

## 정량적 평가 지표를 활용한 호우피해 예측지도의 정확도 판단기준 설정

이진영\* · 김동균\*\* · 박경운\*\*\* · 김태웅\*\*\*\*

Lee, Jin-Young\*, Kim, Dongkyun\*\*, Park, Kyung Woon\*\*\*, Kim, Tae-Woong\*\*\*\*

### Establishment of Accuracy Criteria of Flood Inundation Map Using Quantitative Evaluation Indices

#### ABSTRACT

It is important to estimate flood overflow because adverse weather phenomena are frequently occurring in recent years. In order to cope with such abnormal floods, it is essential to perform flood inundation simulations for constructing flood inundation maps as nonstructural countermeasures. However, there is no quantitative evaluation method and criterion for flood inundation prediction. In this study, the Receiver Operation Characteristics (ROC) and Lee Sallee Shape Index (LSSI) were employed to quantitatively evaluate the accuracy of flood inundation maps for 10 administrative districts. Comparing predicted inundation maps with actual inundation trace maps, the ROC score was 0.631 and the LSSI was 25.16 %. Using the ROC and the LSSI, we proposed an evaluation criterion for flood inundation map. The average score was set as an intermediate score and distributed into 5 intervals. The validity of the evaluation criterion was investigated by applying to the XP-SWMM model, which has been verified and corrected. The ROC analysis result was 0.8496 and the LSSI was 51.92 %. It is considered that the proposed evaluation criteria can be applied to flood inundation maps.

**Key words :** Accuracy criteria, Flood inundation map, ROC analysis, Lee Sallee Shape Index

#### 초 록

최근 빈번히 발생하는 이상기후의 영향으로 홍수범람 가능성이 커짐에 따라 침수범위에 대한 예측은 점점 어려워지고 있다. 이러한 홍수에 대비하기 위한 비구조적 대책 중의 하나인 호우피해 예측지도의 작성은 필수적이며 홍수범람 해석에서 중요한 부분을 차지한다. 하지만, 호우피해 예측지도의 정량적 평가방법과 기준이 없는 실정이다. 본 연구에서는 Receiver Operation Characteristics (ROC) 분석과 Lee Sallee Shape Index (LSSI) 방법을 이용하여 10개 행정구역에 대한 호우피해 예측지도의 정확도를 평가하였다. 그 결과 ROC Curve Score는 0.631, LSSI 방법은 25.16%로 분석되었으며, 각 행정구역에 대한 분석결과와 전체 결과를 활용하여 침수구간을 5개로 나누어 호우피해 예측지도 평가에 대한 정량적 평가방법을 제안하였다. 또한, 검·보정이 완료된 XP-SWMM 모형의 ROC 분석과 LSSI 결과, 각각 0.8496, 51.92%로 분석되어 침수피해 예측지도에 대한 평가기준의 적정성을 확보하였다. 본 연구에서 제안한 호우피해 예측지도에 대한 정량적인 평가기준은 다양한 재해지도에 적용 가능할 것으로 판단된다.

**검색어 :** 평가지표, 호우피해 예측지도, ROC 분석, Lee Sallee Shape Index

\* 정희원 · 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사수료 (Hanyang University · hydrojy@hanyang.ac.kr)

\*\* 종신회원 · 홍익대학교 공과대학 건설도시공학부 부교수, 공학박사 (Hongik University · kim.dongkyun@hongik.ac.kr)

\*\*\* 한양대학교 대학원 건설환경시스템공학과 석박통합과정 (Hanyang University · hydroipa@nate.com)

\*\*\*\* 종신회원 · 교신저자 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Hanyang University · twkim72@hanyang.ac.kr)

Received November 26, 2018/ revised December 24, 2018/ accepted May 23, 2019

## 1. 서론

최근 빈번히 발생하는 태풍과 국지성 호우 등은 유역내 유출량을 급격히 변화시켜 짧은 기간의 강수에도 불구하고 하류에서는 큰 피해를 가중시킨다. 우리나라는 동고서저의 지형학적 특징으로 인하여 경사가 급하고 강우의 도달시간이 짧아 집중호우가 발생할 경우 하류의 홍수범람 피해가 증가하고 있는 추세이다.

World Resources Institute(2015)에 의하면 164개국 중 15개국의 침수피해에 대한 피해자 수가 전체의 80%에 해당하며, 이들은 대부분 저개발국 또는 개발도상국에서 발생한 것으로 조사되었다. 이러한 저개발국 또는 개발도상국은 선진국에 비하여 상대적으로 방재인프라 및 관련 전문기술이 부족해서 홍수피해 저감을 위해 해당 국가들의 홍수위험 분석 및 대응방안 수립이 요구되고 있다 (Lee et al., 2018).

우리나라의 경우, 과거에는 하천중심의 치수대책을 수립하여 하천의 범람을 막는데 중점을 두었지만, 최근의 도시화와 사회구조가 변화함에 따라 인구가 밀집된 도시지역에서의 내수범람 피해를 저감하는 대책이 필요하게 되었다. 특히 태풍 ‘루사(2002)’, ‘매미(2003)’, ‘메기(2004)’, ‘나리(2007)’, ‘곶파스(2010)’ 등 태풍이 동반한 집중호우로 인해 많은 재산과 인명피해를 야기시켰다. 이와 같이 태풍으로 인한 침수 피해는 최근 들어 점점 증가하는 추세에 있으며, 국민의 생활 안전에 직·간접적 영향을 미치고 있다(Lee et al., 2014).

우리나라의 홍수에 대한 치수적 대책은 댐 및 제방 건설 등 홍수 방어시설을 구축하는 구조물적 대책과 호우피해 예측지도 제작 등 비구조물적 대책이 있다. 구조물적 대책은 하천개수 사업, 4대강 사업, 신설댐 건설, 저수지 뚫 높이기 사업 등이 대표적이며, 비구조물적 대책은 국토교통부가 2001년부터 진행 중인 국가하천 중심의 호우피해 예측지도 제작 및 행정안전부에서 주관하고 지방자치단체 중심으로 2007년부터 진행 중인 풍수해저감종합계획과 재해정보지도 작성, 침수예상 분석, 홍수 예경보 및 대피, 댐 저수지의 운영체제 개선 등이다. 적절한 구조물적 방재대책을 위해서는 먼저 비구조물적 방재 대책을 통한 사전계획 모의가 필요하며, 이러한 측면에서 호우피해 예측지도의 필요성은 더욱 높다고 할 수 있다(Lim and Choi, 2013). 이와 같이 침수가 발생할 가능성이 있는 지역을 미리 예측하여 침수피해에 대한 예방과 대책이 가능하다.

미국의 Federal Emergency Management Agency (FEMA)는 주민들이 홍수에 대비할 수 있도록 건물의 고도를 조정하며 호우피해 예측지도를 일반 국민에게 공개하고 이에 근거하여 주민들이 국가홍수보험제도(National Flood Insurance Program, NFIP)에 가입할 것을 의무화 하고 있다. 일반적으로 100년 빈도에 대한 호우피해 예측지도를 작성하고 NFIP에 가입하고 있다. 이 과정에

서 관측 자료의 년수와 강우 지속기간에 따라 100년 빈도 호우피해 예측지도의 양상이 달라지게 되며, 실제 100년 빈도의 홍수를 적절히 표현하는지에 대한 평가는 매우 어렵다. 따라서, 예측지도가 제작되는 일련의 과정과 모형의 입력자료의 품질을 관리함으로써 호우피해 예측지도의 객관성을 확보하고 있다.

유럽연합에서는 ‘European Floods Directive Program’을 운영하고 있으며, 호우피해 예측지도의 작성을 위한 가이드라인인 EXIMAP (European exchange circle on flood mapping) 을 출판하여 홍수지도 제작 과정의 기준을 마련하였다. 그러나 여기에는 지도 작성에 있어 기본적인 사항만을 개략적으로 기술할 뿐, 지도의 정확성과 객관성을 확보하기 위한 내용은 없으며, 프로그램에서 제작하는 호우피해 예측지도들에 대한 법적 근거는 없다.

호우피해 예측지도 작성과 관련하여 국내·외에서는 1990년 후반부터 1차원 모형인 HEC-RAS와 GIS를 이용한 범람지역을 모의하고 외수범람에 대한 호우피해 예측지도를 작성하는 연구가 다수 수행된 바 있다. Tate et al.(1999)는 HEC-RAS와 Arc-View를 연계하여 HEC-GeoRAS를 이용한 홍수 위험 분석 방법을 개발했으며, 이후 GIS와 HEC-GeoRAS를 이용하여 다양한 유역에 적용된 바 있다(Andrysiak Jr. and Maidment, 2000; Lee et al., 2003; Hwang et al., 2004; Kim et al., 2007; Park and Choi, 2011; Baumann and Halaseh, 2011; Lim and Choi, 2013; Kim et al., 2013; Moon et al., 2014; Ji and Cho, 2017; Lee et al., 2017) 또한, Flumen, XP-SWMM, LISFLOOD 모형과 같이 2차원 모형을 이용하여 홍수범람해석을 수행하고 2차원 모형의 적용성을 검토한 바 있다(Horritt and Bates, 2002; Jo et al., 2010; Park et al., 2017; Lee et al., 2018)

2000년 이후부터 인공위성 영상이나 Light Detection and Ranging (LiDAR), 드론 등을 이용하여 침수흔적도로 활용한 연구가 진행 중이다. 인공위성 자료를 활용한 피해지역을 산출하고, 홍수예측능력을 개선한 바 있으며(Islam et al., 2010; Khan et al., 2011; Chormanski et al., 2011), Lee et al.(2017)은 피연저수지 붕괴시 촬영된 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 영상을 활용하여 DAMBRK 모형결과로 시나리오별 침수범람도를 작성하고 저수지 붕괴조건을 역추적하였다. Lee et al.(2018)은 지형학적 인지를 선정하여 선형이진분류법과 Receiver Operation Characteristics (ROC) 분석으로 실제 홍수유역을 유사하게 모의하는 최적 지형인자를 도출한 후, 광역 홍수범람 해석을 수행하였다.

이와 같이 호우피해 예측지도를 작성하기 위하여 많은 선행연구가 진행되고 있지만 작성된 호우피해 예측지도가 실제 침수지역과 얼마나 일치하는지에 대한 정량적 분석 기법이나 판단기준이 제시되지는 않았다. 또한, 실제값인 침수흔적도가 다음해 6월경에 작성되며 자료의 취득 또한 쉽지 않다. 침수모형을 통해 작성되는 호우피

해 예측지도는 홍수가 발생 가능한 지역을 예측하고 대피계획에 활용되기 때문에 정량적 판단기준에 의한 평가가 수행되어야 한다.

본 연구에서는 호우피해 예측지도를 정량적으로 평가하기 위해 ROC 분석과 위치오차 평가방법인 Lee Sallee Shape Index (LSSI) 방법을 이용하여 호우피해 예측지도의 적용성을 평가하고 침수흔적도와와의 비교를 통해 평가기준을 개발하였다. 이를 위해 우선, 침수범람도, 홍수재해지도, 홍수위험지도, 재해정보지도, 호우피해 예측지도 등 대상과 목적에 따라 다양한 표현들이 있지만, 본 연구에서는 대상이 강우에 대한 침수지도인 경우 호우피해 예측지도로 작성하였다.

## 2. 연구방법

본 연구는 호우피해 예측지도를 작성할 때 정량적 평가방안을 마련하는 것이 목적이다. 정량적인 평가를 수행하기 위한 참값은 한국국토정보공사에서 작성하는 침수흔적도이며, 행정안전부에서 개발한 K-Flood 모형의 호우피해 예측지도 결과를 수집하여 예측값으로 활용하였다.

K-Flood 모형은 행정안전부에서 홍수범람도의 배포 프로그램으로 호우 및 태풍에 대한 피해를 예측하고 실질적인 총 피해액과 피해규모를 산정하여 재해에 대한 대응, 대비, 예방에 활용하기 위하여 개발되었다. K-Flood 모형은 DEM 전처리 과정에서 유출방향, 하천망, 유역경사도 등의 입력자료가 만들어지는 동시에 유출도의 단계로 이행되기 때문에 자료 구축에 있어서 매우 간편한 장점이 있으며, 2010년 개발된 이후 많은 연구자들에 의해 적용성이 검증되었다(Kim et al., 2010; Lim et al., 2013; Jeung et al., 2015; Nam et al., 2016).

입력된 강우는 침수흔적도 작성 당시의 강우를 입력한 결과이며, 이 외의 유역 및 하천 매개변수는 수치지형도, 토지이용도, 토양도를 활용하여 자동 계산되어 호우피해 예측지도로 출력된다. 10개의 행정동에 대한 K-Flood 결과를 ROC 분석과 LSSI 방법을 적용한 후, 호우피해 예측지도의 결과 범위를 기반으로 적정 판단기준을 마련하였다. 또한, 동두천시 유역에 2차원 모형인 XP-SWMM을 이용한 호우피해 예측지도를 수집하여 판단기준에 적용하였다.

### 2.1 ROC 분석(Receiver Operation Characteristics)

ROC 분석은 비적중률(False Alarm Rate, FAR)을 X좌표, 적중률(Hit Rate, HR)를 Y좌표로 나타내고 확률적 근거를 통해 가장 높은 확률을 가지는 분류를 찾아내는 방법이다. 분석하고자 하는 대상을 실제값과 예측값으로 나누어 관측치와 추정치가 얼마나 정확한지에 대한 ROC Score로 산정되며 이를 통해 정량적인 평가가 가능하다.

HR과 FAR은 Table 1과 같이 4가지의 항목으로 분류되며 Eqs. (1) and (2)와 같이 산정된다. HR과 FAR은 0에서 1사이의 값을 가지며, 완벽한 추정일 때, 적중률을 1이고 비적중률은 0이다. Swets(1988)에 의하면, 자연현상인 강우예측의 평균 ROC Curve Score는 0.82, 폭풍에 대한 평균은 0.74이다(Fig. 1).

$$HR = \frac{H}{(H + M)} \tag{1}$$

$$FAR = \frac{F}{(F + Z)} \tag{2}$$

ROC 분석을 GIS 기반에 적용하기 위해서 Table 1의 4가지 조건을 다음과 같이 분류하였다. 침수흔적도에서 범람지역이며 호우피해 예측지도에서도 범람지역이면 Hit (H), 침수흔적도에서 범람지역이지만 예측지도에서 범람지역이 아니면 Miss (M), 실제 범람지역이 아니지만 예측지도에서 범람지역이면 False (F), 실제 값과 예측값 모두 범람지역이 아닌 경우에는 Zero (Z)이다. 여기서, Zero (Z)의 경우 대상유역이나 행정구역을 시군구 단위로 할 경우, 시군구에서 중첩되는 부분이 상대적으로 작을 수 있다. 결국 FAR이 0으로 수렴할 가능성이 있기 때문에 읍면동 기준으로 산정해야 한다.

GIS 기반의 침수흔적도와 호우피해 예측지도를 ROC 분석에 적용하기 위한 방법은 2가지이다. 첫 번째는 침수흔적도와 호우피해 예측지도의 면적(Polygon) 자체의 중첩 여부를 고려하는 방법이며,

Table 1. Confusion Matrix for ROC Analysis

		Actual Value	
		YES	NO
Predicted Value	YES	Hit (H)	False (F)
	NO	Miss (M)	Zero (Z)

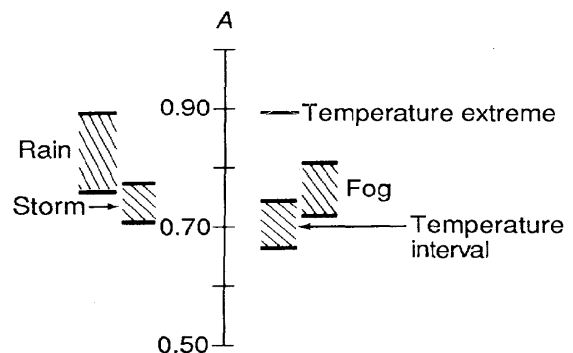


Fig. 1. Measured Values of A for Forecasts of Several Different Weather Conditions. Ranges are Shown where Multiple Tests were Made (Swets, 1988)

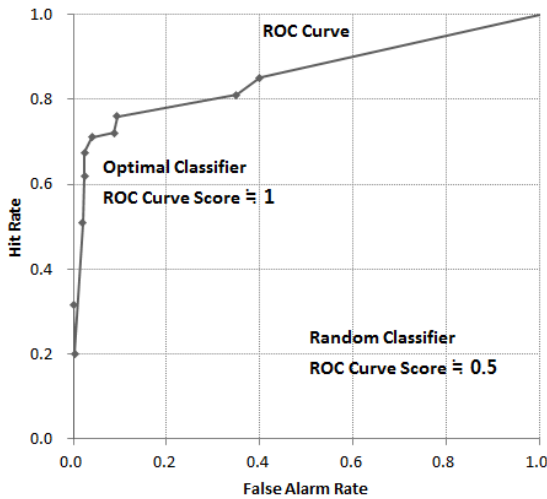


Fig. 2. ROC Curve Score

두 번째는 분포형 모형의 결과가 격자(Grid) 형태로 도출되기 때문에 침수흔적도를 동일한 격자 크기로 변경하여 중첩 여부를 고려하는 방법이다. 두 번째 방법은 침수흔적도를 변환하는 과정에서 작은 침수범위가 큰 격자로 변환되면서 과대평가되며 오차가 크게 발생한다. 따라서 본 연구는 격자기반 이외 모형에서의 범용성과 적용성을 고려하여 첫 번째 방법인 면적의 중첩여부로 수행하였다. 예를 들어, 읍면동 행정구역도에서 침수흔적도(A)와 호우피해 예측지도(B)를 도시한 후, 중첩되는 면적(A∩B)은 H로 산정하고 침수흔적도와와의 차집합(A-B)은 M, 호우피해 예측지도와의 여집합(B-A)은 F, 읍면동 면적에서 침수흔적도와 호우피해 예측지도의 합집합(U-(A∪B))은 Z에 해당한다.

ROC Curve를 작성하는 방법은 HR와 FAR의 순서쌍을 서로 연결하여 작성하는 방법과 (0, 0)과 (1, 1)을 지나는 곡선을 도시하는 방법이 있다. 본 연구에서는 HR과 FAR의 순서쌍을 서로 연결하여 ROC Curve를 산정하였다. ROC Curve의 최적 임계값은 HR이 1이고 FAR가 0인 경우로 ROC Curve에서 정점부인 (0, 1)를 모서리로 곡선 아래부분의 면적인 1이 최대 값이며, 반대의 경우 (1, 0)을 모서리로 한 0.5가 최소값이다(Fig 2).

### 2.2 Lee Sallee Shape Index Method

LSSI는 비교대상간의 교차 면적을 계산하여 공간적인 위치 정확도를 측정하는 것이다. 즉, 침수흔적도와 호우피해 예측지도와의 교집합 면적과 합집합 면적으로 나누어 일반화된 지수 형태로 값을 산출하여 두 자료간의 공간적인 위치 부합정도를 측정하는 지수이다. 이러한 LSSI는 0과 1사이의 값을 가지며 지수의 값이 1에 가까울수록 두 자료간의 공간적 위치 일치도가 높고, 값이 0에 가까울수록 낮게 된다. 일반화된 지수 형태로 값을 산출하여

기준 자료와 측정 자료의 위치 정확도를 측정할 수 있는 방법으로 공간적인 부합정도를 참고하기에 상당히 효율적인 방식이다 (Chung et al., 2007).

$$LSSI = \frac{A \cap B}{A \cup B} \quad (3)$$

여기서 A는 침수흔적도이며, B는 호우피해 예측지도이다.

예를 들어, Fig. 3에서 침수흔적도(A)의 면적을 산정하고 호우피해 예측지도(B)의 면적을 산정한 후, 두 침수면적의 교집합을 합집합으로 나눈 것이 LSSI 방법이다.

## 3. 적용 결과

### 3.1 침수흔적도 및 호우피해 예측지도 면적 산정

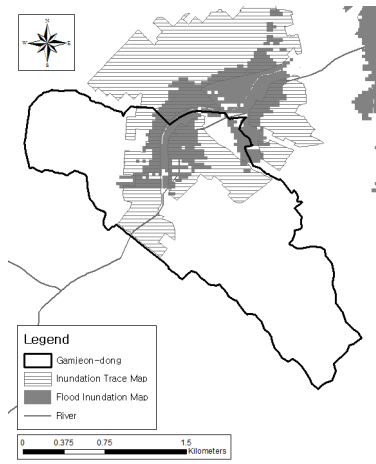
본 연구의 대상지역은 경기도 김포시(감정동, 광명동, 걸포동, 북변동, 장기동), 경기도 고양시 내유동, 경기도 이천시 단월동, 경상남도 산청군 신안면, 경상남도 창원군(대지면, 도천면)으로 총 10개 행정구역을 대상으로 분석하였다. 대상강우는 2006년 7월 12일부터 17일까지 내린 호우로 최대 221.5 mm의 강우에 해당한다. 10개 행정구역에 대한 침수흔적도와 호우피해 예측지도는 Fig. 3에 도시하였다. 또한 Fig. 3을 이용하여 침수흔적도(Inundation Trace Map)와 호우피해 예측지도(Flood Inundation Map)의 면적, 각 행정동의 면적, 침수흔적도와 호우피해 예측지도의 교집합을 산정하였다(Table 2).

### 3.2 ROC 분석 및 LSSI 분석

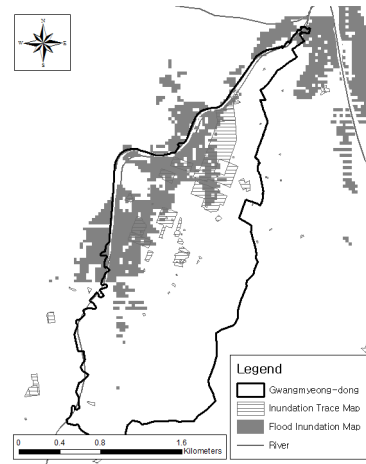
Table 2의 각 면적을 10개 행정구역에 대하여 4개 분류와 적중률, 비적중률을 산정하고 순서쌍을 직선으로 연결하여 ROC Curve

Table 2. Map Area by Administrative District (Unit: km<sup>2</sup>)

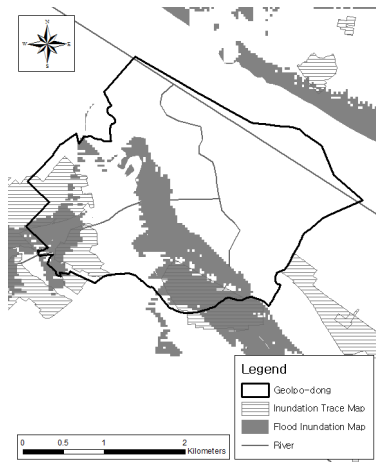
Num	Administrative District	Inundation Trace Map	Flood Inundation Map	Administrative District Area	Intersection
1	Gamjeon-dong	0.763	0.347	3.525	0.228
2	Gwangmyeong-dong	0.380	0.723	4.291	0.147
3	Geolpo-dong	0.965	0.309	7.565	0.305
4	Bukbyeon-dong	0.265	0.219	1.830	0.179
5	Janggi-dong	0.512	0.122	6.029	0.103
6	Naeyu-dong	0.495	0.246	5.937	0.107
7	Danwol-dong	0.476	0.548	3.616	0.213
8	Sinan-myeon	3.169	3.238	18.027	1.043
9	Daegi-myeon	3.355	3.374	25.370	0.810
10	Docheon-myeon	1.372	2.162	71.959	0.699



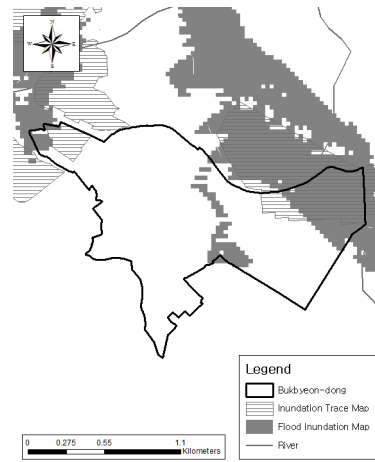
(a) Gimpo-si, Gamjeon-dong



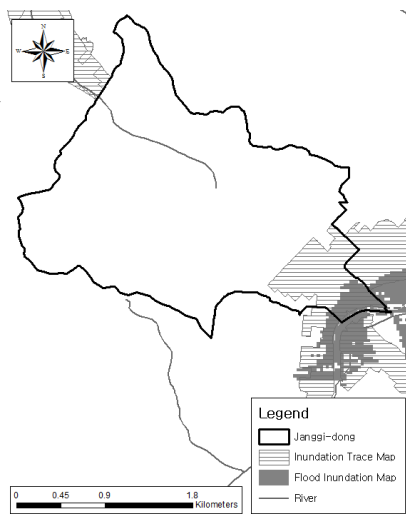
(b) Gimpo-si, Gwangmyeong-dong



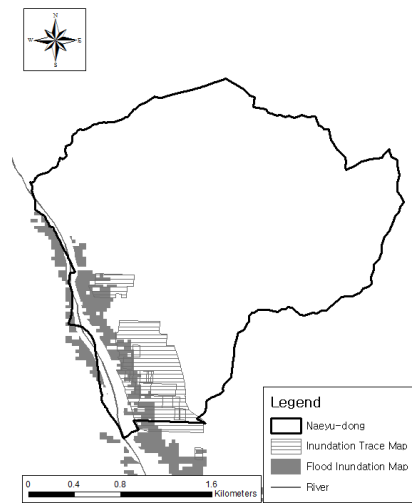
(c) Gimpo-si, Geolpo-dong



(d) Gimpo-si, Bukbyeon-dong

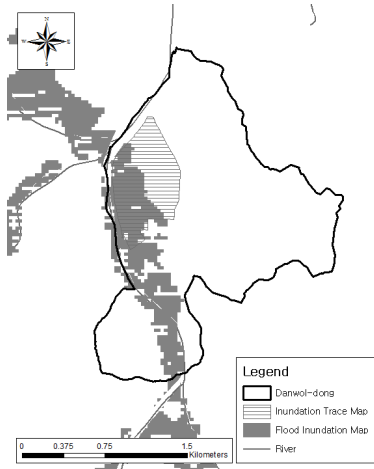


(e) Gimpo-si, Janggi-dong

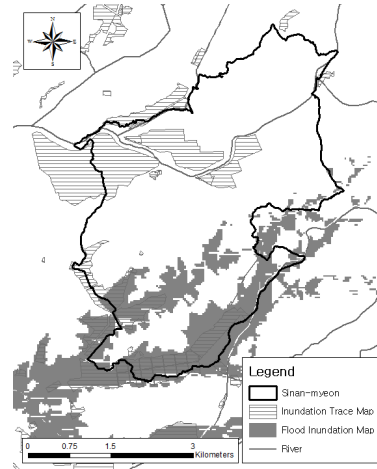


(f) Goyang-si, Naeyu-dong

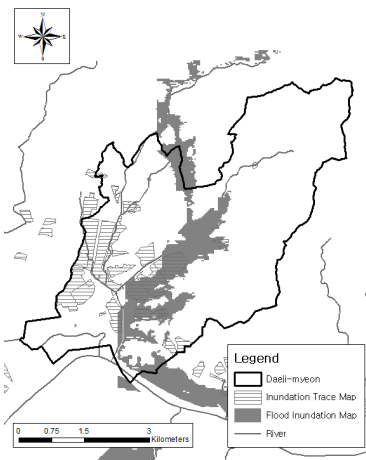
Fig. 3. Inundation Trace Map and Flood Inundation Map In Study Areas



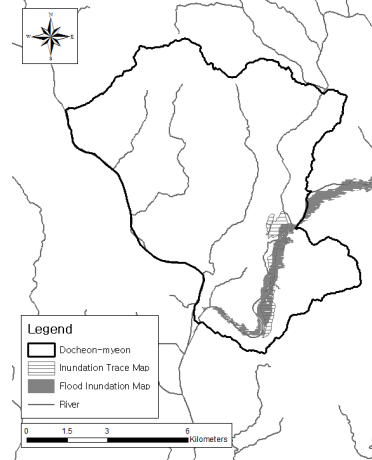
(g) Icheon-si, Danwol-dong



(h) Sancheong-gun, Sinan-myeon



(i) Changnyeong-gun, Daeji-myeon



(j) Changnyeong-gun, Docheon-myeon

Fig. 3. Inundation Trace Map and Flood Inundation Map In Study Areas (Continued)

Score를 산정하였다. HR과 FAR은 무차원이며, ROC Curve Score는 0.5 - 1.0의 범위를 가진다. 10개 행정동에 대한 ROC Curve Score는 0.631, LSSI의 평균은 25.16으로 산정되었다.

호우피해 예측지도의 교집합과 합집합을 이용하여 LSSI를 산정하였다(Table 3). Lee et al.(2018)은 지형학적 인자들이 검증된 결과에 대한 호우피해 예측지도의 평가결과로 ROC Curve Score를 0.770 - 0.924로 도출하였으며, 평균적으로 0.8 정도의 성능을 보인다고 증명한 바 있다. 또한, 침수흔적도에 대한 호우피해 예측지도의 산술적 정확도는 60 %인 것으로 분석된 바 있다. 따라서, Table 3에서 도출된 ROC Curve Score는 0.631은 일반적인 모형의 성능평가의 기준으로 활용되기에 적절한 것으로 판단된다. Jo(2004)는 LSSI 기법을 활용하여 시뮬레이션 결과를 0.15 - 0.37, 평균 0.23으로 도출한 바 있으며, 본 연구의 LSSI 결과가 유의한 수준인 것으로 판단된다.

### 3.3 판단기준 결정

Swets(1988)에서 제시한 자연현상에 대한 예측의 ROC Curve Score 값의 범위를 참조하여 호우피해 예측지도 평가에 있어서 우리나라의 실정에 적합한 ROC 분석의 판단기준을 제시하였다.

본 연구에서 ROC 분석결과는 0.631로 산정되었는데, Swets(1988)이 처음 제안한 폭풍에 대한 평균치인 0.74는 기상 조건에 대한 예측으로 폭풍의 발생 여부에 대한 평균치이다. 즉, 폭풍이 예측되었을 때 실제 폭풍이 발생하였는지에 대한 결과이기 때문에 본 연구의 침수 발생 후 침수 면적을 산정함에 있어서 강우-유출 모델링, 매개변수 등의 과정에서 오차를 포함하기 때문에 Swets(1988)의 결과보다 상대적으로 저평가 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 기존 Swets(1988)이 제안했었던 폭풍에 대한 평균치보다 낮게 설정하였으며, 0.65를 중간단계로 설정하고 총 5개의 점수를 배분하였다. 또한, 제안된 ROC 분석의 판단기준을 참고하여 LSSI의

Table 3. ROC and LSSI Results

Num	Administrative district	ROC Analysis				Hit Rate	False Alarm Rate	ROC Curve Score	LSSI (%)
		Hit	False	Miss	Zero				
1	Gamjeon-dong	0.23	0.12	0.54	2.88	0.30	0.04	0.631	25.84
2	Gwangmyeong-dong	0.15	0.58	0.23	4.49	0.39	0.11		15.39
3	Geolpo-dong	0.30	0.00	0.66	6.60	0.32	0.00		31.46
4	Bukbyeon-dong	0.18	0.04	0.09	1.61	0.67	0.02		58.52
5	Janggi-dong	0.10	0.02	0.41	5.54	0.20	0.00		19.45
6	Naeyu-dong	0.11	0.14	0.39	5.58	0.22	0.02		16.84
7	Danwol-dong	0.21	0.34	0.26	3.48	0.45	0.09		26.30
8	Sinan-myeon	1.04	2.20	2.13	17.05	0.33	0.11		19.44
9	Daeji-myeon	0.81	2.56	2.55	24.58	0.24	0.09		13.68
10	Docheon-myeon	0.70	1.46	0.67	72.05	0.51	0.02		24.65
Average									25.16

Table 4. Suggested Evaluation Criteria of ROC and LSSI

ROC Analysis		Lee Sallee Shape Index Method	
Range	Deg. of Accuracy	Range(%)	Deg. of Accuracy
0.80 ~ 1.00	Excellent (A)	40.0 over	Excellent (A)
0.70 ~ 0.80	Good (B)	30.0 over	Good (B)
0.60 ~ 0.70	Fair (C)	20.0 over	Fair (C)
0.55 ~ 0.60	Poor (D)	10.0 over	Poor (D)
0.50 ~ 0.55	Fail (F)	5.0 over	Fail (F)

Table 5. Application of Evaluation Criteria

Num	Administrative District	ROC Analysis		LSSI	
		Results	Accuracy	Results	Accuracy
1	Gamjeon-dong	0.630	Fair (C)	25.84	Fair (C)
2	Gwangmyeong-dong	0.637	Fair (C)	15.39	Poor (D)
3	Geolpo-dong	0.658	Fair (C)	31.46	Good (C)
4	Bukbyeon-dong	0.825	Excellent (A)	58.52	Excellent (A)
5	Janggi-dong	0.599	Poor (D)	19.45	Poor (D)
6	Naeyu-dong	0.596	Poor (D)	16.84	Poor (D)
7	Danwol-dong	0.680	Fair (C)	26.30	Fair (C)
8	Sinan-myeon	0.607	Fair (C)	19.44	Poor (D)
9	Daeji-myeon	0.573	Poor (D)	13.68	Poor (D)
10	Docheon-myeon	0.745	Good (B)	24.65	Fair (C)

적정 범위를 설정하였다. ROC 분석과 LSSI에 대한 적정 판단기준은 Table 4와 같으며, 판단기준을 적용한 10개 행정구역에 대한 호우피해 예측지도의 정확도 결과를 Table 5에 정리하였다.

행정구역의 면적이 큰 경우 ROC 분류표의 Zero가 크게 산정되어 ROC 분석결과의 정확도가 LSSI 방법에 비해 커지는 경향이 있으며, LSSI는 교집합이 클수록 ROC 분석결과에 비해 정확도가

향상되는 것으로 분석되었다. 따라서, 두 방법간에 상호 보완하여 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.4 다른 모형과의 비교 검토

동두천시는 2011년 7월 26일부터 28일까지 1일 최대 449.5 mm의 집중호우로 인하여 침수가 발생하였다. 동두천시 재해위험

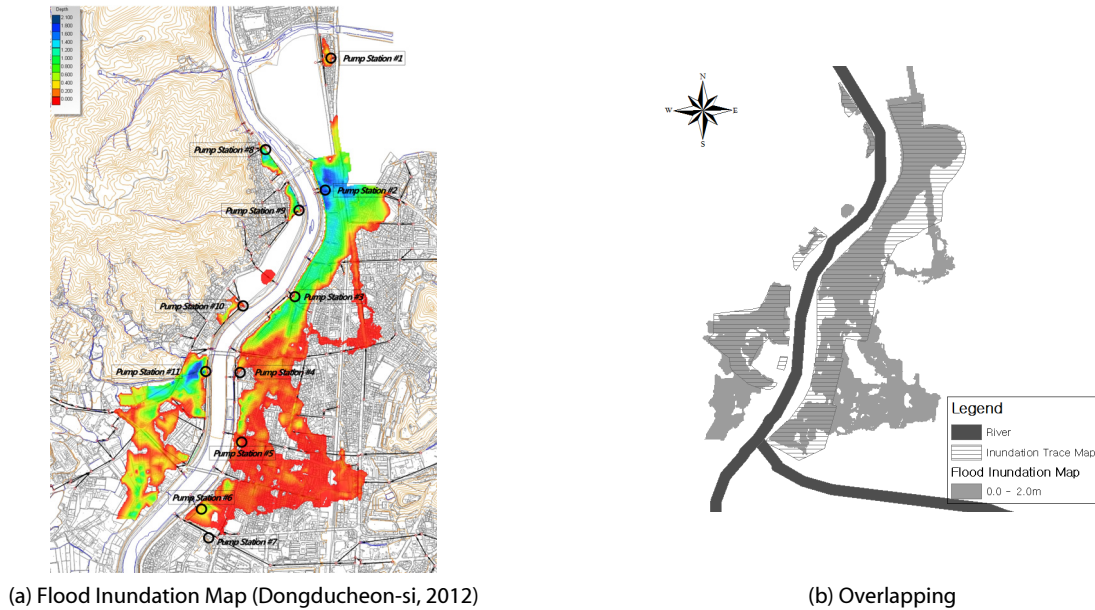


Fig. 4. Dongducheon-si Flood Analysis Result

지구 정비사업의 일환으로 2차원 침수모의가 가능한 XP-SWMM 모형의 결과를 수집하여 본 연구의 결과를 적용하였다. Fig. 4(a)는 XP-SWMM을 이용한 침수분석 결과이며, (b)에 침수흔적도와 호우피해 예측지도를 중첩하여 도시하였다.

ROC 분석과 LSSI 분석을 이용한 동두천시의 분석결과는 각각 0.8496, 51.92 (%)인 것으로 분석되었다. 이는 제시한 평가표의 “Excellent”에 해당한다. XP-SWMM 모형을 구축할 당시 침수흔적도와 11개의 배수펌프장 시설, 하천의 외수위를 기준으로 모형의 검·보정을 거쳤기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 침수흔적도와 호우피해 예측지도를 정량적으로 평가하기 위하여 ROC 분석과 LSSI 방법을 이용하여 호우피해 예측지도 작성의 정량적 평가방안을 제안하였다. 10개 행정구역에 대하여 적용한 ROC Curve Score는 0.631이며 LSSI는 25.16 (%)로 분석되었다. 제안한 평가기준은 분석 결과의 평균을 중간값으로 두고 ROC Curve Score의 0.5 - 1.0을 5개 구간으로 구분하였다. LSSI의 결과는 10개 행정구역의 50%의 값을 Fair로 산정하여 정성·정량적 평가가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 모형의 검·보정이 완료된 모형을 활용하여 동두천시에 평가기준을 적용한 바 적정범위로 분석되었다.

향후 판단기준을 개선하기 위해서 다양한 지역과 여러 호우사상에 대한 침수범람도와 호우피해 예측지도의 확보가 필요하다. 특히,

침수흔적도의 작성기간을 고려하여 인공위성이나 드론 등을 활용한 호우피해 예측지도의 정확성이 확보된다면, 재해에 대한 대비·대응시에 활용성이 증대될 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시한 판단기준을 활용하여 정량적인 평가결과를 활용하여 호우피해 예측지도가 부정확하다고 판단되면 모형의 매개변수 보정 검토를 통해 제작성에 대한 정량적인 지표로 활용 가능하다.

본 연구에서 참값으로 활용한 침수흔적도는 현장조사 및 주민담문을 통해 작성되어지며, 상류나 주민이 거주하지 않는 지역은 대부분 표기되지 않고 현장조사 영역에 국한될 소지가 있기 때문에 침수흔적 조사성과의 정확성을 확보할 필요가 있다. 재해와 관련하여 국민에게는 가장 민감할 수 있는 호우피해 예측지도에 대한 정량적인 평가기준은 목적에 따른 다양한 재해지도에 적용하여 신뢰성을 확보할 수 있는 비교자료로써 본 연구의 결과가 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05).

#### References

Andrysiak Jr., P. B. and Maidment, D. R. (2000). *Visual floodplain modeling geographical information systems (GIS)*, CRWR Online Report 00-4.



- Baumann, C. A. and Halaseh, A. A. (2011). "Utilizing interfacing tools for GIS, HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS, and ArcHydro." *In Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2011*, Palm Springs.
- Chormanski, J., Okruszko T., Ignar, S., Batelaan, O., Rebel, K. T. and Wassen, M. J. (2011). "Flood mapping with remote sensing and hydrochemistry: A new method to distinguish the origin of flood water during floods." *Ecological Engineering*, Vol. 37, No. 9, pp. 1334-1349.
- Chung, G. H., Jun, C. M., Kwon, J. H. and Jeon, C. D. (2007). "A study on the error detection of attached cadastral maps using GIS." *Journal of the Korean Cadastre*, Vol. 12, No. 2, pp. 47-55 (in Korean).
- Dongducheon-si (2012). *Disaster district maintenance plan: Jungang, Bosan, Sangpae-dong, Dongducheon-si*.
- Horritt, M. S. and Bates, P. D. (2002). "Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation." *Journal of Hydrology*, Vol. 268, No. 1, pp. 87-99.
- Hwang, T. H., Jang, D. W., Kim, H. S. and Seo, B. H. (2004). "Flood inundation analysis based on HEC-GeoRAS & HECRAS." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, KWRA*, pp. 737-741 (in Korean).
- Islam, A. S., Bala, S. K. and Haque, M. A. (2010). "Flood inundation map of Bangladesh using MODIS time-series images." *Journal of Flood Risk Management*. Vol 3, No. 3, pp. 210-222.
- Jeung, S. J., Hong, I. and Kim, B. S. (2015). "Non-stationary intensity-duration-frequency curves & design flood for drainage system design coping with climate change." *Crisis and Emergency Management*, Vol. 11, No. 10, pp. 237-255 (in Korean).
- Ji, M. H. and Cho, H. J. (2017). "Analysis of changes of flood inundation depth and area according to channel migration and river improvement using HEC-GeoRAS." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 50, No. 5, pp. 315-324 (in Korean).
- Jo, S. H. (2004). *Extraction and application of spatial association rules : A case study for urban growth modeling*, Master Dissertation, Inha University.
- Jo, W. H., Han, G. Y. and An, G. H. (2010). "Flood risk map using FLUMEN model." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, Vol. 30, No. 2B, pp. 169-177 (in Korean).
- Khan, S. I., Hong, Y., Wang, J., Yilmaz, K. K., Gourley, J. J., Adler, R. F., Brakenridge, G. R., Policelli, F., Habib, S. and Irwin, D. (2011). "Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria basin: Implications for hydrologic prediction in ungauged basins." *Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 49, No. 1, pp. 85-95.
- Kim, B. S., Yoon, S., Yang, D. M. and Kwon, H. H. (2010). "Development of grid-based conceptual hydrologic model." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 7, pp. 667-679 (in Korean).
- Kim, S. G., Song, I. H. and Ko, K. Y. (2007). "Cartography of disaster in Yeongsan river watershed using geographical information." *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, Vol. 9, No. 2, pp. 121-131 (in Korean).
- Kim, S. J., Kim, G. T., Jeong, J. H. and Han, S. O. (2013). "Flood inundation scenario development and analysis using HEC-HMS/RAS and HEC-GeoRAS models." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 4, pp. 199-205 (in Korean).
- Lee, J. H., Choi, J. J., Lee, H. C. and Lee, E. T. (2003). "Mapping of flood plain boundaries using high spatial resolution DEM." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, Vol. 23, No. 6B, pp. 471-478 (in Korean).
- Lee, J. Y., Park, D. H., Kim, S. J. and Kim, T. W. (2017). "Estimation of break outflow from the Goeyeon reservoir using DAMBRK model." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, Vol. 37, No. 2, pp. 459-466 (in Korean).
- 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 (in Korean).
- Lee, M. S., Jang, D. H. and Lee, S. (2014). "An analysis of flooded areas by flood frequency for drawing a flood risk map: Focusing on Nonsancheon and Soseongcheon basin." *Journal of Climate Research*, Vol. 9, No. 2, pp. 153-166 (in Korean).
- Lim, H. C. and Choi, S. K. (2013). "Expectation analysis of flood hazard map using spatial information." *Journal of the Institute of Construction Technology*, Vol. 32, No. 1, pp. 67-73 (in Korean).
- Lim, J. H., Sung, J. H., Hwang, S. H. and Kim, B. S. (2013). "Flood runoff simulation using S-RAT model and Radar rainfall." *Journal of KOSHAM*, Vol. 13, No. 5, pp. 307-315 (in Korean).
- Moon, C. G., Lee, J. S., Cho, S. G. and Shin, S. C. (2014). "Comparison of flood inundation models using topographic feature." *Journal of the Korea Geo-Environmental Society*, Vol. 15, No. 1, pp. 69-77 (in Korean).
- Nam, D. H., Lee S. H., Jun, K. W. and Kim B. S. (2016). "A study on the debris flow movement and the run-out calculation using the coupling of flood runoff model and debris flow model." *Crisisconomy*, Vol. 12, No. 8, pp. 131-143 (in Korean).
- Park, J. D. and Choi, J. M. (2011). "Flood area estimation and evacuation path analysis." *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 19, No. 1, pp. 1-11 (in Korean).
- Park, J. P., Kang, T. U. and Lee, S. H. (2017). "Evaluation of accuracy depending on pipe network density in urban flood inundation analysis using the SWMM." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 1, pp. 71-78 (in Korean).
- Swets, J. A. (1988). "Measuring the accuracy of diagnostic systems." *Science*, Vol. 240. No. 4857, pp. 1285-1293.
- Tate, E. C., Olivera, F. and Maidment, D. (1999). *Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS*, Ph.D. dissertation, The University of Texas at Austin, Texas Austin.
- World Resources Institute (WRI) (2015). *World's 15 countries with the most people exposed to river floods*. March 05.