



Accuracy evaluation of threshold rainfall impacting pedestrian using ROC

Choo, Kyungsu^a · Kang, Dongho^b · Kim, Byungjik^{c*}

^aMaster's degreee, Department of Urban Environmental Disaster Management, Kangwon National University, Samcheok, Korea

^bPh.D Candidate, Department of Urban Environmental Disaster Management, Kangwon National University, Samcheok, Korea

^cProfessor, Department of Urban Environmental Disaster Management, Kangwon National University, Samcheok, Korea

Paper number: 20-103

Received: 4 November 2020; Revised: 16 November 2020; Accepted: 16 November 2020

Abstract

Recently, as local heavy rains occur frequently in a short period of time, economic and social impacts are increasing beyond the simple primary damage. In advanced meteorologically advanced countries, realistic and reliable impact forecasts are conducted by analyzing socio-economic impacts, not information transmission as simple weather forecasts. In this paper, the degree of flooding was derived using the Spatial Runoff Assessment Tool (S-RAT) and FLO-2D models to calculate the threshold rainfall that can affect human walking, and the threshold rainfall of the concept of Grid to Grid (G2G) was calculated. In addition, although it was used a lot in the medical field in the past, a quantitative accuracy analysis was performed through the ROC analysis technique, which is widely used in natural phenomena such as drought or flood and machine learning. As a result of the analysis, the results of the time period similar to that of the actual and simulated immersion were obtained, and as a result of the ROC (Receiver Operating Characteristic) curve, the adequacy of the fair stage was secured with more than 0.7.

Keywords: Urban flooding, Impact forecast, Flood simulation, ROC, Threshold rainfall

ROC를 이용한 보행에 영향을 미치는 한계강우량의 정확도 평가

추경수^a · 강동호^b · 김병식^{c*}

^a강원대학교 도시환경재난관리전공 석사과정, ^b강원대학교 도시환경재난관리전공 박사과정, ^c강원대학교 도시환경재난관리전공 교수

요 지

최근 단기간의 국지성호우가 빈번하게 발생하면서 단순 1차적 피해를 넘어 경제적, 사회적 영향이 커지고 있다. 기상선진국에서는 단순 기상예보로서의 정보전달이 아닌 사회 경제적 영향을 분석하여 현실적이고 신뢰할 수 있는 영향예보를 실시하고 있다. 본 논문에서는 사람의 보행에 영향을 미칠 수 있는 영향한계강우량을 산정하기 위해서 Spatial Runoff Assessment Tool (S-RAT), FLO-2D 모델을 사용하여 침수정도를 도출하였고 Grid to Grid (G2G)개념의 한계강우량을 산정하였다. 또한, 과거 의학 분야에서 많이 사용하였지만 현재는 가뭄이나 홍수 등의 자연현상 및 머신러닝에 많이 사용하는 ROC 분석 기법을 통해 정량적인 정확도분석을 실시하였다. 분석 결과 실제 침수와 모의 침수가 비슷한 시간대의 결과가 나왔으며 ROC 곡선의 결과 0.7이상으로 Fair 단계의 적정성을 확보하였다.

핵심용어: 도시침수, 영향예보, 침수모의, ROC, 한계강우량

*Corresponding Author. Tel: +82-33-570-6489
E-mail: hydrokbs@kangwon.ac.kr (B. Kim)

1. 서론

기상재해에 대한 대응능력이 지속적으로 발전해 왔음에도 불구하고 극한 기후변화로 인한 이상기상현상의 발생빈도는 전 세계적으로 매년 증가하고 있으며, 많은 생명과 재산피해를 유발하고 있다(Jeong 2016, Kim *et al.*, 2017). 특히 우리나라에서는 최근 10년(2005 ~ 2014년)간 자연재해로 인해 발생한 피해액은 약 6조 9천억원이며 그 주요 원인은 국지성호우, 태풍, 대설이다(MPSS, 2015). 이런 국지성 호우는 유역 내 유출량을 변화시키고 짧은 시간의 강수에도 큰 피해를 발생시킨다. 또한 연 강수량의 대부분이 여름에 집중되어 있는 계절적 특성으로 도시화가 많이 진행된 대도시의 경우 배수시설의 설계한도를 넘어서는 집중 호우로 인해 침수피해가 발생하여, 국가적 수문계획수립을 어렵게 한다(Hanson and Weltzin, 2000; Bae *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019). 이에 호우로 인한 도시지역의 침수 재해 대응을 위한 효과적인 의사결정을 지원하기 위한 시스템의 필요성이 증대되고 있다(Keum *et al.*, 2018).

도심지 침수와 관련된 기존 연구의 최근 동향은 Kang *et al.*, (2007)은 FLUMEN과 같은 홍수범람해석 모델을 이용하여 실제사례와 검증한 후 모델을 가지고 홍수피해 저감방안을 제시하였다. 실제 침수흔적도와 모델의 침수범위가 0.16 km^2 차이를 나타내었다고 제시하였다. Simões *et al.* (2015) 는 Infoworks 모델을 이용하여 홍수 모델링 분석을 하였으며 같은 사상의 강우이벤트라도 범람을 하는 것이 다른 것을 제시하였다. Liao *et al.* (2019)는 도시 침수모델링을 하기 위해 SOBEK 모델을 사용하였고 강, 도시하수구, 지표 유출 유역을 나누어 구분하였다. 0.1 m 이상 수심을 홍수로 간주하였고 센서로 감지할 수 없는 경우 소셜 미디어 분석 시스템을 통해 실제 피해 정보를 분석을 하였다. Jia *et al.* (2019)는 돌발 홍수를 주제로 홍수 수문모델인 CNFF-HM에 대해 소개 및 검증을 하였으며 검증 결과 저수지가 모델 시뮬레이션하는데 상당한 영향을 미쳤고 저수지에서의 토양층이나 여러 매개변수에 따라 값이 달라지는 것이 나타났다. 모델을 구성하는 온도, 강우, 증발, 침투 등을 제외한 물리적 메커니즘을 나타내기 위해 더 많은 데이터가 필요하다고 제시하였다. 기존 연구에서는 여러 가지 모델을 연계해서 사용하는 방법이 많지 않았고 이를 보았을 때 본 논문에서 제시하는 유출모형과 침수모형의 커플링을 통한 결과도출 부분은 장점으로 판단된다. 나아가 이를 통해 본 논문에서 제시한 도심지 침수분석의 결과를 ROC 분석방법으로 검증을 하였다.

ROC 분석방법은 질병을 연구하는 의학분야에서 1960년 대부터 분류의 정확성을 검증하는 ROC (Receiver Operating Characteristic) 곡선을 활발히 사용하기 시작하였다(Lusted,

1960; Metz, 1978). 최근에는 홍수 및 가뭄모델의 검증에 많이 사용하고 있고 주요 연구사례로 Kim and Lee (2011) 또한 실제 가뭄사례와 가뭄지수와 의 정량적인 평가를 위해 ROC 분석을 적용한 바 있다. Yoo *et al.* (2013)은 가뭄지수로 이용되는 SPI를 실제 가뭄사례와 비교하여 ROC 분석을 실시하여 정확도에 대한 부분을 검증하였다. Gariano *et al.* (2015)는 이탈리아 남부 시칠리아의 산사태 예보를 위하여 한계강우량 산정에 있어서 ROC 검증을 이용하였고 Jeong *et al.* (2016)은 중장기 가뭄예측을 위하여 Mluti Layer Perceptron - Artificial Neural Network (MLP-ANN) 모형을 적용하였으며, 예측된 결과와 관측치에 대한 비교검토를 ROC기법으로 평가하였다. Lee *et al.* (2018)은 ASTER 또는 SRTM과 같은 범용 지형자료로부터 주요 지형학적 인자를 선정하고, ROC분석을 통해 홍수유역을 유사하게 모의하는 인자들을 선정하는 방법을 제시하였다. Lee *et al.* (2019)는 행안부에서 개발한 K-Flood 모형의 호우피해 예측지도 결과를 예측값으로 활용하여 ROC 및 LSSI 방법으로 정확도를 평가하였다.

본 논문에서는 영향예보 실시를 위한 한계강우량 산정의 정확도와 신뢰성을 확보하기 위해 ROC 기법을 사용하였다. 한계강우량의 산정을 위해 작성된 강우량-침수심 곡선의 경우 선행되었던 분석결과 자료를 활용하였다(Lee *et al.*, 2018). ROC 기법을 이용한 정확도 검증을 위하여 SNS 및 뉴스 등의 자료를 수집하였으며, 도심지의 경우 침수흔적도를 이용하여 얻을 수 있는 침수심 정보가 제한되기 때문에 실시간 SNS 및 뉴스 자료를 통하여 검증을 진행하였다. 수집된 자료와 강우량-침수심 곡선 결과를 이용하여 ROC 검증을 실시하였다. 본 논문의 검증결과를 바탕으로 강우량-침수심 곡선의 신뢰평가 정확도에 대한 타당성을 제시하였다. Fig. 1은 본 논문의 연구흐름도이다.

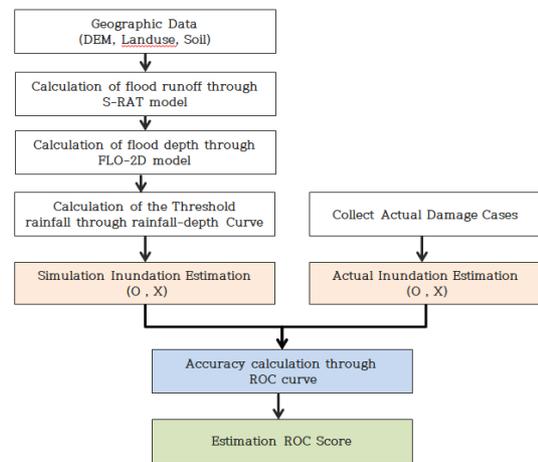


Fig. 1. Flowchart for study

2. 모형 및 이론

홍수 예·경보 시스템은 하천에 발생할 홍수를 미리 예측·통보하여 홍수로 인한 국민들의 피해를 최소화 시키고 홍수예·경보의 지속적인 향상을 도모하기 위해 구축되는 시스템이다 (Lee *et al.*, 2010). 일반적으로 강우법, 수위법, 강우-유출법 등으로 분류가 가능하다.

이에 본 논문에서는 도심지의 유역을 격자로 나누고 유역마다의 수문학적 인자를 반영하여 한계강우량을 산정하는 강우법을 제시하였다. 여기서 한계강우량은 유역별로 침수심(10 cm)을 유발하는 강우량을 의미한다. 격자별로 산정된 한계강우량을 이용한다면 강우가 발생하였을 때 새로운 수문학적 분석을 하지 않고 침수심을 산정할 수 있는 장점이 있다.

홍수량을 산정하기 위해 도심지를 1 km×1 km 격자 단위로 분할하고 분포형 모델인 S-RAT 모델을 이용하여 유출량을 산정하였다. 또한 침수심을 산정하기 위해 국내외에서 많이 사용되는 FLO-2D 모델을 이용하였다. Fig. 2과 같이 배수가 고려되지 않는 모델의 한계점을 보완하고자 도심지 배수능력(5년~15년)을 고려한 유출량을 입력자료로 사용하였다. 자세한 내용은 Lee *et al.* (2018)에 수록되어 있으며 본 논문은 선행 연구에서 산정한 방법을 사용하였다.

침수심을 산정하기 위해서 강우유출모형(S-RAT)을 이용하여 10 mm ~ 200 mm의 강우를 Huff3분위기법으로 이용하여 10 mm 간격으로 증가시켜 강우량에 따른 유출량 자료를 산정한다. 산정된 유출량을 이용하여 홍수범람모형(FLO-2D)에 적용하고 침수심 자료를 이용하여 강우량-침수심 곡선을

을 작성한다. 결과적으로 두 모델을 커플링하여 산정된 강우-침수심 곡선을 통해 각 격자의 특정 침수심(10 cm)을 유발시키는 한계강우량을 산정하였고 예측 침수와 실제 침수를 비교할 수 있는 ROC기법을 이용하여 예측의 신뢰도를 검증하고자 하였다.

2.1 분포형 강우-유출 모델(S-RAT)

S-RAT (Spatial Runoff Assessment Tool) 모델은 Kim *et al.* (2010)이 개발한 분포형 강우-유출모델로 GIS자료를 이용하여 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고 격자마다 시간간격별 개념적 물수지를 계산함으로써 유역의 시·공간적 유출량 변화를 모의하도록 설계되었다. S-RAT은 GIS자료로부터 유출 매개변수를 자동으로 추출하기 때문에 입력자료가 간단하다는 장점이 있다. S-RAT 모델은 각 격자별 침투 및 직접 유출을 산정하기 위해 SCS Curve Number (이하 CN) 방법을 사용하였다. 이를 위해 토양도 및 토지이용도를 입력받아 CN 값 격자자료를 생성하여 계산하게 된다.

$$\frac{dF[t,(i,j)]}{dt} = -\frac{F[t,(i,j)]}{H_s} - E[t,(i,j)] + P[t,(i,j)] \left\{ 1 - \frac{F[t,(i,j)]}{HS(i,j)} \right\} \quad (1)$$

여기서, $S(i,j)$ 는 잠재보유수량, $F[t,(i,j)]$ 는 침투저류조의 침투능(water content) (mm); $HS(i,j)$ 는 침투 저류조의 용량이고 $W[t,(i,j)]$ 은 지표하 유출; $P_n[t,(i,j)]$ (mm)는 직접유출; H_s 는 무차원 상수로서 개념적 매개변수이다. 침투저류조의

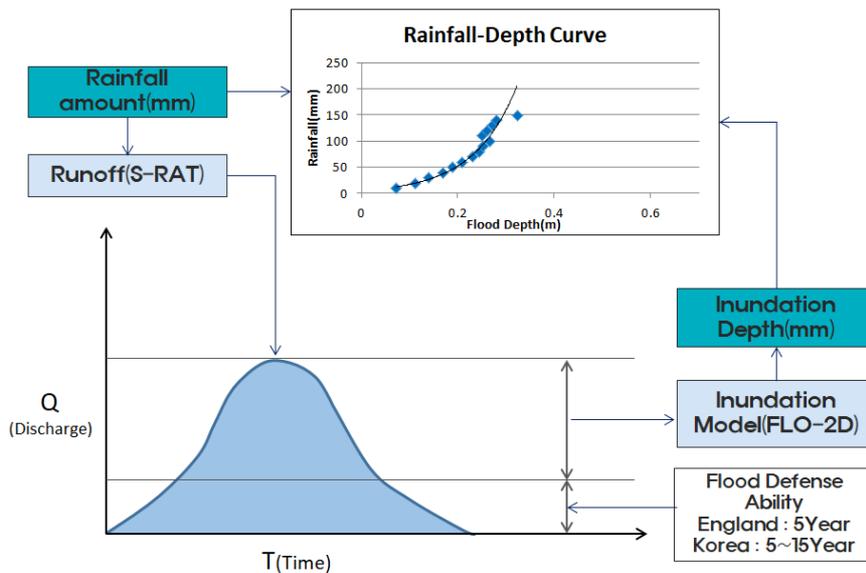


Fig. 2. Conceptual diagram of rainfall-depth curve (S-RAT / FLO-2D Coupling)

질량보존 지배방정식을 산정하면 Eq. (1)과 같다. 이는 4차 Runge-Kutta 방법을 이용하여 해석 할 수 있다.

2.2 홍수 범람 모델(FLO-2D)

FLO-2D 모델은 체적을 보존시키면서 홍수의 추적을 재현 해내는 모델이다. 미국 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency, FEMA) 공인된 모델이므로 신뢰성이 높으며, GDS, MAPPER++ 등이 있어 자동적으로 침수 구간 을 구별해낼 수 있다.

흐름방정식은 Eq. (2)와 같으며, 연속방정식과 운동량방정 식을 기본으로 한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V}{\partial x} = i \tag{2}$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

여기서 *h*는 유량의 깊이, *V*는 시작격자에서 8방향 흐름(*x*방향) 중 하나의 평균유속이며, *i*는 초과강우강도이다. *S_f*는 마찰경 사로 Manning 방정식을 기반으로 한다. 모델의 자세한 적용방 법은 (Lee *et al.*, 2018)에 수록되어 있다.

2.3 ROC 곡선(Receiver Operation Characteristics)

ROC 성능평가기법은 특정 수치를 *x*축(False Positive Rate, FPR, 1-Specificity)과 *y*축(True Positive Rate, Sensitivity, TPR) 에 나타내고 이를 확률적 근거를 통해 가장 높은 확률을 가지 는 모형을 찾는 방법이다(Heckerling, 2002). ROC는 분석하 고자 하는 대상을 실제값과 예측값으로 나누어 관측치와 추정 치가 얼마나 정확한지에 대한 ROC Score로 산정되며 이를 통해 정량적인 평가가 가능하다. 분석을 위해서는 반드시 2개 이상의 변수가 필요하며 변수 중 하나는 반드시 이분형 변수 여야한다. ROC 곡선은 Eq. (3)의 민감도(Sensitivity)와 Eq. (4)의 특이도(Specificity)에 의해 설명되며, 민감도란 실제 양 성 대 맞춘 양성 비율을 의미한다. 적중률(Hit Rate), 재현율 (Recall), True Positive Rate (TPR) 등 같은 여러 가지로 불리 지만 수문분야에서는 적중률(Hit Rate) 및 Recall (재현율)이 라는 용어를 많이 사용한다. 특이도는 실제 음성 대 맞춘 음성 의 비율을 의미하며 특이도와 민감도 둘 다 값이 클수록 좋다.

ROC 곡선을 그리기 위해서는 Table 1와 같이 4가지의 경우 에 대해 고려해야 한다. 본 논문에서는 2개의 모형을 이용한 강우량-침수심 커브를 실제 침수재현능력을 평가하기 위해서 ROC모형을 설정하였다. 실제 침수는 SNS 및 뉴스 등에서 찾 아 이를 Observed value로 설정하였고 모델링을 통해 나온 침

수결과를 Prediction value로 분류하여 침수 여부에 대해서 분 류하였다. 본 논문에서 설정한 ROC 모형은 실제 침수가 발생 하였다고 기록한 경우에 커브에서도 침수가 나타나면 “TP”, 그렇지 않으면 “FP”으로 나타내었다. 그리고 실제 침수가 발 생하지 않을 경우에 커브에서 침수가 발생한다면 “FN”을 설 정하고 이와 반대의 상황이면 “TN”로 나타내었다. 그리하여 “TP”와 “TN”의 경우는 참의 값으로 판단하고, “FN”, “FP”은 거짓의 값으로 결정하여 진행하였다. 또한 침수피해가 발생 하였던 한 사상을 시간단위로 침수유무를 판단하였다. 이를 위해 3시간 누적강우를 이용하였고 미래예측을 판단하기 위 해 과거 3시간이 아닌 미래 3시간 누적강우로 계산하였다.

$$Sensitivity(SE) = \frac{True\ Positive(TP)}{True\ Positive(TP) + False\ native(FN)} \tag{3}$$

$$Specificity(SP) = \frac{True\ Nagative(TN)}{True\ Nagative(TN) + False\ Positive(FP)} \tag{4}$$

Eqs. (3) and (4)를 통해 *x*축과 *y*축을 산정하고 민감도가 1에 가까울수록 예측의 신뢰성이 높다고 판단하고 Eq. (6)의 1-특 이도(False Positive Rate, FPR, Fall-out) 또는 위양성율(음성 을 양성으로 잘못 파악하는 비율)은 0에 가까울수록 좋다. 그 러하여 ROC 곡선이 좌측 상단에 가까이 위치할수록 모델링 예측 재현능력 우수하다고 판단할 수 있다(Fawcett, 2006). Table 1의 4가지 변수를 가지고 Eqs. (5)~(9)을 모두 작성할 수 있으며 Eq. (6)는 정확률에 관한 식으로 양성 예측도로 알려 져 있다. 모델이 양성으로 판단한 것 중에서 실제 양성으로 옳 게 예측된 항목의 비율이다. Eq. (7)의 경우 전체 케이스에 대 한 적중 케이스를 나타내는 식이며 Eq. (8)은 F-beta score의 일반화된 수식이다. Eq. (9)은 모델의 정확도를 측정하는 다 른 방법으로 정밀도와 재현율을 하나로 요약한 값이다. Eqs. (8) and (9)에서 가중 조화 평균(Weighted harmonic average) 라고도 하며 정밀도(Precision)와 재현율(Recall)을 적절히 혼합하기 위해 사용하는 용도이다. 이 때 정밀도에 붙는 가중

Table 1. Confusion matrix

		Predicted Value	
		Inundation	Non-Inundation
Actual Value (Observed Value)	Inundation	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	Non-Inundation	False Positive (FP)	True Negative (TN)

치를 β (beta)라고 하는데 이 값이 1인 경우가 많이 사용되어 F1 Score라고 불린다. 재현율에 더 높은 비중을 두고자 하는 경우 F beta Score값을 1보다 큰 값으로 지정하면 구할 수 있는데 본 논문에서는 침수와 모델의 정확도를 확인하므로 재현율에 비중을 두는 것이 맞다고 판단하였다. 그렇지만 Cut Value 값을 0.1 m로 지정하였기 때문에 1의 값만 넣는 것을 산정하였다. F1 Score는 0에서 1사이의 값을 가지고 높을수록 좋은 모델인 것을 알 수 있다.

$$1 - \text{Specificity (FPR)} = 1 - \frac{TN}{(TN+FP)} \quad (5)$$

$$= \frac{(TN+FP) - TN}{TN+FP} = \frac{FP}{TN+FP}$$

$$\text{Precision (Positive Prediction Value)} = \frac{TP}{FP+TP} \quad (6)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (7)$$

$$F_{\beta} = (1 + \beta^2) \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{(\beta^2 \cdot \text{Precision}) + \text{Recall}} \quad (8)$$

$$F1 \text{ Score} = \frac{2}{\frac{1}{\text{Precision}} + \frac{1}{\text{Recall}}} \quad (9)$$

$$= \frac{2 \cdot (\text{Precision} \cdot \text{Recall})}{(\text{Precision} + \text{Recall})}$$

AUC (Area of the Under Curve)는 Fig. 3과 같은 ROC곡선에서 곡선 아래의 면적을 의미한다. ROC 곡선의 x축과 y축의 최대값은 1이기 때문에 AUC는 최소 0에서 최대 1까지의 값

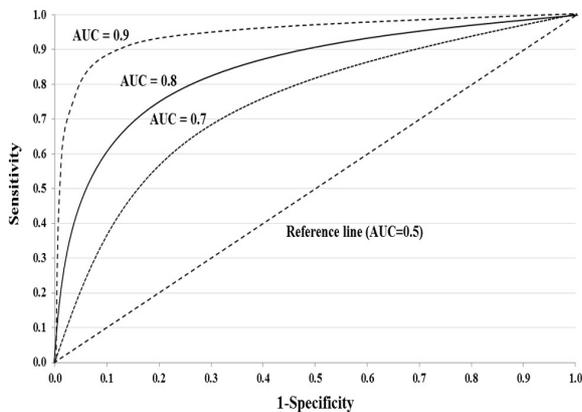


Fig. 3. AUC curve

을 갖는다. 일반적으로 $AUC < 0.7$ 이면 낮은 정도의 정확도, $0.7 < AUC \leq 0.8$ 이면 보통 정도의 정확도, $0.8 \leq AUC \leq 0.9$ 이면 높은 정확도를 갖는 것으로 해석한다(Muller *et al.*, 2005).

3. 적용 및 결과

강우량-침수심 곡선의 정확도 검증을 위해 침수 기사 또는 SNS 자료가 확보된 서울시 사당동, 강남 주민센터, 관악구도담천, 대치역, 강릉시 포남동, 강릉역을 예상지역으로 선정하여 분석을 실시하였다. 피해 사례의 강우기간은 서울 사당, 강남, 관악의 경우 2011년 7월 26일 ~ 28일까지이고 강릉은 2018년 강우사상 8월 6일과 2019년 10월 2일 ~ 3일이다. 수집된 침수자료와 강우량-침수심 곡선의 ROC 검증을 위하여 침수기준 선정이 필요하다. 침수심의 기준은 사람의 보행에 불편을 유발하는 침수심 높이로 선정하였으며 해당되는 침수심은 10 ~ 20 cm로 선정하였다(Lee, 2017). Figs. 4 and 6은 피해 당시 우량추상도이며 Figs. 5 and 7은 침수피해 지점 및 피해사진이다.

3.1 Rainfall-Depth Curve

Fig. 8는 침수 격자에 따른 Rainfall-depth curve를 나타낸 그림이다. 강우량별 침수심에 따라 R^2 값이 가장 높은 식을 산정하였다. 당시 실제 침수심 자료가 없어 피해사진을 통해 침수심을 유추하고 본 논문의 침수심 산정 결과값과 비교하였을 때 3시간 누적강우 평균값인 50 mm를 기준으로 관악 1 m, 사당 0.2 m, 강남 0.8 m, 대치 1.2 m로 대체적으로 피해사진과 비슷한 침수정도를 도출할 수 있다. 강릉의 경우도 포남동사거리 0.1 m, 강릉역 0.2 m로 비슷한 결과가 나왔다.

3.2 ROC 분석

각 피해격자에 대해 ROC 분석을 적용한 결과 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 중요한 점은 Precision (PRE)와 Recall인데 두 지표가 높을수록 좋은 모델을 의미한다. 그렇지만 일반적으로 Recall과 PRE의 경우 반비례 관계를 가지는데 2개 지표의 비율이 함께 고려되어야 한다. 간단하게 PRE의 경우 모델이 침수라고 예측하였을 때, 실제 침수가 되었는지 판단하는 지표라고 할 수 있고 Recall의 경우 실제 침수인 케이스에서 모델이 침수라고 예측한 것의 지표로 관점의 차이라고 할 수 있다.

본 논문의 피해사례 지역에서는 PRE가 낮게 나온 사례가

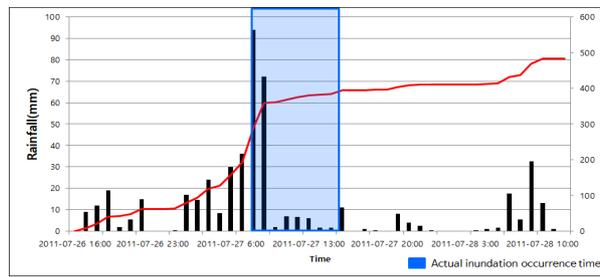


Fig. 4. Hyetograph in Seoul (2011)



Fig. 5. Photographs actual damage of the seoul (From left to Gwanak, Sadang, Gangnam, and Daechi)

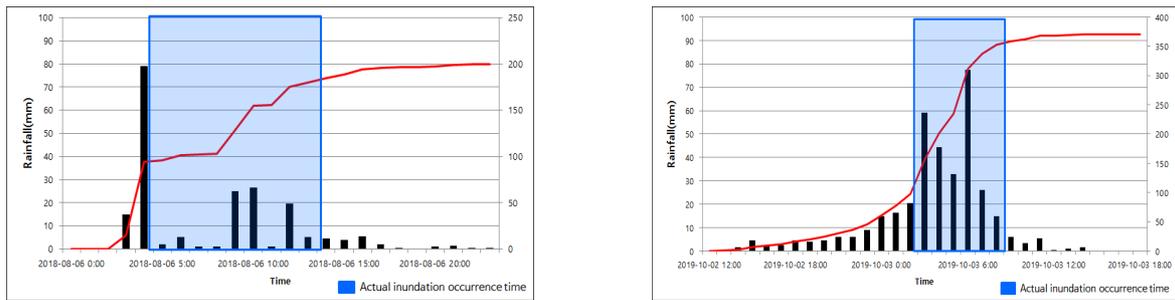


Fig. 6. Hyetograph in Gangneung (2018, 2019)



Fig. 7. Photographs actual damage of the Gangneung (From left to Gangneung station, Ponam-dong intersection)

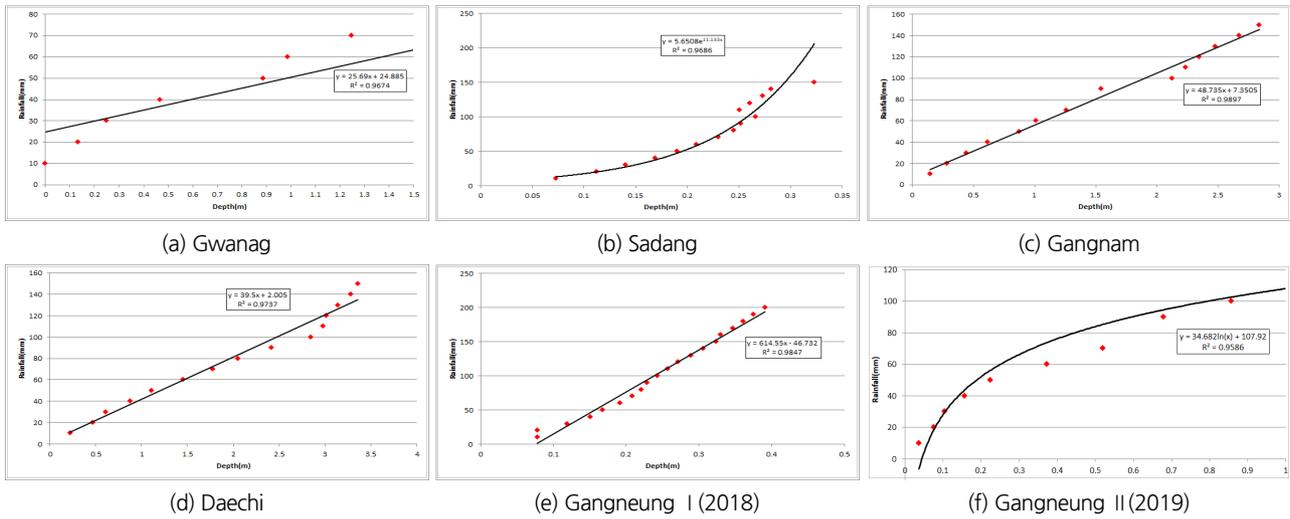


Fig. 8. Rainfall-depth curve in Seoul and Gangneung

Table 2. ROC analysis results

Administrative district	ROC Analysis				1-FPR	PRE	ACC	Recall	F1	AUC
	TP	FN	FP	TN						
Sadang	7	1	14	23	0.62	0.33	0.67	0.88	0.48	0.66
Gangnam	6	2	7	32	0.82	0.46	0.81	0.75	0.57	0.70
Gwanag	6	2	5	32	0.86	0.55	0.84	0.75	0.63	0.67
Daechi	6	2	8	29	0.78	0.43	0.78	0.75	0.55	0.78
Gangneung I (2018)	6	3	3	12	0.80	0.67	0.75	0.67	0.67	0.68
Gangneung II (2019)	6	1	3	21	0.88	0.67	0.87	0.86	0.75	0.87

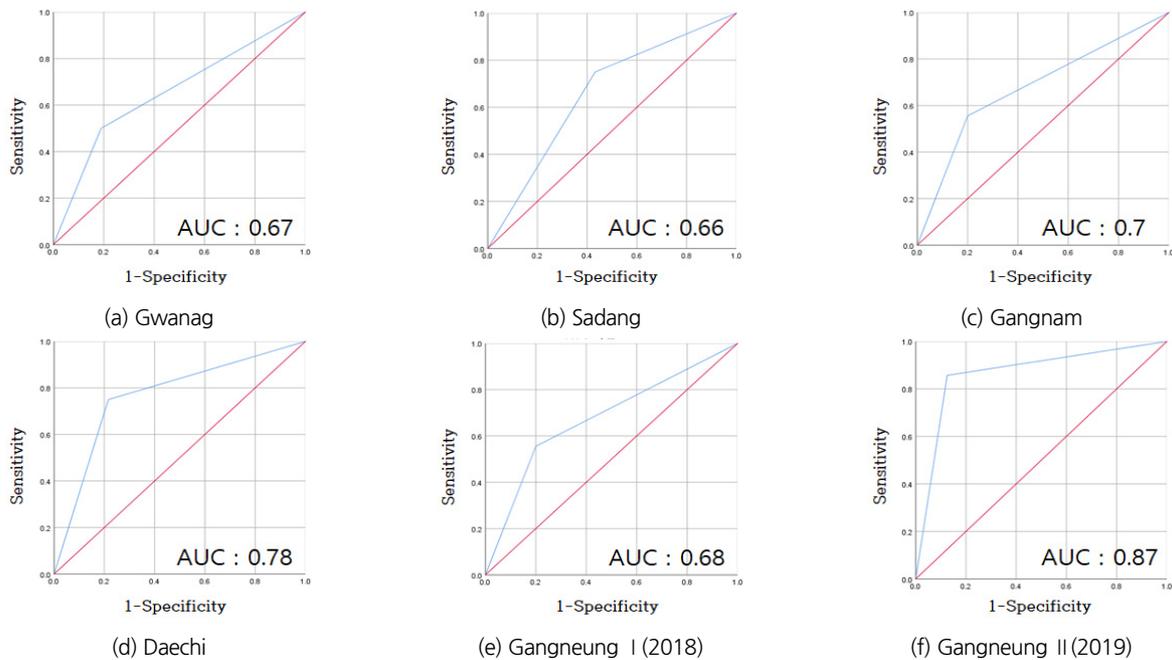


Fig. 9. ROC curve

있는데 이는 강우가 오지 않은 시간은 분석에 포함하지 않았고 강우 시간과 강우로 인한 침수시간이 짧아 모델의 PRE가 낮게 나온 것으로 판단된다. 또한 강우가 발생했던 시간에 비해 침수피해 시간이 적었다는 것을 의미한다. 그리고 Recall은 높은 것을 확인할 수 있는데 이는 침수가 났던 시간에 침수가 많이 났다고 판단했음을 의미한다. 그리하여 본 논문의 사례처럼 Precision은 낮고 Recall가 높았을 시는 모델의 모의 침수의 판단이 실제 침수가 나지 않았을 때 침수라고 판단한 경우가 어느 정도 있다는 것을 의미한다. 그렇지만 앞서 언급한대로 강우가 왔었던 케이스만 분석에 적용하였기 때문에 Recall 지표가 높다는 것은 침수유무를 잘 나타내었다고 판단된다.

F1 Score의 경우 본 논문에서는 보행에 영향을 미치는 기준 10 cm를 정의하여 침수심의 기준을 판단하였기 때문에 유의미한 값을 얻었다고 보기 힘들다. ACC의 경우 침수가 되지 않았을 때 침수가 되지 않았다는 것을 예측한 결과로 ACC 결과는 본 논문 결과로 적절하지 않을 것이라 판단된다.

Swets (1988)에 의하면, 자연현상인 강우예측의 평균 ROC Score는 0.82, 폭풍에 대한 평균은 0.74이다.

산정결과는 Fig. 9와 같으며 서울 4개 지점과 강릉 2개 지점에서 0.7에 가까운 수치를 산정할 수 있었고 이는 Fair과 Good의 단계라 판단하여 신뢰성을 확보하였다. Fig. 9에서 0.5 기준으로 나타나 있는 빨간색 선을 기준으로 가까울수록 모델의 성능이 낮아짐을 의미한다.

각 피해 격자별 ROC 커브를 보면 관악, 사당이 조금 낮은 정확도를 나타내었는데 당시의 뉴스 및 SNS 자료의 부재로 인해 정확한 침수시간대를 산정하지 못한 부분으로 인해 스코어가 낮게 나왔다고 판단되고 크게 이슈가 되었던 강남일대 및 대치동 부근은 과거 사료에 정확한 침수시간 나와 있어 정확도가 올라간 것을 볼 수 있었다. 강릉의 경우도 최근 2019년의 자료에서 정확한 시간대가 나와 있어 본 논문에서 진행한 방법을 통해 높은 정확도를 산정한 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 침수심을 산정하기 위해 S-RAT모형과 FLO-2D 2개의 모형을 커플링하여 강우량을 통해 유출량을 산정하고 산정된 유출량을 통해 침수심을 산정하여 강우량-침수심 곡선을 도출하였으며 이를 활용하여 각 지역마다 침수심을 도출하였다. 그리고 모의한 침수심의 정확도를 검증하기 위해 ROC Curve를 이용하였으며 결과는 다음과 같다.

- 1) 2011년 7월 관악, 사당, 강남, 대치의 침수실적을 기준으로 정확도 예측 결과는 0.66, 0.7, 0.67, 0.78의 AUC가 나왔으며 Fair와 Good의 단계라고 판단할 수 있다. 또한 강릉의 경우도 서울의 사례와 비슷하게 나왔다. 이를 통해 본 논문에서 제시한 2개의 모형을 통한 침수심의 산정방법의 재현율의 수치가 유의미한 값으로 나온 것으로 미루어보아 실제 침수대비 모델의 예측이 어느 정도 정확성을 확보하였음을 알 수 있고 AUC의 값을 통해 적정성을 확보하였다고 판단된다.
- 2) 검증을 통해 정확도가 낮게 나온 케이스를 향후 강우량-침수심 식의 고도화 및 다양한 실적자료의 수집방법을 찾아 정확도를 더 높일 수 있을 것이라 전망된다. 정확도를 더 향상시킴으로서 본 논문에서 제시한 모델링 기법으로 실시간 침수에 대한 대책을 마련할 수 있을 것이라 전망된다.
- 3) 본 논문에서 제시한 모델링 기법은 과거의 강우사상으로만 검증을 하였지만 추후 머신러닝 기법을 이용하여 강우량을 예측하여 검증을 실시한다면 강우사상의 검증까지 가능하게 될 것이라 판단된다.

본 논문에서는 영향예보 활용을 위한 한계강우량 산정의 정확도 평가를 실시하였는데 이는 전 세계적으로 현상예보에서 영향예보로의 전환이 이루어지고 있는 실정에서, 국내에서는 영향예보와 관련된 연구가 많이 이루어지지 않고 있는 부분에 대해 정량적 평가의 기준으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다. 또한 본 논문에서 제시한 방법을 통해 앞으로 새로운 방법론의 정량적 검증 기법으로 활용하여 신뢰성을 올려줄 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 선진기술개발연구사업(KMI2018-03010)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Bae, S.J., Ahn, D.B., Yoo, H.W., and Lee, C.M. (2017). "Optimization of underground water reservoir location problem for preventing floods-seoul case study." *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 43, No. 4, pp. 308-317.
- Fawcett, T. (2006), "An introduction to ROC analysis." *Pattern Recognition Letters*, No. 27, pp. 861-874.
- Gariano, S.L., Brunetti, M.T., Iovine, G., Melillo, M., Peruccacci,

- S., Terranova, O, Vennari, C., and Guzzetti, F. (2015), "Calibration and validation of rainfall thresholds for shallow landslide forecasting in Sicily, southern Italy." *Geomorphology*, Vol. 228 pp. 653-665.
- Hanson, P., and Weltzin, J. (2000). "Drought disturbance from climate change: Response of United States forests." *The Science of the Total Environment*, Vol. 262, pp. 205-220.
- Heckerling, P.S. (2002). "Parametric receiver operating characteristic curve analysis using mathematica." *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 69, No. 1, pp. 65-73.
- Jeong, K.Y. (2016), "Impact forecast vision and direction." *Meteorological Technology & Policy*, Vol. 9, No. 1, pp. 6-22.
- Jeong, M.S., Kim, J.S., Jang, H.W., and Lee, J.H. (2016). "ROC evaluation for MLP ANN drought forecasting model." *Journal of Korea Water Resource Association*, Vol. 49, No. 10, pp. 877-885.
- Jia, P., Liu, R., Ma, M., Liu, Q., Wang, Y., Zhai, X., Xu, S., and Wang, D. (2019). "Flash flood simulation for ungauged catchments based on the distributed hydrological model." *Water*, Vol. 11, p. 76.
- Kang, S.M., Park, M.J., Kim, S.H., and Kim S.J. (2007). "A study on the mitigation of inundation damage using flood inundation analysis model FLUMEN." *Journal Of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27, pp. 583-590.
- Keum, H.J., Kim, H.I., and Han, K.Y. (2018). "Real-time forecast of rainfall impact on urban inundation." *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 21, No. 3, pp. 76-92.
- Kim, B.S., Yoon, S.K., Hong, S.J., and Kwon, H.H. (2010). "Development of grid-based conceptual hydrologic model." *Korea Water Resoures Association*, Vol. 42, No. 7, pp. 667-679.
- Kim, G.S., and Lee, J.W. (2011). "Evaluation on drought indices using the drought Records." *Journal of Korea Water Resource Association*, Vol. 44, No. 8, pp. 639-652.
- Kim, H.M., Min, K.R., Kim, I.G., Lim, B.H., Youn, M.J., and Kim, S.B. (2017). "Paradigm shift to impact-based forecasting and warning services for natural hazard response." *Korea Society of Innovation*, Vol. 12, No. 3, pp. 161-178.
- Lee, B.J. (2017). "Analysis on inundation characteristics for flood impact forecasting in Gangnam drainage basin." *Atmosphere*, Vol. 27, No. 2, pp. 189-197.
- Lee, J.T., Seo, K.A., and Hur, S.C. (2010). "Flood forecasting and warning system using real-time hydrologic observed data from the Jungnang stream basin." *Korea Water Resources Association*, Vol. 33, No. 1, pp. 51-65.
- Lee, J.Y., Kim, D.K., Park, K.W., and Kim, T.W. (2019). "Establishment of accuracy criteria of flood inundation map using quantitative evaluation indices." *Journal of The Korean Society Of Civil Engineers*, Vol. 39, No. 3, pp. 381-389.
- Lee, K.S., Lee, D.E., Jung, S.H., and Lee, G.H. (2018), "Analysis of large-scale flood inundation area using optimal topographic factors." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 51, No. 6, pp. 481-490.
- Lee, S.H., Kang, D.H., and Kim, B.S. (2018). "A study on the method of calculating the threshold rainfall for rainfall impact forecasting." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, pp. 93-102.
- Liao, H.Y., Pan, T.Y., Chang, H.K., Hsieh, C.T., Lai, J.S., Tan, Y.C., and Su, M.D. (2019). "Using Tabu Search adjusted with urban sewer flood simulation to improve pluvial flood warning via rainfall thresholds." *Water*, Vol. 11, p. 348.
- Lusted, L.B. (1960). "Logical analysis in roentgen diagnosis." *Radiology*, Vol. 74, pp. 178-193.
- Metz, C.E. (1978). "Basic principles of ROC analysis." *Seminars in Nuclear Medicine*, Vol. 8, pp. 283-298.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS) (2015). *2015 Disaster Annual Report*, p. 222.
- Muller, M.P., Tomlinson, G., Marrie, T.J., Tang, P., McGeer, A., Donald, E.L., Detsky, A.S., and Gold, W.L. (2005). "Can routine laboratory tests discriminate between severe acute respiratory syndrome and other causes of community-acquired pneumonia?" *Clinical Infectious Diseases*, Vol. 40, pp. 1079-1086.
- Simões, N.E., Rodríguez, S.O., Wand, L.P., Pina, R.D., Marques, A.S., Onof, C., and Leitão, J.P. (2015). "Stochastic urban pluvial flood hazard maps based upon a spatial-temporal rainfall generator." *Water*, Vol. 7, No. 7, pp. 3396-3406.
- Swets, J.A. (1988). "Easuring the accuracy of diagnostic systems." *Science*, Vol. 240, No. 4857, pp. 1285-1293.
- Yoo, J.Y., Song H.Y., Kim, T.W., and Ahn, J.H. (2013). "Evaluation of short-term drought using daily standardized precipitation index and ROC analysis." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 5, pp. 1851-1860.