월 28일 12시부터 08월 05일 00시(UTC 기준)까지를 모의기간으로 설정하였다.

2.3 입력자료

WRF 모형의 수치 모의에 관한 국내 연구를 살펴보면 대부분 초기 입력자료로 NCEP에서 제공하는 FNL 자료를 사용하고 있는 것으로 조사되었다(Jung et al., 2012; Lee et al., 2015; Lee et al., 2017a, 2017b; Choi et al., 2018a, 2018b). 반면, 국외 연구를 살펴보면 ERA-Interim 자료의 정확도가 높다고 보고되었지만(Soares et al., 2012; Balsamo et al., 2015), 국내에서 ERA-Interim 자료를 이용한 연구는 아직 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 WRF 모형의 초기 입력자료로 European Center for Medium-range Weather Forecasting (ECMWF)에서 제공하는 ERA-Interim 자료를 사용하였다. ERA-Interim 자료는 전 지구 규모 모델인 Integrated Forecast System (IFS)에서 4DVAR를 사용하여 생산되었으며 1979년부터 현재까지 6시간 간격으로 자료를 제공하고 있다. 본 연구에서는 6시간 간격의 시간해상도와 0.75° 간격의 공간해상도를 가지는 재분석 자료를 기반으로 WRF 모형의 구동을 위한 초기조건 및 경계조건을 생성하였다.

2.4 물리옵션

WRF 모형의 경우 호우사상의 모의는 물리옵션조합이 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Ohara et al., 2011; Ishida et al., 2015). WRF 모형은 다양한 물리옵션을 가지고 있으며 특히 이들 중 미세물리(microphysics), 적운 모수화(cumulus parameterization) 그리고 행성경계층(planetary boundary layer)은 강수량 모의에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Jankov et al., 2007; Hong and Lee, 2009; Lee and Sung, 2013; Choi et al., 2018a). 이에 따라 본 연구에서는 미세물리, 적운 모수화 그리고 행성경계층에 대해 총 54개 조합의 수치실험을 수행하여 최적 물리옵

션 조합을 선정하였다. 선정된 최적 물리옵션은 미세물리옵션으로 SBU-YLin, 적운 모수화에서는 Kain-Fritsch 그리고 행성경계층은 Yonsei University scheme으로 나타났다. Table 1에 선정된 물리옵션들과 WRF 모형의 구성을 나타내었다.

3. 연구결과

3.1 누가강수량

최적 물리옵션을 이용하여 모의된 결과의 재현성을 판단하기 위하여, 모의된 누가강수량의 공간적인 분포를 관측 강수량자료와 비교하여 Fig. 4와 같이 나타내었다. 지역적으로 높은 강수량을 나타낸 창수, 근흥, 해운대 지점을 점선으로 표시하였다. WRF 모형은 호우사상이 집중적으로 발생한 지역(임진강 유역과 남해안 부근)을 비교적 유사하게 재현하였다. 창수, 근흥, 해운대 지점의 관측 총 강수량은 873 mm, 552.5 mm, 444 mm이며, WRF 모형에 의해 모의된 강수량은 각각 499.8 mm, 483.2 mm, 438.4 mm으로 나타났다. 세 지점만 살펴볼 경우 누적 총 강수량이 다소 과소모의되어졌으며, 특히 창수 지점의 경우가 크게 과소모의되었음을 살펴볼 수 있다. 이는 초기 및 경계조건 개선을 위한 추가적인 입력자료 없이 초기 입력자료인 ERA-Interim 자료만을 사용하여 모의하였기 때문인 것으로 판단된다. 모의 정확도를 개선하기 위해서는 Mun et al. (2017)이 제안한 바와 같이 초기 입력자료인 ERA-Interim에 자료동화기법인 그리드 너징(Grid nudging)을 적용시키는 등의 방법이 필요할 수 있을 것으로 보이나, 후술할 유역 공간평균 누적강수량을 살펴볼 경우 모의된 값과 관측된 값의 편차가 크지 않기 때문에 추가적인 개선은 추후 연구로 남겨두기로 하였다.

3.2 지점 강수량

지역별로 특히 높은 강수량을 기록한 지점에 대해 관측 강수량과 모의된 강수량의 시계열을 비교하였다(Fig. 5). WRF 모형의 결과는 저해상도의 입력자료로부터 3 km 간격의 격자로 생성되기 때문에 특정 지점이 위치한 격자의 모의결

Table 1. Summary of WRF Model Configuration

Model	WRF Ver 3.9.1		
Domain	D01	D02	D03
Horizontal grid size	27 km	9 km	3 km
Dimension	126 × 106 × 31	253 × 196 × 31	397 × 346 × 31
Microphysics	SBU_YLin, 5-class scheme		
Cumulus parameterization	Kain-Fritsch scheme		
Planetary boundary layer	Yonsei University scheme		
Integration period	1200 UST 28 July ~ 0000 UST 05 August 1999		
Time step	60	20	6.667

Fig. 4. Comparison of Observed and Simulated Total Accumulated Rainfall Depth

Fig. 5. Comparison of Observed and Simulated Hourly Rainfall Depth Hyetograph

과는 정확하다고 판단하기가 어렵다. 그럼에도 불구하고 창수, 근흥, 해운대 지점의 모의된 강우량 시간분포는 관측된 호우사상의 시간분포를 잘 재현하고 있음을 살펴볼 수 있다. 특히, 근흥 지점의 관측 최대 강우강도인 40 mm/hr는 동일한 시간에 모의 최대 강우강도 44.7 mm/hr로 재현되었으며, 창수 지점의 관측 최대 강우강도 68 mm/hr는 4시간 지체되어 72.9 mm/hr의 최대 강우강도로 모의되었음을 알 수 있다.

3.3 공간평균 강우량

Fig. 6과 같이 임진강 유역과 우리나라를 4개 지역(강원, 경기/충청, 호남, 영남)으로 구분하여 강우량의 공간적인 거동을 확인하고자 하였다. Fig. 7은 각 지역별 공간 평균된 강우량의 시간적인 거동을 나타낸 결과이다. 임진강 유역의 경우 모의 결과를 관측 자료와 비교하기 위하여 기상청에서 제공하는 북한기상관측자료를 사용하였다. 이는 세계기상기구의 기상통신망을 통해 수집된 관측 자료로 총 27개의 지점의 일 자료가 제공된다. 본 연구에서는 양덕, 원산, 신계, 개성, 평강의 총 5개 지점의 일 강우자료를 사용하였으며 따라서 임진강 유역의 경우 일 강우량으로 비교하였다. Fig. 7(a)에서 임진강 유역은 일 강우량으로 비교되어 자세한

Fig. 6. Five Regions Used in This Study

(a) Imjin River Basin

(b) Gangwon

(c) Gyeonggi/Chungcheong

(d) Yeongnam

(e) Honam

Fig. 7. Comparison of Observed and Simulated Hourly Spatially Averaged Rainfall Hyetograph

Table 2. Comparison of Observed and Simulated Spatially Averaged Accumulated Rainfall Depth

(mm)	Imjin	Gangwon	Gyeonggi-Chungcheong	Honam	Yeongnam
OBS	506.68	365.13	323.80	159.96	206.06
SIM	467.21	385.03	309.17	182.62	269.95

시간적 거동을 확인하기에는 어려웠지만 강우의 시작과 종료를 완벽하게 재현하였음을 확인할 수 있었으며 결정계수(R^2)는 0.81로 나타났다. 또한 4개 지역의 경우에도 강우의 발생과 시간적인 거동을 유사하게 재현하였음을 확인할 수 있다. 각 지역의 결정계수(R^2)는 0.76, 0.58, 0.59, 0.52로 임진강 유역을 제외한 지역의 평균 결정계수(R^2)는 0.61로 산정되었다. WRF 모형은 모든 지역에 대해 강우량의 시간적인 거동을 유사하게 재현하였음을 확인할 수 있다. 또한 Table 2에서는 각 지역의 관측 총 강우량과 모의된 총 강우량을 비교하여 나타내었다. 임진강 유역의 관측 총 강우량은 506.7 mm이며 WRF 모형에 의하여 모의된 총 강우량은 467.2 mm으로 나타났다. 임진강뿐만 아니라 4개 지역에서도 총 강우량을 우수하게 모의한 것을 살펴볼 수 있다. 강원, 경기/충청, 호남, 영남 지역의 관측 총 강우량은 각각 365.1, 323.8, 160, 206 mm이며 WRF 모형의 모의 결과는 각각 385, 309, 182.6, 269.9 mm으로 모의되었다.

4. 결 론

본 연구는 기후변화가 고려된 최대 강수량을 산정하기 위한 사전연구로 임진강 유역을 중심으로 발생한 1999년 집중호우에 의한 강우량을 WRF 모형을 이용하여 재구성하고자 하였다. 관측된 강우량을 최대한 재현하기 위하여 수십 차례의 수치 실험을 실시하여 SBU-YLin, Kain-Fritsch, YSU scheme을 최적 물리옵션조합으로 선정하였다. WRF 모형에 의한 모의 결과는 초기 입력자료인 ERA-Interim 자료만을 이용하였음에도 불구하고 누가강우량의 공간적인 분포, 공간평균 누가강우량 및 강우량의 시간분포를 우수하게 재현할 수 있었다. 지점 강우량의 경우 누가강우량의 정확도는 떨어졌으나 저해상도(0.75° 간격)의 입력자료에서 생성된 3 km 격자의 결과임을 감안하였을 때, 호우사상의 강수량 시간분포는 비교적 잘 재현된 것으로 판단된다. 특히 공간평균된 지역별 누가강우량 및 강우량의 시간적인 분포를 우수하게 재현할 수 있었다.

본 연구의 결과로부터 임진강 유역의 과거 호우사상에 대한 강우량의 공간적 및 시간적 분포를 재구성할 수 있음을 살펴볼 수 있었으며, 이는 임진강 유역에 보다 정확한 강우유출 모형의 구축을 가능하게 하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 기존에 WRF 모형의 입력자료를 구성하기 위하여 많이 사용되었던 NCEP-FNL 자료뿐만 아니라 ERA-Interim 자료 또한 우리나라 지역을 대상으로 호우사상에 의한 강우량을 재현하는데 유용할 것이라는 사실을 파악할 수 있었다. 이러한 연구의 결과는 향후 기후변화를 고려한 최대 강우 시나리오를 생산하기 위한 연구에도 기여할 수 있을 것이라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 환경부/한국환경산업기술원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RE201901073).

References

- Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., et al. (2015). ERA-Interim/Land: A global land surface reanalysis data set. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 19, No. 1, pp. 389-407.
- Choi, J., Lee, J., Jeong, H., Jang, J., and Kim, S. (2018a). Effect of improvement of initial and boundary conditions in WRF model on simulating typhoon rainfall. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 2, pp. 445-454.
- Choi, J., Lee, O., Jang, S., Jo, D.J., and Kim, S. (2018b). Effect of sea surface temperature on maximizing typhoon rainfall depth. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 443-452.
- Hong, S.Y., and Lee, J.W. (2009). Assessment of the WRF model in reproducing a flash-flood heavy rainfall event over Korea. *Atmospheric Research*, Vol. 93, No. 4, pp. 818-831.
- Ishida, K., Kavvas, M.L., Jang, S., Chen, Z.Q., Ohara, N., and Anderson, M.L. (2015). Physically based estimation of maximum precipitation over three watersheds in Northern California: Relative humidity maximization method. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 20, No. 10, 04015014. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001175
- Jankov, I., Schultz, P.J., Anderson, C.J., and Koch, S.E. (2007). The impact of different physical parameterizations and their interactions on cold season QPF in the American river basin. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 8, No. 5, pp. 1141-1151.
- Jung, W., Park, J., Kim, E., and Lee, B. (2012). A case study of WRF simulation for surface maximum wind speed estimation when the typhoon attack: Typhoons RUSA and MAEMI. *Journal of the Environmental Sciences*, Vol. 21, No. 4, pp. 517-533.
- Lee, J., Choi, J., Jeong, H., and Kim, S. (2017a). Preliminary study for physically based estimation of maximum precipitation using the regional climate model in Korea: Reconstruction of typhoon RUSA rainfall. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 1, pp.

401-411.

- Lee, J., Choi, J., Lee, O., Yoon, J., and Kim, S. (2017b). Estimation of probable maximum precipitation in Korea using a regional climate model. *Water*, Vol. 9, No. 4. Article No. 240. doi:10.3390/w9040240
- Lee, J., Jang, S., and Kim, S. (2015). Evaluation of the WRF model in reproducing the spatio-temporal pattern of a heavy rainfall event. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 5, pp. 255-265.
- Lee, J.G., and Sung, H.M. (2013). A WRF sensitivity study in precipitation amount over Yeongdong Province to the choice of nesting methods: Case study. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 1, pp. 105-119.
- Mun, J., Lee, H.W., Jeon, W., and Lee, S. (2017). Impact of meteorological initial input data on WRF simulation: Comparison of ERA-Interim and FNL data. *Journal of Environmental Science International*, Vol. 26, No. 12, pp. 1307-1319.
- National Emergency Management Agency (NEMA). (2015). *2014 Disaster year book*.
- Ohara, N., Kavvas, M.L., Kure, S., Chen, Z.Q., Jang, S., and Tan, E. (2011). Physically based estimation of maximum precipitation over American river watershed, California. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 16, No. 4, pp. 351-361.
- Park, J.H., and Hur, Y.T. (2009). Flood runoff simulation using physical based distributed model for Imjin-River basin. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 1, pp. 51-60.
- Soares, P.M., Cardoso, R.M., Miranda, P.M., de Medeiros, J., Belo-Pereira, M., and Espirito-Santo, F. (2012). WRF high resolution dynamical downscaling of ERA-Interim for Portugal. *Climate Dynamics*, Vol. 39, pp. 2497-2522.

Received	June 7, 2019
Revised	June 10, 2019
Accepted	June 26, 2019