



다기준의사결정기법을 이용한 도시 중소유역 홍수위험도 평가

Evaluation of Urban Small Watershed Relative Flood Risk using Multi Criteria Decision Making Method

이지호* · 전환돈** · 최종원*** · 박재범****

Lee, Jiho*, Jun, Hwandon**, Choi, Jongwon***, and Park, Jaebeom****

Abstract

This study has performed the relative flood risk assessment in the urban small watershed using entropy method and PROMETHEE (Preference Ranking Organizing METHod for Enrichment Evaluations) which is one of the multi criteria decision making method. The evaluation criteria are classified into three categories according to the rainfall and runoff characteristic and regional characteristic. Those are flood warning rainfall, rising curve gradient, flood magnitude ratio, flood duration time, flood contribution rate per unit area, impervious cover rate. Suyeong basin is separated to 20 subbasins and the suggested method is applied to verify its applicability. Out of twenty subbasins, six, fourteen and six basins are evaluated as high risk, medium risk and low risk. The flood occurred in one of high risk subbasins in the past and it is found that the method of this study is higher applicability.

Key words : Multi Criteria Decision Making, Flood Risk, PROMETHEE, Entropy

요 지

본 연구에서는 다기준의사결정기법인 프로메티(PROMETHEE) 기법과 가중치 산정기법인 엔트로피(Entropy) 기법을 적용하여 도시 중소유역의 홍수위험도를 평가하였다. 도시 중소유역의 홍수위험도 평가와 관련된 지표를 강우, 유출, 지역 요인에 따른 항목으로 구분하였다. 강우 요인으로는 경보강우량, 유출 요인으로 유출수문곡선의 상승부경사, 홍수량 비, 홍수지속시간을 선정하였으며, 지역 요인으로 불투수율, 침투홍수 기여율, 단위면적당 기여량을 선정하였다. 이에 따라 도시 중소유역인 수영강 20개 소유역을 대상으로 홍수위험도와 가중치를 산정하고 6개, 14개, 6개의 고·중·저 홍수위험 구역으로 구분하고 적용성을 검토하였다. 고위험군에 해당하는 14번 소유역은 과거 집중호우로 피해가 발생한 지역으로 본 연구에서 제안한 평가기법이 적용성이 높은 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 다기준의사결정, 홍수위험도, 프로메티, 엔트로피

1. 서 론

홍수는 인명과 재산 관련 피해를 발생하는 일반적인 자연 재해 중 하나로 홍수취약지역(Flood-prone area)을 파악하고

해당 지역에 대한 홍수관리를 위해서는 홍수위험도 평가가 필요하다. 미국에서는 재해위험성 평가결과를 홍수보험제도 운영을 목적으로 1990년 지역평가시스템(Community Rating System, CRC)을 도입한 이래 재난저감계획(Disaster

*정회원, 서울과학기술대학교 공학대학 건설시스템공학과 연구교수(E-mail: kjihito@seoultech.ac.kr)

Member, Research Professor, Seoul National University of Science and Technology, Dept. of Civil Engineering

**정회원, 서울과학기술대학교 공학대학 건설시스템공학과 부교수(E-mail: hwjun@seoultech.ac.kr)

Member, Associate Professor, Seoul National University of Science and Technology, Dept. of Civil Engineering

***정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정(E-mail: gksapdlf1599@seoultech.ac.kr)

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Seoul national University of Science and Technology

****교신저자, 정회원, (주)다온솔루션, 대표이사(Tel: +82+51-522-7705, Fax: +82+51-522-7705, E-mail: econeural@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Chief Executive Officer, Daon Solution co., Ltd.

Mitigation and Preparedness, DMP) 수립 시 자연재해 유형별 위험도를 산정하도록 하고 있다. 또한 HAZUS(HAZards United States)와 RVAT(Risk and Vulnerability Assessment Tool)과 같은 재해 피해예측 및 위험도 평가 프로그램을 개발하여 재해에 대한 피해규모를 예측하고 그 결과를 위험성 평가에 활용하고 있다. 유럽에서 하천홍수는 큰 피해를 발생하는 자연재해로 인식되어왔으며 유럽지역은 홍수로 1986년-2006년 동안 약 1억 유로의 피해가 발생하였다(CEA, 2007). 또한 기후변화로 하천홍수의 크기와 빈도가 증가할 것이라는 인식하에 미래의 기후조건 아래에서 유럽하천에 대한 홍수 위험도를 평가하기 위한 연구가 시작되었다(Milly et al., 2002). Moel et al.(2009)은 EU의 국가 홍수위해성 평가시스템과 보험사에서 운영중인 홍수위험도 평가 모형인 HORA, ZURS, FRAT 등에 대한 분석을 홍수지도 제공형태, 지도유형, 특성, 용도 등으로 구분하여 평가하였다. 거의 모든 국가에서 홍수지도를 생성하여 홍수위험도 평가를 위해 사용 중이며 폴란드와 프랑스 같은 일부 국가는 홍수위험도 평가를 공간계획시 의무적으로 이용하도록 하고 있다.

Bhaska et al.(2000)은 미국 켄터키 동부지방에서 발생하였던 30개의 돌발홍수사상에 대하여 돌발홍수 심도계수인 유출수문곡선의 상승부 경사, 홍수량비, 홍수반응시간을 이용하여 돌발홍수지수를 산정하였다. 이를 통해 홍수사상별 돌발홍수 크기를 정량적으로 분석하고 자연재해 사상의 특성을 파악하고자 하였다. Ologunorisa(2004)는 물리적 특성을 이용하여 홍수위험도를 평가하고 홍수위험지역을 심각한 지역, 복구된 지역, 낮은 위험지역으로 분류하여 나이지리아 삼각주지역에 대한 홍수완화 전략을 제시하였다. Saghafian and Khosroshahi(2005)는 소유역별 유출량이 유역 말단지점의 첨두유량에 미치는 기여율을 지수화하여 홍수원인 지역분석을 위한 기법을 제안하였다. Smith(2004)는 특정 빈도의 홍수사상이 발생할 확률과 사회적, 경제적 피해의 곱으로 홍수관련 위험도를 표현하였다. Balica and Wright(2010)는 노출성, 민감성, 탄력성으로 구성된 사회적 요소, 경제적 요소, 환경적 요소, 물리적 요소 등의 4개 항목에 대한 홍수지수를 산정하여 홍수위험도를 평가하였다.

국내의 경우 홍수위험도를 평가하기 위한 지수로 MLIT(2000)에서 잠재성과 위험성 2가지 요소의 곱으로 이루어지는 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD) 개념을 처음으로 도입하였으며 유역종합치수계획에서는 홍수피해잠재능을 이용하여 치수안전을 결정하고 홍수에 취약한 지역을 구분하고 홍수량의 유역분담을 계획하고 있다. MLIT(2005)에서는 설계빈도와 같은 확률빈도와는 연계성이 없는 홍수피해잠재능의 문제점을 개선하여 연피해 기대치 개념과 기왕최대강우량을 이용하여 도시홍수에 대한 잠재위험도를 산정하는 기법을 제안하였다. 또한 MLIT(2008)에서는 이상

홍수취약성지수(Excess Flood Vulnerability Index, EFVI)를 개발하여 안성천과 한강유역을 대상으로 홍수위험관리 측면에서의 취약성평가를 수행하였다.

Jang and Kim(2009)는 홍수로 인한 피해는 인명이나 재산 피해가 주를 이루기 때문에 홍수위험도 평가 결과도 홍수에 취약한 인명이나 재산으로 표현되는 것이 적절하다고 판단하고 지역적 회귀분석을 적용하여 가능 피해금액을 추산하고 이를 통해 각 지역별 홍수위험도를 평가하는 방법을 제안하였다. Kim et al.(2010)은 미계측 소유역에서의 확률강우에 대한 돌발홍수지수의 산정방법을, Song et al.(2013)은 통합홍수위험관리 측면에서 홍수위험도에 따라 지구를 구분할 수 있는 홍수위험지수의 산정 및 적용방안을 제안하였다. 낙동강 유역에 대하여 시·군·구 단위의 공간해상도로 홍수위험지수를 산정하기 위해 P-S-R (Pressure-State-Response) 구조를 분류하여 3개의 홍수지수인 압력지수(PI), 현상지수(SI), 대책지수(RI)를 대표하는 총 17개 세부지표를 선정하였다. 가중치 적용 유무에 따른 홍수위험지수의 산정결과와 2010년에 고시된 자연재해위험지구 중 침수위험지구와의 비교를 통해 제안된 홍수위험지수의 적용성을 검토하였다. Kim and Kim(2008)는 한강유역의 과거 101개의 홍수사상에 대한 유출수문곡선의 상승부 경사, 홍수량비, 홍수반응시간의 심도계수를 상대심도화 하였고 이를 통해 돌발홍수지수를 산정하였다.

Lee et al.(2011)은 지역특성, 강우특성, 지형특성을 평가기준으로 선정하고 엔트로피(Entropy) 기법과 프로메티 기법(Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation, PROMETHEE)을 이용하여 봉화군 17개 산지 소유역에 대한 홍수위험도를 평가하고 홍수위험지구를 선정하였다. Park et al.(2012)은 도시침수지역과 수해취약성인자의 비교를 통하여 수해에 취약한 고위험지역을 배수분구단위로 평가하는 방법론을 제안하였다. 도시침수지역은 침수피해 자료를 이용하여 침수면적과 침수횟수로 구분하여 분석되며 도시지역에서 자료수집이 용이한 저지대지역, 통수능력 부족관거, 불투수지역, 유출곡선지수를 수해취약성인자로 선정하였다. Song and Lee(2012)는 도시유역 침수위험도 평가와 관련된 항목들로 지형, 유역 평균고도, 평균경사, 유역폭과 같은 자연적 요인과 인구수, 관밀도와 같은 사회적 요인에 따른 항목으로 분리하여 다기준 의사결정기법을 이용하여 도시 내수 침수 위험도를 평가하였다. 이에 본 연구에서는 다기준의 사결정기법인 프로메티 기법과 가중치 산정기법인 엔트로피 기법을 적용하여 도시 중소유역의 홍수위험도를 평가하는 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 도시 중소유역에서의 홍수위험도 평가와 관련된 지표를 강우 요인, 유출 요인, 지역 요인으로 구분하였으며, 이를 부산광역시 수영강 유역에 적용하였다.

2. 연구 방법론

2.1 엔트로피 기반 가중치 산정

엔트로피(Entropy)는 어떤 신호가 가지고 있는 정보량 중 무작위현상과 관련된 불확실성의 척도로 이산형 확률함수로 표현한다. 엔트로피 기반 가중치 산정 기법은 평가기준에 대한 정보를 담고 있는 대안-속성 행렬로부터 의사결정자의 주관적인 판단에 의존하지 않고 데이터에 의해서만 가중치를 산정하는 객관적인 기법이다. 즉 대안들 간의 차이가 큰 평가기준은 중요한 기준이고 대안들의 차이가 적은 기준은 중요도가 낮은 기준을 의미한다. Pomerol and Romero(2000) 이 제안한 엔트로피 이론을 활용한 평가기준에 대한 가중치 산정절차는 다음과 같다. 먼저 소유역별 평가기준을 이용하여 Eq. (1)과 같이 대안-평가기준 행렬을 산정한다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

다음으로 평가기준에 대한 대안의 속성정보(p_{ij})를 정규화하는 과정이 필요하며 이를 식으로 표현하면 Eq. (2)와 같다.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

각 속성별 엔트로피 산정을 위해 평가기준 j 의 엔트로피의 가능한 범위는 $0 \leq E_j \leq \log m$ 이며, 엔트로피는 0과 1 사이의 값으로 정규화 된다.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \log p_{ij} (k = \frac{1}{\log m}; j=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

$$u_j = \frac{E_j}{\log m} \quad (4)$$

마지막으로 정규화된 엔트로피(u_j)을 이용하여 다양성의 정도(Degree of diversity)를 산정하고 평가기준간의 가중치를 결정한다.

$$d_j = 1 - u_j \quad (5)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} (j=1,2,\dots,n) \quad (6)$$

2.2 홍수위험 평가지표에 대한 순위선호 선정

프로메티 기법은 평가기준별 선호함수(Preference function)와 선호유출량(Outranking flow), 선호유입량(Outranked flow), 순흐름량(Net ranking)등을 기반으로 순위선호(Outranking)을 결정하는 다기준 의사결정기법이다. 이는 계산과정이 단순하고 의사결정자가 쉽게 이해할 수 있는 장점이 있어 수자원 관련분야에서 의사결정 문제에 많이 적용되고 있는 방법이다. 프로메티는 대안별 속성차이와 선호함수를 이용하여 선호유출량과 선호유입량을 산정하여 부분적인 순위선호(partial preorder)를 결정하고, 순흐름량을 이용하여 전체적인 우선순위(total preorder)를 결정하게 된다. 순위선호를 결정하기 위해 적용되는 선호함수, 선호유출량 및 선호유입량 등에 대한 정의는 Eqs. (7)~(10)과 같으며, 이들의 과정을 도시적으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{j=1}^J w_j P_j(a, b)}{\sum_{j=1}^J w_j} \quad (7)$$

$$\phi^+(a) = \frac{1}{N-1} \sum_A \pi(a, b) \quad (8)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{N-1} \sum_A \pi(b, a) \quad (9)$$

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (10)$$

여기서 $\pi(a, b)$ 는 대안 a 와 b 의 선호지수(Preference index), w_j 는 평가기준 j 에 대한 가중치, $P_j(a, b)$ 는 선호함수, $\phi^+(a)$ 는 선호유출량, $\phi^-(a)$ 는 선호유입량, $\phi(a)$ 는 순흐름량, N 과 J 는 대안과 평가기준의 수를 의미한다.

3. 대상유역에의 적용

3.1 대상유역

본 연구에서는 도시 중소유역 홍수위험도 평가기법을 적용



Fig. 1. Flow Chart of PROMETHEE Methodology

을 위해 부산광역시 수영강 유역을 대상유역으로 선정하였으며, 이 유역은 과거 홍수피해 발생한 지역이다. 수영강은 회야·수영 대권역에 속해 있으며, 유역면적과 유로연장이 각각 198.8 km², 28.4 km 인 지방하천이다. 수영강은 경상남도 양산시 매곡동과 부산광역시 기장군 정관읍에 걸쳐 있는 용천산(E.L. 542.8 m) 동양골에서 발원해 남으로 흐르다가 회동 수원지에 이르러 철마천과 합류한다. 회동 수원지를 거쳐 남으로 흐르는 수영강은 부산광역시 해운대구 재송동에서 금정산 북동 사면에서 발원한 온천천과 합류해 수영만으로 유입한다. 수영강 상류 구간은 대부분이 상수원 보호 구역으로 지정되어 오염원이 적고 수질도 양호한 편이다. Fig. 2는 대상유역인 수영강의 DEM(Digital Elevation Model) 및 하천망도를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 유역 내 배수체계를 고려하여 지형분석 도구인 HEC-GeoHMS(US Army corps of Engineering, 2010)

를 이용하여 20개 소유역으로 Fig. 3과 같이 분할하였다.

3.2 홍수위험 평가지표 산정

미계측유역인 수영강 유역의 20개 소유역에 대한 홍수위험도 평가를 위한 평가지표를 선정하였다. 도시 중소유역의 홍수위험도 평가는 관측자료를 이용한 수문학적 유출해석에 기반을 두어야 한다. 그러나 도시 중소유역은 대부분이 미계측 유역으로 정확한 홍수유출해석이 불가능하므로 수집 가능한 자료범위 내에서 최대한 오차를 줄일 수 있는 방향으로 홍수위험도 평가기준을 결정하고, 이에 대한 평가를 통해 홍수위험지구를 분석하였다. 도시 중소유역의 홍수위험지구 선정을 위해서는 홍수 발생과 관련된 평가 지표의 선정 및 분석 체계의 수립이 필요하다. 따라서 홍수의 발생에 영향을 미치거나 또는 그 피해 발생과 관련하여 고려될 수 있는 인자들의 선정이 우선적으로 이루어져야 하므로

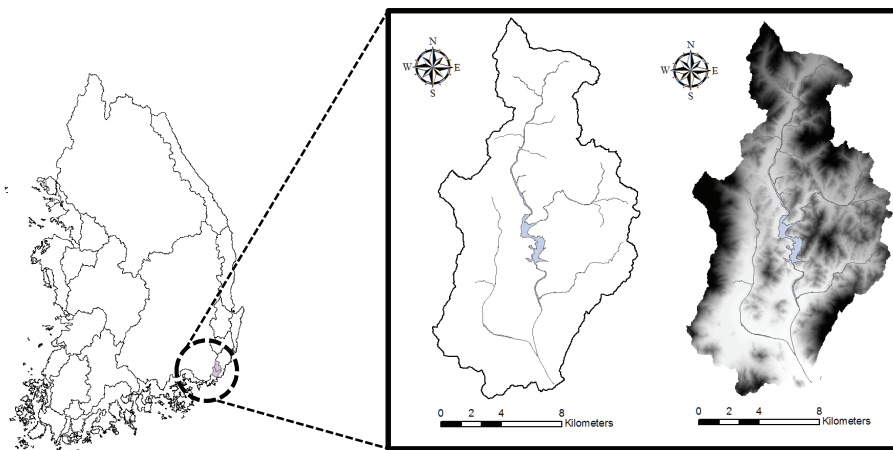


Fig. 2. DEM and Stream Network of Study Basin

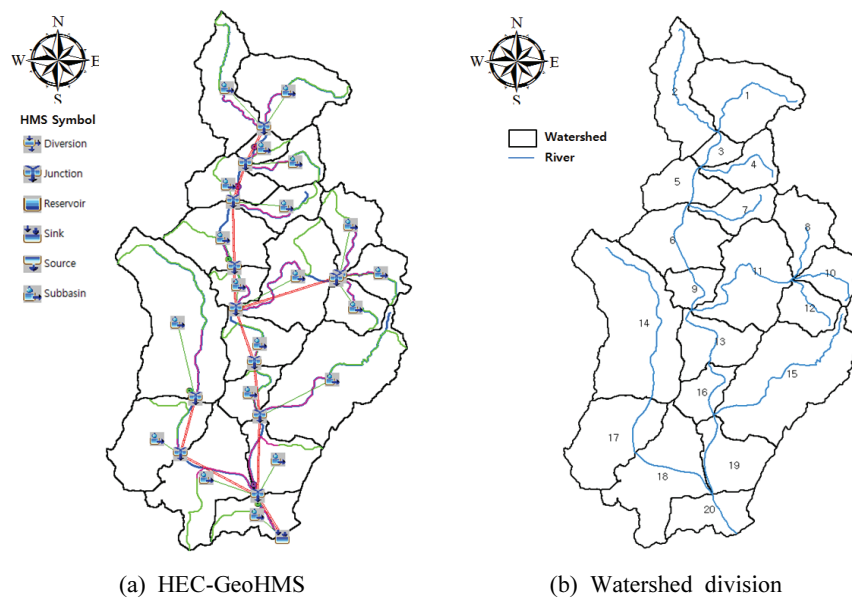


Fig. 3. Watershed Division for the Suyoung River Basin

평가기준으로 강우특성인자, 유출특성인자 및 지역특성인자들을 고려하였다.

첫째, 홍수 위험도를 평가하기 위한 인자로서 홍수를 유발하는 강우특성 요소를 검토하였다. 하천 내 위험지점에서 홍수를 야기하는 강우량이 정량적으로 산정된다면 해당 강우 발생의 적정성을 판별함으로써 해당 지점의 위험도를 상대적으로 평가할 수 있다. 즉 하천에서의 위험상황을 발생시키는 강우량이 작을수록 상대적으로 위험도는 커질 수밖에 없으므로 이에 대한 평가가 정량적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서 위험지점에서 위험상황을 발생하는 경보강우량을 분석하였다.

둘째, 홍수 위험도 평가를 위한 유출특성은 경보강우량 이상의 강우로 위험지점에서 발생하는 유출수문곡선을 통해 검토한다. 위험유량을 초과하는 수문곡선의 상승부 경사, 홍수량 비, 홍수지속시간을 고려하여 해당지점의 상대적 홍수심도를 산정할 수 있다. 즉 해당지점에서 경보강우량을 초과하는 강우로 인해 홍수가 발생시 유출수문곡선의 상승부 경사, 위험유량에 대한 침투유량의 상대적 비, 위험유량을

초과하는 유량이 오래 지속될수록 상대적 피해는 커질 수밖에 없으므로 이에 대한 평가가 정량적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서 홍수터 수심에 해당하는 유량을 위험유량으로 선정하고 해당 하천의 설계빈도와 임계지속시간에 해당하는 설계강우를 대상으로 하는 유출수문곡선을 분석한다.

셋째, 도시 유역 홍수위험도 평가를 위한 지역적 특성은 불투수율과 유역말단의 침투유량에 대한 해당 소유역별 기여율과 단위면적당 기여량을 통해 검토한다. 즉 도시유역의 홍수는 불투수율이 높은 지역에서 발생하며 유역 말단 침투홍수에 대한 기여율이 높은 지역은 전체 유역의 홍수특성을 지배한다.

3.3 홍수위험 평가지표에 대한 가중치 산정

소유역별 홍수위험도 산정을 위해 7개 평가기준에 대한 가중치를 평가자의 주관적 개입으로 인한 평가기준간의 왜곡을 방지하기 위해 엔트로피 기법을 적용하여 산정하였다. 엔트로피 절차는 평가기준에 대한 정보를 담고 있는 대안-평가기준행렬로부터 가중치 벡터를 산정한다. 즉 대안

Table 1. Criteria to Assess Flood Risk Region in the Suyoung River Basin

Subbasin	Flood Warning Rainfall Characteristics	Flood Runoff Characteristics			Regional Characteristics		
	Rainfall threshold (mm)	Rising curve gradient (hr-1)	Flood magnitude ratio	Flood Duration Time (hr)	Flood contribution rate (%)	Flood contribution rate per unit area (CMS · km ²)	Impervious cover rate
SY01	12.51	11.83	5.33	6.80	5.34	8.80	0.19
SY02	16.95	10.56	4.32	6.67	4.27	8.63	0.16
SY03	15.31	11.04	4.85	6.67	0.94	8.33	0.18
SY04	15.77	9.28	2.39	4.67	1.67	6.79	0.15
SY05	16.71	11.81	6.25	7.50	3.22	10.82	0.19
SY06	18.26	12.22	6.15	7.67	5.50	10.90	0.25
SY07	21.78	9.74	2.77	5.50	2.13	9.61	0.16
SY08	16.72	10.47	4.00	6.17	3.48	10.87	0.19
SY09	24.63	14.64	15.95	12.83	1.91	10.98	0.22
SY10	11.4	10.49	4.19	6.17	2.50	10.84	0.18
SY11	34.59	11.78	6.42	7.83	7.26	10.66	0.18
SY12	17.73	10.79	3.91	6.00	2.56	11.33	0.17
SY13	9.21	14.64	20.54	15.00	4.43	12.33	0.28
SY14	10.59	6.81	2.03	4.83	14.35	12.18	0.30
SY15	20.48	8.22	2.77	5.83	12.90	12.27	0.22
SY16	13.27	10.21	4.31	7.17	2.78	13.04	0.39
SY17	14.81	7.16	2.12	5.17	7.59	12.75	0.45
SY18	21.87	8.72	3.27	6.50	9.04	12.35	0.57
SY19	31.13	8.51	2.93	6.33	4.36	11.95	0.43
SY20	17.12	8.97	3.60	7.17	3.28	11.11	0.55

들 간의 차이가 큰 평가기준은 중요한 기준이고 대안들의 차이가 적은 기준은 중요도가 떨어지는 기준을 의미한다. 도시 중소유역의 홍수위험도 평가항목인 정보강우량, 유출 곡선 상승부 경사, 홍수 크기비, 홍수기여율, 불투수율 등 7개 항목에 대한 엔트로피 기반 산정결과는 Table 2와 같다. 홍수크기비와 불투수율, 정보강우량에 대한 가중치가 상대적으로 높게 산정되었으며 단위면적당 기여율이 가장 낮은 가중치를 나타내고 있다.

3.4 소유역 홍수위험도 평가

도시 중소유역의 홍수위험도를 평가하기 위해 선정된 7개 항목들은 선호함수로부터 프로메티 기법을 통해 소유역별 상대적인 우선순위를 결정하였다. 본 연구에서는 PROMETHEE 기법의 6개 선호함수 중 평가기준이 임계치 이상으로 증가하여도 홍수 발생 가능성이 계속적으로 높아 지지 않는 특성을 보이는 V자 형태의 선호함수를 소유역별 위험도 분석에 적용하였다. 평가항목별 엔트로피 가중치를

고려하여 PROMETHEE를 이용하여 수영강 20개 소유역에 대한 선호유출량, 선호유량, 순흐름량에 따른 우선순위를 산정한 결과는 Table 3과 같다. 수영강 소유역별 위험순위는 SY13, SY14, SY18 등의 순서로 나타났다. 2014년 부산시 홍수 피해사례가 보고된 SY14 소유역은 두 번째 고위험에 해당하므로 본 연구에서 제안된 평가기법이 적정한 것으로 판단된다. 2014년도 8월 25일에 부산광역시 금정구에서 발생한 시강우량은 130 mm 정도로 200년 빈도 강우량인 128.4mm를 상회한다. 이로 인해 도심 하천인 온천천이 범람하고, 도시 곳곳이 침수되는 등 물질적·인적 피해가 발생하였다(Kim and Lee, 2014).

본 연구에서는 방재시설 계획과 정책수립 등의 의사결정 과정의 편성을 위해 수영강 20개 소유역에 대한 홍수위험도의 순위를 바탕으로 고, 중, 저의 3개 위험군으로 분류하였다. 홍수에 대한 고위험군은 상위 30%를 기준으로 하여 총 6개 소유역을 선정하였으며 저위험군은 하위 30%를 기준으로 총 6개 지역을 선정하였다. 상대적으로 정보강우량이 작고

Table 2. Weight Values Between Each Evaluation Criterion

Criteria	Rainfall threshold (mm)	Rising curve gradient (hr-1)	Flood magnitude ratio	Flood Duration Time (hr)	Flood contribution rate (%)	Flood contribution rate per unit area (CMS · km ²)	Impervious cover rate
Weight	0.135	0.026	0.329	0.066	0.292	0.015	0.137

Table 3. Ranks in Terms of the Flood Risk for Subbasins in the Suyoung River Basin

Subbasin	Outgoing flow	Incoming flow	Net flow	Ranking order of risk
SY01	2.039	1.891	0.148	9
SY02	1.057	2.510	-1.453	13
SY03	0.929	3.321	-2.391	18
SY04	0.417	4.057	-3.639	20
SY05	1.535	2.242	-0.706	11
SY06	2.264	1.736	0.528	7
SY07	0.270	3.874	-3.605	19
SY08	0.879	2.526	-1.648	15
SY09	5.143	2.749	2.394	4
SY10	1.156	2.661	-1.506	14
SY11	2.432	3.258	-0.826	12
SY12	0.655	2.951	-2.297	17
SY13	8.510	1.006	7.504	1
SY14	5.438	2.028	3.409	2
SY15	3.931	2.242	1.688	5
SY16	2.085	2.039	0.046	10
SY17	3.214	2.093	1.120	6
SY18	4.276	1.837	2.439	3
SY19	1.728	3.401	-1.674	16
SY20	2.578	2.112	0.467	8

불투수율과 홍수심도가 높은 온천천 유역을 중심으로 고위험 군으로 분석되었으며 수영강 20개 소유역에 대한 홍수위험도 분석결과는 Table 4와 같다. Table 4의 결과를 바탕으로 소유역별 위험군을 나타낸 것이 Fig. 4이다.

Table 4. Determination of Flood Risk Region in the Suyoung River Basin

Flood risk grade	Net flow	Subbasin	Ranking order of risk
High risk (30%)	7.504	SY13	1
	3.409	SY14	2
	2.439	SY18	3
	2.394	SY09	4
	1.688	SY15	5
	1.120	SY17	6
Medium risk (30%~70%)	0.528	SY06	7
	0.467	SY20	8
	0.148	SY01	9
	0.046	SY16	10
	-0.706	SY05	11
	-0.826	SY11	12
	-1.453	SY02	13
	-1.506	SY10	14
Low risk (30%)	-1.648	SY08	15
	-1.674	SY19	16
	-2.297	SY12	17
	-2.391	SY03	18
	-3.605	SY07	19
	-3.639	SY04	20

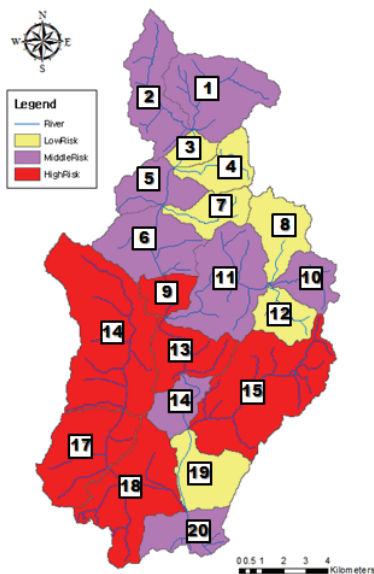


Fig. 4. Classification of the Flood Risk (High risk, Medium risk, Low risk)

4. 결론

본 연구에서는 정보강우량, 유출수문곡선의 상승부경사, 홍수크기비, 홍수지속시간 등의 강우 및 유출 특성과 홍수기여율, 단위면적당 홍수기여량, 불투수율 등의 지역 특성을 고려한 도시 중소유역의 홍수위험도 평가기법의 활용 가능성을 검토하였다. 이를 위해 부산시 도시유역인 수영강 유역을 20개 소유역으로 구분하고 엔트로피와 PROMETHEE를 기반으로 하는 다기준 의사결정기법을 적용하였다. 다기준 의사결정기법에 따라 산정한 홍수위험도 순위를 바탕으로 수영강 유역을 고, 중, 저의 3개 위험군으로 분류하였으며 그 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 도시 중소유역의 홍수위험도를 평가하기 위해 강우특성, 유출특성, 지역특성을 고려한 7개 평가지표를 제시하였으며 항목들은 선호함수로부터 PROMETHEE 분석을 통해 소유역별 상대적인 우선순위를 결정하기 위해 활용하였다.
- (2) 사용자의 주관에 배제하기 위하여 엔트로피 기반 가중치를 적용함으로써 최종 의사결정에 부적절한 선택을 유발하는 위험요인을 최소화하고 평가과정의 객관성을 확보하였다.
- (3) 다양한 평가지표간의 복잡한 상호작용을 반영하는 PROMETHEE 기법을 적용함으로써 분석의 신뢰도를 높일 수 있었으며 고위험군에 속하는 소유역이 과거 홍수 발생 지역을 적절히 반영하고 있음을 확인하였다.

본 연구는 홍수발생 가능성, 크기 등을 대표할 수 있는 정보강우량, 홍수심도, 불투수율 등의 특성자료를 이용하여 홍수위험도 평가 기법을 개발하였다는 측면과 기여율을 이용하여 우선순위 선정의 불확실성을 정량적으로 평가한 측면에서 가치가 있다고 판단된다. 이와 같이 홍수유발 원인, 홍수심도 및 지역 특성을 충분히 반영하는 객관적인 지표를 기반으로 홍수위험도를 평가함으로써 국지성 집중호우에 따른 지자체의 방재관련 대책 수립 및 정비사업 수립을 위한 의사결정에 도움을 줄 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MOIS-재난-2015-03]

References

Balica, S.F., and Wright, N.G. (2010) Reducing the Complexity of Flood Vulnerability Index. *Environmental Hazard*, Vol. 9, No. 4, pp. 321-339.

- Bhaskar, N.R., French, N.M., and Kyiamah, G.K. (2000) Characterization of Flash Floods in Eastern Kentucky. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 5, No. 3, pp. 327-331.
- CEA (2007) *Reducing the Social and Economic Impact of Climate Change and Natural Catastrophes: Insurance Solutions and Public-private Partnerships*. Brussels, Belgium.
- de Moel, H., van Alphen, J., and Aerts, J.C.J.H. (2009) Flood Maps in Europe: Methods, Availability and Use. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 9, pp. 289-301.
- Jang, O.J., and Kim, Y.O. (2009) Flood Risk Estimation Using Regional Regression Analysis. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 9, No. 4, pp. 71-80.
- Kim, B.S., and Kim, H.S. (2008) Estimation of the Flash Flood Severity Using Runoff Hydrograph and Flash Flood Index. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 2, pp. 185-196.
- Kim, E.S., Choi, H.I., and Jee, H.K. (2010) Estimation of the Flash Flood Index by the Probable Rainfall Data for Ungauged Catchments. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 10, No. 4, pp. 81-88.
- Kim, H.J., and Lee, D.S. (2014) August, 2014 Inundation in Downtown Busan. *Water for Future*, Vol. 47, No. 10, pp. 10-14.
- Lee, J.H., Jun, H.D., Park, M.J., and Jung, J.H. (2011) Flash Flood Risk Assessment Using PROMETHEE and Entropy Method. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 11, No. 3, pp. 151-156.
- Milly, P.C.D., Wetherald, R.T., Dunne, K.A., and Delworth, T.L. (2002) Increasing Risk of Great Floods in a Changing Climate. *Nature*, Vol. 415, pp. 514-517.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2000) *Water Resource Long Term Comprehensive Plan*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2005) *Potential Risk of Urban Flood Damage and Estimation of Damages*. Urban Flood Disaster Management Technology Research Group.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2008) *Development of Evaluation Technique on the Abnormal Flood*.
- Ologunorisa, E.T. (2004) An Assessment of Flood Vulnerability Zones in the Niger Delta, Nigeria. *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 61, No. 1, pp. 31-38.
- Park, M.K., Song, Y.S., Kim, S.D., and Park, M.J. (2012) A Study on the Assessment Method for High-risk Urban Inundation Area Using Flood Vulnerability Index. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 245-253.
- Saghafian, B., and Khosroshahi, M. (2005) Unit Response Approach for Priority Determination of Flood Source Areas. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 10, pp. 270-277.
- Smith, K. (2004) *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*. Routledge, London.
- Song, J.H., Kim, S.D., Park, M.J., and Choi, H.I. (2013) Estimation of Flood Risk Index for the Nakdong River Watershed. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 1, pp. 35-45.
- Song, Y.H., and Lee, J.H. (2012) Evaluation Method of Urban Inundation Risk Using Multi Criteria Decision Making Method. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 209-214.
- US Army corps of Engineering (2010) *HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual*.

Received	January 3, 2018
Revised	January 5, 2018
Accepted	January 9, 2018