다기준의사결정기법을 이용한 홍수위험지구 선정

Identification of Flood Risk Areas using a Multi-criteria Decision Making Method

최현일* · 박승용** · 송재하*** · 박무종****

Choi, Hyun Il · Park, Seung Yong · Song, Jae Ha · Park, Moo Jong

Abstract

This study has performed the flood risk assessment using PROMETHEE(Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation), one of the multi-criteria decision making methods, for identifying area zones with regional flooding risk in terms of the integrated flood risk management. The 12 representative factors for flood risk assessment are carefully selected and constructed for the three main aspects, such as PF(Pressure Factors), SF(State Factors), and RF(Response Factors) under the P-S-R(Pressure-State-Response) classification system at a spatial resolution of city/county/town units for the Nakdong River Watershed. The entropy weight coefficient method is also applied to calculate the weight of flood risk factors in order to reduce subjective judgement on the effect of weight coefficients. To examine the practical application of the proposed method for identification of flood risk areas, the results with/without the weight coefficients are compared with flooding zones of natural disaster risk areas officially announced in 2010. It is expected that the flood risk assessment method ensured by full verification can establish a rehabilitation priorities of catchments for regional protection plans against flooding disasters with respect to causes and characteristics of past floods.

Key words : Flood risk assessment, Flood risk areas, P-S-R, PROMETHEE, Entropy

요 지

통합홍수위험관리 측면에서 지역의 홍수위험도에 따라 지구를 구분하기 위하여, 본 논문에서는 다기준의사결정기법 중 하나인 PROMETHEE(Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation)를 적용하여 상대적 홍수위험도를 평가하였다. 낙동강 수계에 대하여 P-S-R(Pressure-State-Response) 구조로 분류되는 3개의 주요 인자인 압력지표(PF), 현상지표(SF), 대책지표(RF)를 대표하는 총 12개 세부평가항목들을 엄선하여, 시·군·구 단위의 공간해상도로 평가지표 자료를 구축하였다. 또한 엔트로피(Entropy) 가중치 산정방법에 의한 가중치를 사용하여 가중치 적용에 따른 주관적인 판정을 최소화하였다. 제안된 홍수위험지구 선정방안의 활용성 검토를 위해 가중치 적용 유·무에 따른 홍수위험지구 선정결과와 2010년에 고시된 자연재해위험지구 중 침수위험지구 현황을 비교검토하였다. 충분히 검증된 홍수위험도 평가방안을 활용하면 과거 홍수의 원인 및 위험성에 대하여 지역적 홍수재해 방재대책 수립을 위한 소유역별 우선순위 선정이 가능할 것이라 기대된다.

핵심용어 : 홍수위험도평가, 홍수위험지구, P-S-R, PROMETHEE, 엔트로피

1. 서 론

현재 하천정비사업 등을 통하여 본류구간의 홍수방어대책은 활발히 진행되고 있으나 중·소하천 유역에 대한 홍수재해 방재대책의 체계적인 수립과 관리는 미흡하다고 판단된다. 비구조적 홍수대책중 하나인 홍수예경보의 경우는 현재 대유

역인 4대강 유역에서 본류하천을 중심으로 각 홍수통제소에 이르고 있다. 현재의 홍수예보지점은 본류하천의 주요 지점 몇 개소에 국한되어 있으나 실질적으로 지류구간에서도 홍수에 의한 피해가 많이 발생하고 있어 홍수발생상황을 예측하고 대비하는데 어려움이 있다. 또한 지속적으로 발생하고 있는 이상기후에 따른 설계빈도 이상의 집중호우에 대응하기

*정회원. 영남대학교 건설시스템공학과 부교수(E-mail: hichoi@ynu.ac.kr)
Member. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Yeungnam University

**영남대학교 건설시스템공학과 석사과정
Master Course, Department of Civil Engineering, Yeungnam University

***영남대학교 건설시스템공학과 석사
Master, Department of Civil Engineering, Yeungnam University

****교신저자. 정회원. 한서대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-41-660-1051, Fax: +82-41-660-1149, E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

위해, 구조적인 홍수방어대책의 한계점을 극복하고자 비구조적인 대책에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 비구조적인 홍수방어대책 연구의 일환으로 과거의 홍수발생 원인과 현상을 종합하여 미래의 홍수위험발생 양상을 정량적인 수치로 나타낼 수 있는 홍수위험지수가 개발되고 있다. 국내의 경우, 수자원장기종합계획(MLTM 2001)에서는 치수안전도 설정을 위한 방향을 제시하여 국내에 처음으로 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)이라는 개념을 도입하였으며, Kim and Kim(2003)은 기존 PFD를 개선하고자 기존 PFD의 구성요소 중 위험성요소를 구성하는 부분요소인 기능성 요소와 방어능력 요소를 서로 독립적인 요소로 판단하여 사용하는 수정PFD방법을 제시하였다. Kang et al.(2006)은 유역의 수자원 및 환경 평가를 위한 지수와 지표의 활용방안을 제시하였고, 국내·외에서 적용되고 있는 수자원 및 환경과 관련된 평가지수를 고찰하여 개발 배경과 방법 및 지수의 적용사례들을 조사하고 개선점을 제시하였다. Lim et al.(2010)은 P-S-R 체계에 의해 새롭게 개발된 주제별 치수특성 평가지수를 제시하고 분석하였다. 국외의 경우, UN의 ISDR(2004) 보고서에서는 어떤 위험도는 위험성과 취약성을 그 지역의 역량으로 나누어 평가해야 한다고 기술하였고, Kron(2003)은 자연재해 중 홍수와 관련된 홍수사상 또는 홍수사상의 발생 확률을 나타내는 재해위험성, 홍수위험지역에 있는 경제적 자산이나 인명의 노출성, 그리고 홍수방어능력의 부족을 의미하는 취약성의 세 가지 요소들을 곱하여 홍수위험도를 표현할 수 있다고 하였다. Merabtene et al.(2004)은 치수계획을 위한 홍수위험도지수를 제시하였고, UNDP(2004)에서는 국가간의 재해위험도를 표시하기 위하여 재해위험지수(Disaster Risk Index, DRI)를 개발하였다.

홍수위험도 평가를 위해서는 다양한 요소의 영향을 분석하여야 하며, 적용기준이 다른 요소들간의 관계를 정량화하기 위해서 다기준의사결정기법의 도입이 필요하다. 본 논문에서는 다기준의사결정기법 중, 대안들의 순위선호 도출을 위해 Brans and Vincke(1985)가 제시한 PROMETHEE(Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation)를 이용하여 다양한 홍수위험도 평가인자들이 기여하는 홍수위험지구를 선정하고자 한다. PROMETHEE를 활용한 토목분야는 특정 시설의 부지선정이나 도로건설을 위한 노선결정 등과 같은 분야에 적용되었으며(Mladineo et al. 1987; Chou et al. 2007), Park and Choi(2008)는 다기준의사결정기법을 기반으로 하는 침수위험 평가기법의 개발을 통해 PROMETHEE를 이용한 침수위험지구 선정방법을 제시하였고, Lee et al.(2011) PROMETHEE를 이용하여 돌발홍수의 위험도를 평가하였다.

따라서 본 논문에서는 낙동강 수계의 시·군·구별 홍수위험지구를 선정하기 위하여 홍수위험도 평가항목들을 홍수의 원인과 결과, 그리고 대책의 인과관계적 방식으로 분류하는 P-S-R(Pressure-State-Response) 구성체계로 분류하고 선정하였다. 또한 수집된 각 세부평가항목에 대한 가중치를 설문조사를 통해 적용하는 것은 설문자의 주관적인 생각과 사상의 개입으로 인해 자료의 왜곡이 이루어질 수 있다고 판단

하여, 정보이론에 근거한 엔트로피(Entropy) 가중치 추정방법을 이용하였다. 엔트로피 가중치를 적용한 P-S-R 구성체계의 홍수위험도 세부평가항목들을 PROMETHEE를 통해 분석하여 낙동강 수계의 시·군·구별 홍수위험도 우선순위를 산정하고, 이를 바탕으로 선정된 홍수위험지구를 2010년에 고시된 자연재해위험지구 중 침수위험지구와 비교하여, 제안된 홍수위험지구 선정방안의 적용성을 검토하고자 하였다.

2. 홍수위험도 우선순위 산정기법

2.1 대상유역 선정 및 자료 수집

최근 낙동강 유역은 지속적인 도시화와 산업화로 인해 홍수에 대한 위험이 증가하고 있다. 따라서 낙동강 수계의 홍수방어대책 수립을 위한 우선순위 지역을 평가하고자, 시·군·구 단위 공간 해상도에 대한 56개 지구의 홍수위험도 산정에 필요한 세부평가항목을 조사하였다. 홍수위험도 세부평가항목의 선정 및 구축을 위하여 홍수위험에 미치는 영향을 고려하고, 정기 측정성, 계량 가능성, 예측 가능성, 자료 구축의 용이성 등의 인자선정 원칙을 바탕으로 관련 정부기관 및 지자체에서 제공하는 각종 최신 통계자료를 수집하였다.

2.2 P-S-R 구조 세부평가항목 구축

P-S-R 구조는 OECD(1991)에서 개발하여 국제기구나 각국의 지표설정에 주로 활용되고 있다. P-S-R 구조는 현 치수특성 평가문제를 인과관계로 분석할 수 있으며, 사회, 경제 및 여타 쟁점사항간의 상호 연관된 관점에서의 파악이 가능하다. P-S-R 구조를 바탕으로 한 압력지표(PF), 현상지표(SF), 대책지표(RF) 등 3개 지표의 평가를 위한 세부평가항목의 선정에 있어서 홍수위험도를 대표할 수 있는 평가기준을 선정하는 것이 중요하지만, 대상유역에서 분석 및 적용이 가능한 자료를 수집하기는 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 앞서 기술한 홍수위험도 평가항목 선정기준과 기존의 연구들을 바탕으로 낙동강 수계 시·군·구별 자료의 수집이 가능하고, 홍수위험도 산정에 중요하다고 판단되는 총 12개의 세부평가항목을 Table 1과 같이 선정하였다.

압력지표(PF)는 유역의 홍수피해에 대한 물리·환경적 압력을 평가하기 위한 수단으로 일최대강수량(mm), 경사도(degree), 시가화율(%), 인구밀도(인/km²) 등 총 4개의 세부평가항목(PF₁~PF₄)으로 선정되었으며, 압력지표값이 클수록 해당 지역의 홍수위험이 높은 것으로 판단할 수 있다. 현상지표(SF)는 유역이 홍수에 노출되어 있는 수준 판단 및 홍수피해 현황을 파악할 수 있는 기준으로, 홍수피해밀도(천원/km²), 침수면적밀도(%), 인명피해자비율(%), 홍수발생빈도(회) 등 4개의 세부평가항목(SF₁~SF₄)으로 구성되었다. 현상지표값이 클수록 대상지역의 홍수피해위험이 크다고 판단할 수 있다. 대책지표(RF)는 홍수발생 시, 이에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준으로, 하천개수율(%), 하수도보급률(%), 응급의료시설(개/만명), 치수사업투자비(%) 등 4개의 세부평가항목(RF₁~RF₄)을 선별하였다. 대책지표값이 크면 해당 지역의 홍수위험도를 감소시키므로, 압력지표 및 현상지표 특

Table 1. Flood Assessment Factors in P-S-R Scheme

유형	구분	세부평가항목		출처	산정기준
압력 지표 (PF)	수문특성	PF ₁	일최대강수량(mm)	기상청	2005년-2009년
	유역특성	PF ₂	경사도(degree)	환경부	2010년
		PF ₃	시가화율(%)	WAMIS	2007년
	사회특성	PF ₄	인구밀도(인/km ²)	통계연보	2007년
현상 지표 (SF)	홍수피해 위험 지역	SF ₁	홍수피해밀도(천원/km ²)	재해연보	2005년-2009년
		SF ₂	침수면적밀도(%)	재해연보	2005년-2009년
		SF ₃	인명피해자비율(%)	재해연보	2005년-2009년
		SF ₄	홍수발생빈도(회)	재해연보	2005년-2009년
대책 지표 (RF)	치수대책	RF ₁	하천개수율(%)	수자원장기종합계획	2007년
		RF ₂	하수도보급률(%)	하수도 통계	2007년
		RF ₃	응급의료시설(개/만명)	KOSIS	2007년
		RF ₄	치수사업투자비(%)	지방 구 · 군청 재정현황	2010년

Fig. 1. Spatial Distribution of Flood Assessment Factors in the Nakdong River Watershed

성과의 일관성을 위해 홍수위험도 분석 시, 각 대책지표 최 대값과의 차에 대한 절대값을 취하여 지표값을 변환하였다.

선정된 홍수위험도 세부평가항목들은 관련 정부기관 및 지자체에서 제공하는 각종 최신 통계자료를 바탕으로 GIS를 통하여 낙동강 수계의 시·군·구 행정구역별 자료로 데이터베이스화 하였다. 태풍이 많고 피해가 컸던 연도와 가뭄이 들었던 연도 등 비교적 연차별 변화가 많은 홍수특성을 나타내는 세부평가항목들의 경우에는, 최근 5년간(2005년~2009년) 자료를 평균하여 지표값을 산정하였다. Fig. 1은 압력지표(PF₁~PF₄), 현상지표(SF₁~SF₄), 그리고 대책지표(RF₁~RF₄) 등 총 12개 세부평가항목 지표값의 낙동강 수계에 대한 시·군·구별 공간분포를 나타낸다.

2.3 엔트로피 가중치 적용

엔트로피 가중치 추정방법은 대안과 속성을 많이 포함하는 현실적인 다기준의사결정 문제에 대해 의사결정권자가 비교적 이해하기 쉬운 정보이론 방법을 적용하는 것으로, 이용된 평가항목의 속성 정보만을 이용하여 가중치를 산정하는 방법이다. 본 논문에서는 평가자의 주관적 개입으로 인한 항목간 평가의 왜곡을 방지하기 위하여 엔트로피 이론을 이용한 세부평가항목별 가중치를 Fig. 2와 같은 절차에 의해 산정하였다. 각 세부평가항목별로 구축된 속성값을 대상구역별 행렬로 구성하고, 항목별로 정규화된 속성정보를 이용하여 각 속성별 엔트로피를 산정한 후, 최종적으로 홍수위험도 평가항목인 세부평가항목간의 가중치를 결정하게 된다.

Fig. 2. Entropy Weight Calculation Process

2.4 PROMETHEE 적용

PROMETHEE는 세부평가기준 항목별 선호함수(preference function)와 선호유출량(leaving flow) 및 선호유입량(entering flow), 그리고 순흐름량(net flow)을 이용하여 대안들의 순위선호를 도출하는 방법으로 Brans and Vincke(1985)에 의해 구체화되었다. 홍수위험도 평가를 위한 PROMETHEE의 적용절차는 Fig. 3과 같다.

식 (1)의 선호지수(preference index) $\pi(a, b)$ 는 세부평가항

Fig. 3 PROMETHEE Analysis Process

목 j에서의 선호함수 $P_j(a, b)$ 를 총 n개의 평가항목에 대해 평균한 것으로, 선호지수를 결정하기 위해 평가항목별 가중치 w_j 를 주관적 경향을 배제하여 합리적인 방법으로 산정할 필요가 있다.

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^n P_j(a, b) \cdot w_j \quad (1)$$

두 대안 a와 b의 평가점수 차이에 대한 의사결정자의 선호 성향을 나타내는 선호함수 $P_j(a, b)$ 는 평가항목 기준 j에서 두 대안 a와 b의 평가점수 $P_j(a)$ 와 $P_j(b)$ 의 차이를 x_j 라 할 때, 다음 식 (2)와 같이 표현할 수 있다. 의사결정자는 각 평가항목별 선호함수의 형태를 6개의 유형중 하나의 함수로 결정하고, 그에 따른 선호함수별 임계치도 부여하여야 한다.

$$H(x_j) = \begin{cases} P_j(a, b), & x_j \geq 0 \\ P_j(b, a), & x_j \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

PROMETHEE에서 대안들의 순위선호 관계는 모든 n개의 평가항목 기준들에 대한 선호지수의 합으로 나타내며, 총 m개의 평가대상 대안들을 선호 또는 지배하는 정도를 나타내는 선호유출량 $\phi^+(a)$ 과 이와 상반되는 선호유입량 $\phi^-(a)$, 그리고 두 값의 차이를 나타내는 순흐름량 $\phi(a)$ 을 산정하여 대안들 간의 순위선호 관계를 도출한다.

$$\phi^+(a) = \sum_{x \in m} \pi(a, x) \quad (3)$$

$$\phi^-(a) = \sum_{x \in m} \pi(x, a) \quad (4)$$

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (5)$$

식 (3)의 선호유출량 $\phi^+(a)$ 이 클수록 대안 a가 나머지 비교대안들보다 선호된다는 것을 의미하고, 식 (4)의 선호유입량 $\phi^-(a)$ 이 클수록 대안 a가 나머지 비교대안들보다 선호되지 않는 것을 의미한다. 우선순위 결정을 위해 PROMETHEE I은 순위선호체계를 기반으로 대안들의 부분적인 우선순위를 결정하고, PROMETHEE II는 식 (5)에 의해 계산된 순흐름량 $\phi(a)$ 을 이용하여 전체의 우선순위를 산정한다. 본 논문에서는 PROMETHEE II를 적용하였으며, 대안별로 비교가 불가능한 경우를 배제하여 전체의 우선순위를 나타낼 수 있다.

3. 홍수위험지구 선정

3.1 평가항목의 가중치 산정

P-S-R 구조를 바탕으로 선정된 12개의 세부평가항목이 평가기준으로서 PROMETHEE의 선호지수에 미치는 영향을 결정하기 위하여, Fig. 2의 엔트로피 가중치 산정절차를 따라 세부평가항목 기준별 가중치를 산정하였다. Table 2의 가중치 산정결과를 보면, 인명피해자비용, 침수면적밀도, 인구밀도, 시가화율 등의 가중치가 다른 세부평가항목들에 비하여 비교적 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 위의 4개 세부평가항목에서 최저값과 최고값의 편차가 크며 많은 자료가 낮은 값들에 몰려있어, 속성의 엔트로피가 크게 산정된 것에 기인한다.

Table 2. Entropy Weight Coefficients

세부평가항목	일최대강수량	경사도	시가화율	인구밀도
가중치	0.003	0.008	0.133	0.152
세부평가항목	홍수피해밀도	침수면적밀도	인명피해자비용	홍수발생빈도
가중치	0.095	0.215	0.251	0.020
세부평가항목	하천개수율	하수도보급률	응급의료시설	치수사업투자비
가중치	0.038	0.065	0.011	0.009

3.2 선호함수 및 선호임계치 결정

PROMETHEE 선호함수의 총 6가지 유형중 적용 가능한 것으로는 TYPE-III, TYPE-V, TYPE-VI 등이 있으나, TYPE-VI의 경우 평균치 산정이 어렵고 TYPE-V의 경우 어느 시점에서 홍수위험이 발생했다고 판단하기 어렵기 때문에, 본 논문에서는 분석의 용이성을 고려하여 모든 세부평가항목에 대해 다음 식 (6)과 같은 TYPE-III의 V형 선호함수를 적용하였다.

Table 3. Criteria for Type-III Preference Function

세부평가항목	일최대강수량	경사도	시가화율	인구밀도
최대값	173.9	22.2	84.3	13289.0
최소값	81.4	0.9	0.3	24.0
선호임계치	92.5	21.3	84.0	13265.0
세부평가항목	홍수피해밀도	침수면적밀도	인명피해자비용	홍수발생빈도
최대값	4729152.6	2.0	0.2	1.6
최소값	0.0	0.0	0.0	0.0
선호임계치	4729152.6	2.0	0.2	1.6
세부평가항목	하천개수율	하수도보급률	응급의료시설	치수사업투자비
최대값	71.0	96.5	7.0	6.9
최소값	0.0	0.0	0.0	0.0
선호임계치	71.0	96.5	7.0	6.9

$$H(x_j) = \begin{cases} x_j/c, & x_j \leq c \\ 1, & x_j \geq c \end{cases} \quad (6)$$

V형 선호함수의 선호임계치 c 는 다음 Table 3과 같이 각 평가항목의 범위(최대값과 최소값의 차)를 사용하였다.

3.3 선호지수 및 순흐름량 계산

선호지수 $\pi(a, b)$ 를 식 (1)과 같이 대상 유역 a 와 b 사이의 12개 평가항목별 평가점수차 x_j 에 대한 선호함수 $P_j(a, b)$ 와 평가기준별 가중치 w_j 를 고려한 평균으로 나타내었다. 본 논문에서는 세부평가항목별 가중치가 홍수위험도 산정결과에 미치는 영향을 평가하고자, 가중치 미적용(평가항목별 동일가중치 1/12 사용)시의 선호함수도 결과비교를 위해 별도로 산정하였다. 모든 12개 세부평가항목에 대해 평가점수가 높을수록 홍수위험도가 높다고 가정하였으므로, 대상 유역 a 와 b 에 대한 x_j 가 양수로 나올 경우 유역 a 가 유역 b 보다 선호되고 있다고 할 수 있다. 즉 평가기준의 값이 클수록 홍수위험도에 큰 영향을 미치게 되며, 이 경우 x_j 의 값이 양(+)의 값을 나타낼 때 그 값을 취하여 사용하고, 음(-)의 값을 나타낼 경우 0을 취한다. 우선순위를 통하여 유역 a 와 유역 b 의 홍수위험도를 비교하기 위해서는 순흐름량 $\phi(a)$ 을 계산한 후 상대적인 순위를 통해 비교할 수 있다. 낙동강 수계 홍수위험도 평가를 위한 순흐름량은 식 (5)에서 나타낸 것과 같이 선호유출량 $\phi^+(a)$ 과 선호유입량 $\phi^-(a)$ 의 차로 산정하였다.

3.4 홍수위험지구 선정결과

낙동강 수계내 시·군·구별 56개 지구에 대하여 P-S-R 구조에 근거한 세부평가항목 선정 및 PROMETHEE에 의한 홍수위험도 산정결과를 2010년에 고시된 자연재해위험지구 중 침수위험지구와 비교하여, 제안된 방법의 적용성을 검토하였다. 자연재해위험지구란 태풍·홍수·호우·폭풍·해일·폭설 등 불가항력적인 자연의 힘에 의한 현상으로부터 안전하지 못하여 국민의 생명과 재산에 피해를 줄 수 있는 지역과 자연재해저감시설을 포함한 주변지역으로서, 「자연재해대책법」 제12조의 규정에 의하여 지정된 지구를 말한다. 2010년에 지정된 자연재해위험지구를 포함하는 낙동강 수계내 28개 시·군·구 행정구역의 수와 동일하도록 본 논문에서 P-S-R 구조 세부평가항목 및 PROMETHEE에 의해 산정한 홍수위험도를 바탕으로 우선순위가 높은 순서로부터 28개의 홍수위험지구를 선정하였다. 이와 같이, 본 연구에서는 홍수위험도 산정결과와 적정성평가 비교자료인 자연재해위험지구(2010년 현황)의 지정개수를 기준으로 홍수위험지구의 선정개수를 설정한 바, 홍수위험지구의 선정기준은 필요에 따라 조정될 수 있으며, 추가로 홍수위험도의 점수화 또는 등급화가 수행될 수 있다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이, 본 연구에서 선정한 홍수위험지구와 2010년 자연재해위험지구 현황의 시·군·구별 비교결과를 살펴보면, 자연재해위험지구를 소유한 총 28개 시·군·구 중, 가중치를 적용하여 분석한 결과는 13개소, 가중치를 적용하지 않았을 경우에는 15개소의 홍수위험지구가 일

Fig. 4. Comparison of Flood Risk Areas using PROMETHEE and Natural Disaster Risk Areas in 2010

치하였다. 가중치를 적용하였을 때에는 가중치를 적용하지 않은 경우보다 낙동강 수계내 대도시를 포함하는 지역에 홍수 위험구역이 많이 선정된 반면, 가중치 미적용시의 결과는 남강 유역을 중심으로 한 경상남도 지역에 홍수위험구역이 많이 선정된 결과를 보이고 있다. 가중치 적용시 대구광역시와 부산광역시 등 대도시지역의 홍수위험도가 더 높게 산정된 것은 시가화율 및 인구밀도 등과 같이 도시유역에 영향을 미치는 평가항목들의 가중치가 높아 결과적으로 홍수위험도 순위가 높게 산정된 것으로 판단된다. 가중치 적용 유무에 따른 두 결과 모두, 남강 유역주위에 홍수위험지구가 집중되어 있는 것을 볼 수 있으며, 이는 이 지역에 강수량과 홍수발생 빈도 지표값과 전반적인 대책지표값들이 높게 분포하는 것에 그 원인을 찾을 수 있다. 홍수위험지구 선정결과를 전체적으로 평가해 보면, 가중치 적용 유무에 따라 산정되는 홍수위험도의 지역적 분포에는 차이를 보이나, 홍수위험지구 선정결과와 자연재해위험지구 현황과의 일치성 비교결과에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 통합홍수위험관리 측면에서 지역별 홍수방어대책 우선순위 선정을 위해, 홍수위험이 상대적으로 높은 지역과 낮은 지역을 평가할 수 있는 홍수위험도 평가방안과 그 적용방법에 대해 고찰하고자 하였다. 홍수위험도를 평가하기에 앞서 P-S-R 구조에 따른 홍수위험도 평가지표의 분류방법 및 세부평가항목 설정의 중요성에 대해 검토하였으며, 세부평가항목별 가중치가 홍수위험도 산정에 미치는 영향을 비교하여 제시하고자 하였다. 이를 위해 낙동강 수계를 대상으로 홍수위험도 세부평가항목을 설정하고, PROMETHEE 분석을 통하여 홍수위험지구를 선정한 후, 자연재해위험지구 현황과의 비교를 통해 본 논문에서 제시한 홍수위험지구 선정방안의 적용성을 평가하였다.

본 논문에서는 우리나라의 홍수피해에 영향을 미치는 요인들을 P-S-R 구성 체계로 분류하여 3개의 치수특성 평가요소

인 압력지표(PF), 현상지표(SF), 대책지표(RF)를 대표하는 총 12개 세부평가항목들을 선정하고, 낙동강 수계 내 시·군·구 공간단위의 지표자료를 구축하였다. 또한 홍수위험도 평가에 있어서 가중치를 산정하는 방법은 매우 중요하고 신중해야 하므로, 사용자의 주관을 배제하기 위해 정보이론에 근거한 엔트로피 가중치 추정방법을 적용하여 지표의 속성 정보만을 이용한 가중치를 산정하였다. 잘못된 가중치 산정은 선정된 평가지표의 값을 왜곡하고 잘못된 분석결과를 도출하게 되어 최종 의사결정에 있어서 부적절한 선택을 유발하는 요인이 되므로, 가중치 적용 유·무에 따른 홍수위험지구 선정결과를 비교·검토하였다. 본 논문에서 선정한 홍수위험지구를 자연재해위험지구 중 침수위험지구 현황과 비교한 결과, 홍수위험지구의 선정 측면에서는 가중치 적용 유무에 관계없이 자연재해위험지구 현황과 비교적 부합하는 결과를 보였지만, 선정된 홍수위험지구의 분포는 가중치 적용시에는 대도시 지역이, 그리고 가중치 미적용시에는 남강 유역 지역이 보다 많은 공간분포 양상을 나타내었다.

본 논문에서 제시한 홍수위험도 평가방법은 수계내 상대적인 홍수위험정도를 평가할 수 있어 구조적·비구조적 홍수방어대책 수립시 상대적인 우선순위를 효율적으로 제시할 수 있다. PROMETHEE를 이용한 홍수위험지구 선정방법은 전국을 절대적으로 평가하는 다른 획일화된 분석방법보다 유연하고 합리적인 방법일 수 있으나, 비교 대상유역의 개수와 평가기준, 그리고 가중치 산정결과에 따라 홍수위험등급이 다르게 나타날 수도 있다. 따라서 향후 연구에서는 최근 홍수양상과 지역적 특성을 충분히 반영하는 객관적이고 대표적인 고해상도의 홍수위험도 평가지표 자료를 구축할 필요가 있으며, 가중치가 홍수위험도 산정결과에 미치는 영향에 대한 정량적인 분석이 요구된다. 또한 본 논문에서는 치수사업 우선순위 선정 등 방재대책 수립 시의 활용방안으로 홍수위험도 평가방안을 제시하였으나, 현재 수집 자료의 제한성 등에 의해 시·군·구 단위로 분석된 결과가 수계인 유역단위와 상충되는 부분이 있으므로, 추후 이에 대한 보완 및 추가적인 분석이 필요하다. 이를 위해 시·군·구 단위로 집계된 세부

평가항목 지표값을 유역단위 자료로 변환하는 합리적인 방안
에 대한 검토가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발 사업인 ‘중·
소하천 홍수 예·경보 체계 구축’ 과제[NEMA-Nature-2011-
45]의 일환으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Brans, J.P. and Vincke, Ph. (1985) A preference ranking organisation method., *Management Science*, Vol. 31, No. 6, pp. 647-656.
- Chou, W.C., Lin, W.T., and Lin, C.Y. (2007) Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: A case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan., *Ecological Engineering*, 31, 269-280.
- Kang, M.G. and Kim, W.G. (2006). Use of index and indicator for assessment on water resources and environment in a watershed., *Water and Future*, Vol. 39, No. 3, pp. 37-48.
- Kim, J.H. and Kim, Y.H. (2003) “Improving potential flood damage.”, *Proceedings 2003 Annual Conference*, KSCE, 2373-2378.
- Kron. W. (2003) Flood risk = hazard × exposure × vulnerability., *Flood Defence*, Edited by Wu et al., Science Press, New York. N.Y., 82-97.
- Lee, J.H., Jun, H.D., Park, M.J., and Jung, J.H. (2011) Flash flood risk assessment using PROMETHEE and Entropy method., *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 3, pp. 151-156.
- Lim, K.S., Choi, S.J., Lee, D.R., and Moon, J.W. (2010) Development of flood risk index using casual relationships of flood indicators., *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 30, No. 1B, pp. 61-70.
- Merabtene, T., Yoshitani, J., and Kuribayashi, D. (2004) Managing flood and water-related risks: A challenge for the future., *AOGS 2004 Joint 1st Annual Meeting & 2nd APHW Conference*, Singapore, 1-8.
- Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J.P., and Mareschal, B. (1987) Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants., *European Journal of Operational Research*, 31, 215-222.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2001). “Water vision 2020.”
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (1991). Environmental indicators., A preliminary set. Paris, France.
- Park, M.J. and Choi, S.W. (2008) Development of an inundation risk evaluation method based on a multi criteria decision making., *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 4, pp. 365-377.
- Sanyal, J. and Lu, X.X. (2005) Remote sensing and GIS-based flood vulnerability assessment of human settlements : A case study of Gangetic West Bengal, India., *Hydrological Processes*, Vol. 19, No. 18, pp. 3699-3716.
- UNDP (United Nations Development Programme) (2004) Reducing disaster risk : A challenge for development., New York, NY, USA.
- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2004). Living with risk : A global review of disaster reduction initiatives., Geneva. Swiss.

© Received January 11, 2013
© Revised January 16, 2013
© Accepted March 18, 2013