서울 종관기상관측장비와 방재기상관측자료의 측정된 강우자료 차이로 인한 유출특성변화

Effects of the Difference between ASOS and AWS Data on Runoff Characteristics

현정훈* · 박희성** · 정건희***

Hyun, Jung Hoon*, Park, Heeseong**, and Chung, Gunhui***

Abstract

Urban flooding is a recurring recent problem and has led to an increase in damages. Therefore, many studies have been conducted to mitigate urban floods. However, if rain is concentrated over a small area, the accuracy of runoff calculation is reduced because of inhomogeneities in rainfall distribution. Particularly in Seoul, which is mainly covered by impervious areas, the accuracy of runoff calculation of spatially concentrated rainfall is affected by the rainfall distribution. In this study, data from the Automated Surface Observing System at the Seoul Observatory and data from an Automatic Weather Station located near the study basin were used to calculate the runoff, and the respective results were compared. The Yongdap pump station was selected as the study subject, and the Environmental Protection Agency Storm Water Management model was applied to calculate the runoff. According to the results, the importance of spatial rainfall distribution was recognized, indicating that more accurate designs for rainfall and runoff calculation can be implemented.

Key words : ASOS, AWS, EPA-SWMM, Spatial Distribution of Rainfall, Urban Flood

요 지

최근 도시 지역의 집중 호우로 도심지 침수 피해가 많이 발생하고 있으며, 이로 인한 재산 및 인명피해가 증가하면서 홍수 피해 저감에 관한 연구가 다수 진행되고 있다. 그러나 강우의 공간적인 분포가 한 곳에 집중되는 경우, 유역의 유출량 계산의 정확도를 향상시키기 위해 그 유역의 강우를 정확히 측정해 유출량을 계산해야 한다. 특히, 서울과 같이 대부분 불투수층이고, 여름철 높은 온도와 상부 기단의 불안정으로 발생하는 국지성 강우에 대한 유출 해석은 강우관측소의 밀도에 따라 유출을 야기하는 유역의 강우를 정확히 측정하기 어렵다는 한계를 가지고 있으며, 강우의 공간적인 불균형에 많은 부분 영향을 받는다. 본 연구에서는 서울기상청에서 제공하고 있는 종관기상관측장비인 Automated Surface Observing System (ASOS)의 관측 강우와 방재기상관측장비인 Automatic Weather Stations (AWS)에서 관측한 강우 관측값이 관측지점에 따라 달라지는 것을 보이며, 그 결과 유출량에 영향을 미치는 것을 분석하였다. 서울 용답빗물펌프장 유역에서의 유출량을 EPA-SWMM 모형을 이용하여 계산하고, ASOS와 AWS 강우자료를 적용하였다. 이러한 자료를 바탕으로 정확한 강우의 측정이 중요하다는 것을 보였으며, 보다 정확한 설계강우량 산정 및 유출량 계산에 강우량 측정이 미치는 영향을 이해하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : ASOS, AWS, EPA-SWMM, 강우 공간적 불균형, 도심지 홍수

*정회원, 호서대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: zuzuang1@naver.com)

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Hoseo University, Korea

**정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구위원

Member, Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology (KICT), Korea

***교신저자, 정회원, 호서대학교 토목공학과 부교수(Tel: +82-41-540-5794, Fax: +82-41-540-5798, E-mail: gunhuic@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Hoseo University, Korea

1. 서 론

최근 이상 기후로 인한 게릴라성 호우, 집중 호우, 국지성 호우 등 예측 불가한 호우로 인해 홍수피해가 다수 발생하고 있다. 특히, 도시 지역의 경제 발전과 인구 증가로 인하여 급격한 도시화와 산업화가 진행됨에 따라 투수지역인 농지, 산림 등의 지역은 감소하고, 불투수지역인 도로, 건물 등이 증가하여 유역의 출구점까지의 도달 시간이 단축되고 침투 유량이 증가 등 홍수에 취약해지고 있다. 그러므로 기후 변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후 변화에 따른 피해가 지속적으로 증가할 것이라 예측하고 있다. 이를 위해 홍수 저감을 위한 연구는 지속적으로 많이 진행되고 있지만, 도심지의 홍수 피해를 예측하기 위해서는 불투수지역의 증가로 인해 감소된 도달시간 등 홍수 피해 취약 지역에 대한 연구가 필요하다. 이런 저지대 도시침수 피해 등 침수 취약 지역 등의 정확한 분석을 위해서는 공간적 강우분석을 필요로 하고 있다. 이러한 강우의 시·공간적 요소가 수자원에 미치는 영향을 평가하고자 Ahn et al. (2001)은 AWS의 자료를 사용하여 서울 지역 강수의 공간분포를 규명하고자 연구를 진행 하였으며, Moon et al. (2015)은 기상청에서 생산되는 격자 단위 강수 재분석 자료를 이용하여 2006~2013년에 대해 유역의 수문 순환 특성 규명을 위한 분석을 실시하여 강수분석 및 유출분석을 수행하였다. 또한 Kim et al. (2005)은 1961년부터 2003년까지의 서울, 서울 근교 4개 도시에서의 강우자료를 이용하여 서울의 강우의 시·공간 적인 특성 분석을 통해 도시화가 강우에 미치는 영향을 조사한 바가 있다. Park et al. (2015)은 서울시 관내의 30개 AWS 관측소를 대상으로 강우 자료를 수집한 하역 월별 및 호우발생의 특성에 따라 분석에 이용 하였으며 혼합분포를 이용하여 강우를 모형화 하였고 강우의 공간상관함수를 유도하였으며 대상 관측망의 영향 범위를 산정하여 강우관측망의 공간적 특성을 고려한 연구를 하였다. Yoon et al. (2014)은 도시침수 예측을 하여 이류모델로 예측된 레이다 강우장을 이용하여 유역평균강우량을 산정 하였으며 유출모형의 입력으로 활용한 연구 결과가 있다. Lee and Jung (1991)은 한강유역의 무강우 시간에 의해 분리된 독립호우들을 분석하여 강우의 시·공간 적 특성을 조사 분석하여 독립호우의 선정 기준을 제시하였다. 해외에서는 Rodríguez-Iturbe and Mejía (1974)가 점강우량을 면적강우량으로 변환하기 위한 연구를 진행하여 특정 지역의 총 평균 강우량을 추정을 위한 방법론을 제시하기도 하였다. Ciach and Krajewski (2006)는 미국의 오클라호마 주의 소규모의 강우에 대한 공간 상관 구조 분석 및 모델링을 실시하였다.

이와 같이 정확한 강우의 시공간적인 분포를 추정하기 위한 연구가 활발히 진행되었으며, 이는 유역의 유출과 밀접하게 관련되어 있기 때문이다. 그러나 기상청의 지상기상관측망에

대한 설명에 의하면, 기상청에서는 서울기상관측소를 비롯한 전국 96개소의 종관기상관측장비(ASOS)와 494개소의 방재기상관측장비(AWS)를 이용하여 지상기상관측업무를 수행하고 있다(<http://www.kma.go.kr/aboutkma/biz/observation02.jsp>). ASOS는 지방청, 지청, 기상대, 관측소 등에 설치되어 기상현상 관측 및 국제전문을 통한 자료 공유 등의 관측업무를 수행하며, AWS는 산악지역이나 섬처럼 사람이 관측하기 어려운 곳에 설치하여 집중호우, 우박, 뇌우, 돌풍 등과 같은 국지적인 위험기상 현상을 실시간으로 감시하고 있으며, 지상기상관측망을 통해 수집된 기상관측자료는 수치예보 모델의 초기 입력 자료로 유용하게 사용된다. 자동기상관측장비의 관측자료 수집주기는 1분이며, 각 유형별 관측 조밀도는 ASOS가 설치된 유인 기상관측소는 약 67 km이며, AWS를 포함하면 약 13 km의 조밀도를 가진다. 또한, AWS는 기온, 풍향, 풍속, 강수량, 강수유무를 기본 관측요소로 하며, AWS 중 동네예보 편집지점에는 기압과 습도를 선택하여 관측하고 있다. ASOS는 AWS 관측요소에 일조, 일사, 초상온도, 지면온도, 지중온도 등의 요소를 추가로 관측하고 있다.

이와 같이 ASOS와 AWS는 관측장비의 설치 목적과 특성이 다르므로 유출 분석에 사용하기 위해서는 자료의 특성을 고려한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 기존 IETD 결정 방법(Lee and Chung, 2017)을 적용하여 서울 지역의 강우사상을 분리한 후, 서울 용담뿔물펌프장의 유출량을 ASOS와 AWS 자료의 강우자료를 이용하여 계산하였다. 종관기상관측장비로는 서울 ASOS 강우자료와 방재기상관측장비로는 서울 성동 AWS 강우자료를 사용하였으며, 동일한 기간의 강우 자료를 선정하여 EPA-SWMM 모형을 통해 유출 분석을 실시하여 실측값과 비교분석 하였다.

2. 분석 방법

2.1 EPA-SWMM

EPA-SWMM 은 도시유역의 강우에 의한 유출과 하천유량과 수질을 모의할 수 있도록 U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA)에서 1971년에 개발된 모형으로서, Storm Water Management Model의 약자이다. 여러 기관에서 다양한 SWMM을 개발하였으며 본 연구에서는 EPA-SWMM 5.1을 사용하였다. SWMM에는 많은 모듈이 존재하며 홍수 추적과 유출해석에 관한 모듈이 중요한 역할을 한다. 홍수 추적은 관거, 펌프, 저류지, 수로 등 홍수 이동 모의를 수행하며 유출 해석으로는 소유역의 오염물, 증발, 침투등의 모의를 수행한다. 본 연구에서 유역 추적 방법은 물리적인 특성을 근거로 할 수 있는 비선형저류방정식을 사용하였으며 유역에서의 역경사로 이뤄진 관거가 없기 때문에 하도추적 방법에서는 일반적으로 많이 사용하는 운동파 모형을 적용하였다.

2.2 무강우 시간분석(IETD)

장기간 강우의 시 강우자료를 보게 되면 강우가 없는 부분이 존재하게 된다. 이는 연속적이며 불연속적인 강우의 기록을 의미하게 되는데 이러한 연속적이고 불연속적인 강우기록으로부터 각각의 개별적인 강우 사상을 분리하기 위해 강우의 시작과 끝을 분리하는 기준이 필요하게 된다. Inter Event Time Definition (IETD)가 위와 같은 기준을 쉽게 적용할 수 있다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 IETD란 장기간의 강우 자료를 통해 각각의 강우사상을 분리하는 최소한의 무강우 시간으로 정의될 수 있다. 북미의 경우 IETD를 6시간 정도로 결정하는 것이 적당하다는 결과가 나와 6시간으로 많은 연구가 진행되어왔지만, 국내의 경우 IETD 결정에 있어 일관성 있는 값을 제시하지 못했다. 하지만 서울, 수원, 부산 지점을 통해 각 지점별 관측소의 40년 치 시 강우자료를 통해 IETD 결정한 연구사례 Lee and Chung (2017)를 통해 서울지역은 10~13시간이 적당하다는 연구 결과를 발표하였다. 그러므로 본 연구는 2001~2018년의 서울 ASOS와 성동 AWS의 시 강우자료에 10시간의 무강우 시간을 적용하여 강우사상을 분리하였다.

Fig. 1. Definition of IETD Considering Runoff Characteristics

3. 대상유역 및 입력자료 구축

3.1 대상유역

본 연구에서 서울 AWS, ASOS의 강우 자료를 이용하여 시·공간적 특성을 적용하여 유출 분석을 실시하기 위해 관악산 ASOS 서울 관측소와 거리가 멀고, 대상유역과 밀접한 곳에 성동 AWS 관측소가 있는 용답 빗물 펌프장으로

선정하였다.

용답 빗물 펌프장은 서울특별시 성동구 용답동에 위치하고 있으며, 주거지역이 80%를 차지하고 있으며 공공용지 6%, 기타지역이 15%를 차지하고 있다. 용답 빗물펌프장 유역은 많은 도시화가 이루어진 전형적인 도시유역이다. 유역 출구에 있는 용답 빗물펌프장은 12,100 m^3 의 우수저용량과 352 m^3/min 의 펌프용량을 가지고 있다. 유역의 현황은 Table 1과 같으며 Fig. 2는 본 연구에 사용된 대상 유역인 용답 빗물펌프장과 서울 ASOS와 성동 AWS의 관측 지점을 표시하였다.

3.2 실측 유입량 추정

ASOS와 AWS의 강우자료를 통한 유입량을 비교 분석하기 위해서는 특정기간의 실측 유입량이 필요하다. 용답 빗물 펌프장의 경우에는 실측 유입량을 측정하는 기계와 시설이 존재하지 않다. 용답 빗물 펌프장의 경우 우수지 수위가 청계천의 수위보다 높아질 시 자연 방류관로(2.0 m × 1.8 m)를 통하여 청계천으로 방류하게 된다. 하지만 강우가 지속되어 청계천의 수위가 높아져서 자연 방류가 어려워지게 되면 수문을 닫고 펌프를 가동시켜 물을 토출하게 된다. 실측 유입량을 모의하기 위한 방법으로는 펌프 역산정이 있다. 강우가 발생하여 펌프가 가동되었을 때 펌프의 운영을 위해서 우수지의 내, 외수위를 관측하고 있으며 펌프를 가동시킨 시간과 실제 사용 용량을 기록하고 있다. 이러한 실측값을 통하여 실측 유입량을 산정하였고 추정식은 Eq. (1)과 같다.

$$Q = \frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t} + Q_{pump} \quad (1)$$

여기서 Q 는 현재시간까지의 10분 동안의 유입량(m^3/min)을 나타내며 S_t 는 현재 시간까지의 우수지의 저류량(m^3)을 나타내며 S_{t-1} 는 이전시간(10분전)의 우수지 저류량(m^3)을 나타낸다. Q_{pump} 는 10분 동안의 토출량을 나타낸다. Eq. (1)의 식에서 우수지 저류량을 구하기 위해서는 용답 빗물펌프장 우수지 수위-용적 계산이 필요하다. Seoul City (2010)의 용답 빗물펌프장의 수위-저수용량곡선 Fig. 3과 같이 나타내고 있다.

수위-저수용량곡선을 통해 저류량을 산정하였으며, 펌프 가동 시간과 용량을 통하여 용답 빗물펌프장의 기간에 따른 유입량을 추정할 수 있다(Lim et al., 2018). Fig. 4는 연구에 사용된 기간에 대한 실측유입량 곡선이다.

Table 1. Status of the Yongdap Pump Station

Station	Subcatchment (EA)	Node (EA)	Link (EA)	Area (km^2)	Total length (m)
Yongdap pump station	110	110	100	34.66	3545.66

Fig. 2. Seongdong AWS, Seoul ASOS, Yongdap Pump Station Location

Fig. 3. Yongdap Pump Station Level-capacity Curve

Fig. 4. Actual Inflow Curve

3.3 대상유역 매개변수 선정

SWMM에서 소유역과 관거의 매개변수로는 물리적과 수문학적인 매개변수로 구분할 수 있다. 물리적 특성으로는 유역의 관거, 면적 등과 같은 일종의 제원으로 나타나는 특정 값이며 수문학적인 매개변수로는 정확한 값의 파악이 어려워 추정이 필요한 매개변수 이다.

본 연구에서는 수문학적인 매개변수를 추정대상 매개변

수로 선정 하였으며 본 연구는 선행연구(Lim et al., 2018)를 참고하여 총 8개의 매개변수를 선정하였다.

선정된 매개변수로는 불투수지역 면적비, 투수지역의 조도계수, 불투수지역 조도계수, 투수지역 요지저류량 깊이, 불투수지역 요지 저류량 깊이, 요지저류가 없는 불투수지역 비, 유역폭, 평균경사 이며 본 연구의 목적인 ASOS와 AWS 관측자료의 차이로 인한 유출특성변 를 알기 위해 최적화에

의해 추정된 매개변수의 값은 Table 2와 같다.

Table 2. Parameters Estimated by Optimization

Parameters	Estimated Value
Percent of Impervious Area (%)	94
Manning's N for Pervious Area	0.36
Manning's N for Impervious Area	0.011
Depth of Depression Storage on Pervious Area (mm)	4.882
Depth of Depression Storage on Impervious Area (mm)	1.334
Percent of Impervious Area with No Depression Storage (%)	28.91
Characteristic Width of Overland Flow Path (m)	1
Average Surface Slope (%)	0.99

4. 분석 및 결과

4.1 강우사상 선택

본 연구에서 사용된 강우사상은 ASOS의 강우사상이 AWS의 강우자료보다 정확하다 판단하여 ASOS의 하나의 강우자료를 선택하였으며, 그 기간에 맞는 AWS의 강우자료를 구축하여 비교분석 하였다. 적용된 강우는 2013년 7월 13일에 발생한 강우사상이며 본 연구에 사용된 시간은 0:00시부터 11:00의 강우를 선택하였다.

기간 내 ASOS 강우자료의 총 강우량 153 mm이며, 시간 최대 강우는 35.9 mm/hr이며 AWS의 기간 내 총강우량은 168 mm이며, 시간 최대 강우는 41.9 mm/hr로 나타났다.

Fig. 5에 해당 기간 동안의 ASOS와 AWS의 강우량을 나타내었다. Fig. 5에 나타난 AWS 자료는 1분 자료를 시강우 자료로 환산한 결과이므로, 시간적인 계측 간격이 더 짧은 AWS의 침투 강우량 값이 ASOS 값에 비해 더 크게 나타났다.

4.2 도시구역 유출분석

본 연구는 선행 연구를 통해 검·보정된 SWMM 모형(Lim et al., 2018)을 사용하여 위에 선택한 ASOS와 AWS 강우사상에 대한 유출 분석을 실시하였고, 실측 유입량과 비교 분석하였다. 본 연구에서는 유역에 물리적인 특성이 없어 비선형저류방정식을 선택하였으며 유역 안에서 역경사로 이루어진 관거가 없기 때문에 일반적으로 많이 사용하게 되는 운동파(kinematic wave) 모형을 적용 하였다.

Fig. 6에 표시된 결과를 살펴보면, 초기에는 저류지로 유입량이 존재하지 않았으며, 실측 유입량과 비교한 결과 ASOS 유입량 모의값이 AWS의 유입량 모의값 보다 실측값과의 오차가 큰 것을 볼 수 있었다.

본 연구에서는 해당 자료가 적용타당성의 문제를 다루기 위한 연구로써 실측 유입량과 관측소별 유입량의 오차 분석을 하여 평가지표를 구성할 필요가 있다. 본 연구는 평균제곱근 오차(Root Mean Squared Error, RMSE)와 Nash-Sutcliffe (Nash and Sutcliffe, 1970) 효율계수(NSE)를 선택 하여 예측치와 실측치에 대해 검토 하였다. 계산식은 Table 3과 같다.

Fig. 5. AWS, ASOS Rainfall Comparison

Fig. 6. ASOS, AWS Inflow Volume, Actual Inflow a Comparison

Table 3. Structure of Evaluation Indicators

Classification	Science fomula
RSME	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i^{ob} - Y_i^{sm})^2}$
NSE	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i^{ob} - Y_i^{sm})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i^{ob} - \overline{Y_i^{ob}})^2}$

Table 3에 사용된 매개변수 중 N 자료의 수, Y_i^{ob} 는 i 일에 관측값 Y_i^{sm} 는 i 일에 모의값을 나타내고 $\overline{Y_i^{ob}}$ 는 관측된 실측값의 평균값 이다. 여기서 RMSE는 예측한 값과 실측 값이 어느 정도 오차를 가지고 있는지를 나타내는 값이므로 작은 값이 나올수록 우수한 결과를 나타내고, NSE는 정확 성 및 적합성을 나타내는 것이므로 1에 가까울수록 우수한 결과를 나타낸다.

두 강우자료의 평가지표 결과는 Table 4에 표시하였으며, ASOS는 각각 0.344와 0.849으로 나타났으며, AWS는 0.302 와 0.908으로 나타났다. AWS의 강우자료가 ASOS 보다 RMSE는 0에 가까운 값을 나타내었으며 NSE는 1에 더 가까운 결과가 나왔다.

Table 4. Analysis of Results According to Evaluation Index

Classification	RMSE	NSE
ASOS	0.344	0.849
AWS	0.302	0.908

5. 결 론

최근 이상기후와 급속한 도시화로 인하여 불투수면적비 율이 증가하고 있다. 그렇기에 내수침수 피해가 급증 하고 있으며 이로 인하여 재산피해와 인명피해가 증가하고 있다. 이러한 문제들로 인하여 지속적인 연구가 진행되어 왔다. 하지만 서울지역의 이상기후로 인한 내수 침수 피해 관련 연구에 사용되는 강우자료는 ASOS를 많이 사용 하고 있다. 이는 서울시의 시·공간적 특성을 고려하지 않아 불확실성 이 존재한다. 본 연구에서는 시·공간적인 특성을 고려하 기 위해 서울시에서 제공하는 ASOS와 AWS 강우사상을 사용하여 유출 분석을 실시하였으며, 본 연구의 적용대상유 역은 많은 도시화로 인한 대표적인 상업도시인 용답 빗물펌 프장 유역을 선택하였다. 연구에 사용된 AWS와 ASOS의 강우자료를 무강우시간 분석을 실시하여 서울시에서 제공 하는 강우자료보다 확실한 강우사상을 구축하였다. 본 연구 에서 두 개의 강우사상만을 비교해보았을 때 AWS는 1분 단위의 계측 시간을 가지고 있었지만 ASOS는 1분 누적 강우량을 나타내어 세밀한 계측 시간 간격을 가지고 있는 AWS 강우자료가 ASOS의 강우자료보다 침투 강우강도가 더 높게 나타났다. 시·공간적 특성을 보다 확실하게 확인하 기 위해 본 연구에서는 기존에 많이 사용하였던 유입량을 목적함수로 하여 실측 유입량을 추정하였으며 두 개의 강우 자료의 유입량을 비교 분석 하였으며 실측 유입량과 두 개의 강우사상을 그래프로 나타내었을 때 ASOS 유입량 모의값이 AWS의 유입량 모의값 보다 실측값과의 오차가 큰 것을 볼 수 있었다. 또한 적용 타당성을 비교하기 위하여 많은 곳에 사용되는 통계분석인 RMSE와 NSE를 선택 하였

다. 통계분석에서 최종적으로 ASOS는 각각 0.344와 0.849가 나왔으며 AWS는 각각 0.302와 0.908으로 나타났다. 유입량은 실제 펌프 가동기록에 의해 추정하였기 때문에 오차가 생겼다고 고려한다면 비교적 합리적인 오차범위 내의 값을 나타냈지만 AWS의 강우자료가 ASOS 보다 RMSE는 0에 가까운 값을 나타내었으며 NSE는 1에 더 가까운 결과가 나왔다. 본 연구에서 같은 서울 지역이지만 시·공간적 특성에 따라 유출해석이 달라지는 것을 알 수 있었으며, 시·공간적 특성을 고려한다면 서울지역의 설계강우량 산정에 도움이 될 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 건설기술연구사업 2014년의 ‘대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발(17SCIP-B089409-03)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

- Ahn, G.H., Lee, H.Y., and Kwon, W.T. (2001). The spatial distribution of precipitation in Seoul area. *Proceeding of 2001 Annual Autumn Conference*, The Korean Geographical Society, pp. 115-119.
- Ciach, G.J., and Krajewski, W.F. (2006). Analysis and modeling of spatial correlation structure in small-scale rainfall in Central Oklahoma. *Advances in Water Resources*, Vol. 29, No. 10, pp. 1450-1463.
- Kim, Y.H., Koo, H.J., and Nam, J.C. (2005). Evaluation of urban effect based on the spatial and temporal characteristics of rainfall in the Seoul region: The change of characteristics of rainfall induced by urbanization. *Seoul Studies*, Vol. 6, No. 2, pp. 165-183.
- Lee, J.W., and Chung, G.H. (2017). Estimation of inter-event time definition using in urban areas. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 4, pp. 287-294.
- Lee, D.R., and Jung, S.M. (1991). A study on temporal and spatial characteristics of rainfall in Han River basin. *Proceedings of the 1991 Conference*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 382-385.
- Lim, O.S., Yoo, D.G., Lee, E.H., and Kim, J.H. (2018). A study on the parameter estimation of sewer network model using sewer level data. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 3, pp. 261-269.
- Moon, J.W., Hwang, S.H., and Lee, D.R. (2015). Rainfall-runoff analysis using rainfall reanalysis data in Korea. *Proceedings of KSCE 2015 Convention*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 35-36.
- Nash, J.E., and Sutcliffe, J.E. (1970). River flow forecasting through conceptual models, Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Vol. 10, No. 3, pp. 282-290.
- Park, C.Y., Yeo, C.G., Lim, J.S., and Lee, J.H. (2015). Evaluating rainfall gauge network using AWS data in Seoul. *Seoul Studies*, Vol. 16, No. 2, pp. 165-182.
- Rodríguez-Iturbe, I., and Mejía J.M. (1974). The design of rainfall networks in time and space. *Water Resources Research*, Vol. 10, No. 4, pp. 713-728.
- Seoul City. (2010). *Basic and detailed design for improvement of rainwater pump station facilities Yongdap Pump Station*. D0000023951511, Seoul City.
- Yoon, S.S., Bae, D.H., and Choi, Y.J. (2014). Urban inundation forecasting using predicted radar rainfall: Case study. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 3, pp. 117-126.

Received	September 20, 2019
Revised	September 23, 2019
Accepted	October 7, 2019