

다기준의사결정기법을 이용한 산지유역 돌발홍수 위험도 평가

Flash Flood Risk Assessment for Mountainous Area using a Multi-Criteria Decision Analysis

이정호*, 박무종**, 전환돈***

Jung Ho Lee, Moo Jong Park, Hwan Don Jun

요 지

최근들어 기상 이변에 따라 단시간에 집중되는 국지호우로 인하여 돌발홍수(Flash Flood)에 의한 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 대하천의 경우에는 각 홍수 통제소에 의한 홍수 예경보 시스템(Flood Warning System)을 통하여 분류 구간에서의 인명 및 재산 피해가 과거에 비하여 상당히 감소하였으나 소하천에서는 반대로 피해가 증가하고 있는 실정이며, 따라서 돌발홍수에 대한 대비의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 돌발홍수로 인한 인명 및 재산 피해를 최소화하기 위하여 산지유역의 돌발홍수 발생 위험도를 평가할 수 있는 방법론을 제시하였다. 돌발홍수 위험도를 평가하기 위하여 고려되는 요소들로는 유역경사, 하천경사, 강우특성 등이며, 이러한 서로 다른 단위의 평가요소들을 종합적으로 고려하기 위하여 다기준의사결정방법 중 하나인 PROMETHEE 기법을 이용하였다. 주요 평가 인자들은 크게 지형특성, 지역특성 및 강우특성으로 구분되며, 각 평가 요소들간의 상대적인 가중치의 산정은 엔트로피 이론을 이용하였다. 본 연구에서 제안된 위험도 평가 방법은 그 적용성을 검증하기 위하여 17개의 소유역들을 포함하고 있는 봉화군 유역에 적용되었다. 적용 결과 봉화군 유역 내 17개의 소유역들은 돌발홍수에 대한 상대적인 위험도에 따라 고·중·저위험군으로 분류되었으며, 과거 돌발홍수로 인한 피해 이력이 있는 소유역이 고위험군에 속해있는 결과를 나타냄으로써 본 연구의 방법론에 대한 적용성이 검증되었다.

핵심용어 : 돌발홍수, 다기준의사결정기법, PROMETHEE, 엔트로피

1. 서 론

과거 우리나라 홍수예측에 관한 연구의 목적은 느린 홍수위 상승으로 인한 대하천 침수시간 및 지역의 예측과 보호에 집중되어왔다. 그러나 최근 경제력의 향상 및 인간 활동영역의 확대에 의하여 생활 및 레크리에이션을 위한 소하천 및 산악지역의 이용도가 높아지고 있어 비록 경제적으로는 대하천 홍수의 피해가 복잡적이고 클 수 있으나, 산지유역에서의 돌발홍수의 특성이 짧은 시간에 많은 인명 피해를 발생시킨다는 점에서 대하천 홍수 예경보와 연계 혹은 별도의 적절한 산지하천 돌발홍수 예측 및 예경보 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 행사부에서는 이러한 산지하천에서 발생할 돌발홍수에 대비하여 자동우량국과 경보국을 설치하여 운영하고 있으나, 경보 발

* 정희원 · 국립한밭대학교 토목공학전공 전임강사 · E-mail : leejh@hanbat.ac.kr

** 정희원 · 한서대학교 토목공학과 교수 · E-mail : mjpark@hanseo.ac.kr

*** 정희원 · 국립서울산업대학교 건설공학부 조교수 · E-mail : hwjun@snut.ac.kr

령 지점의 선정 및 그 기준에 대한 구체적 근거가 부족한 실정이다(국립공원관리공단, 2003).

돌발홍수의 발생과 관련하여 중요한 요소는 지속시간과 강우강도이며 특히 지형적 특징과 선행강우와 관련된 토양 및 지표면의 조건도 큰 영향을 미치게 된다. 국내의 경우 돌발홍수에 대비한 정보는 주로 인명피해를 최소화하는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 돌발홍수 예경보를 위하여 현행 관리되고 있는 자동우량국 및 경보국은 설치 지점에 대한 명확한 판단 근거가 부족하여 그 효용성에 대한 평가 자체가 모호한 현실이며, 이러한 문제점으로 인하여 향후 돌발홍수 예경보 지점의 추가 선정 및 적합성의 판단에 있어서 명확한 기준 마련이 절실한 실정이다. 본 연구에서는 돌발홍수 예경보의 기준 및 필요 지점에 대한 기준 마련을 위하여 돌발홍수 발생 위험지역에 대한 평가 지표의 선정과 구역별 상대적 위험도 평가 기법을 제시하였다.

2. 돌발홍수 위험도 평가 지표의 선정

효과적인 산지 돌발홍수 예경보 지점의 선정을 위해서는 구역에 대한 명확한 위험도 평가가 이루어져야 하며, 이를 위해서는 돌발홍수 발생과 관련된 평가 지표의 선정 및 분석 체계의 수립이 필요하다. 돌발홍수의 발생 위험과 관련하여 고려될 수 있는 평가 요소로는 지역특성인자, 강우특성인자 및 지형특성인자로 대별할 수 있다.

첫째, 돌발홍수 위험지역을 평가하기 위한 인자로서 돌발홍수로 인한 인명 및 재산의 피해가 발생 가능한 지역특성 요소가 우선적으로 검토되어야 한다. 돌발홍수로 인한 인명피해는 과거에 비하여 여가생활이나 여행의 빈도가 커지고 계곡을 찾는 사람의 수가 증가함에 따라 함께 증가하는 것으로 판단된다. 따라서 돌발홍수 위험지역에 대한 평가에 고려되어야 할 지역특성 인자로는 주거단지, 위락지구, 관광지구, 야영장 등 사람들이 쉽게 모이는 곳일수록 돌발홍수 발생 시 인명피해의 발생 위험이 상대적으로 높아질 수밖에 없다.

둘째, 돌발홍수 위험지역을 평가하기 위한 또 다른 요소로서 강우특성 인자에 대한 고려가 이루어져야 한다. 특정 지점에서 돌발홍수를 야기하는 강우량이 정량적으로 산정된다면 그 강우 발생의 적정성을 판별함으로써 해당 지점의 위험도를 상대적으로 평가할 수 있다. 즉, 돌발홍수 발생 가능 우량의 재현기간이 짧을수록 상대적으로 위험도는 커질 수밖에 없으므로 이에 대한 평가가 정량적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 우선 하천 지점에서의 돌발홍수 발생 가능한 한계우량을 분석한다. 일반적으로 하천의 수심이 0.5m 이상일 때 인명의 피해 발생이 가능한 돌발홍수가 발생하였다고 생각할 수 있으므로, 해당 지점에서의 돌발홍수가 발생되기 시작하는 수심에서의 하천유량 값이 한계유량에 해당한다. 그리고 한계우량은 한계유량을 발생시키기 위한 최소의 강우량 값으로 정의된다. 하천 지점에서의 한계유량에 대한 한계우량이 산정되어지면, 해당 구역에 대한 확률강우량으로부터 해당 한계우량의 재현기간을 산정할 수 있다.

셋째, 돌발홍수 위험지역 평가를 위하여 고려되어야 할 지형적 특성은 산지구역에서 급격한 유출을 유발하는 요소들과 동일하다. 산지돌발홍수에 대한 위험지역의 분석에 있어서 돌발홍수의 예측을 위해서는 수문학적 유출 해석에 기반하여야 한다. 그러나 실제 미세측 구역에서의 이러한 유출 해석은 거의 불가능하므로 수집 가능한 자료의 범위 내에서 최대한 그 오차를 줄일 수 있도록 분석이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 지형특성인자로서 구역경사, 하천경사를 선정하였다.

3. 돌발홍수 위험도 평가 기법

본 연구에서는 지역특성, 강우특성, 지형특성 등을 고려하여 산지돌발홍수에 대한 위험도 평가

기법을 수립하였다. 수립된 위험지구 선정 기법은 전국 단위에서의 지역적 분류를 통한 개개 지역의 위험도를 산정하며, 산정된 위험도를 통하여 등급별 위험지구의 분류를 체계화하였다.

수립된 위험도 평가 기법은 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making, MCDM) 기법중 하나인 PROMETHEE(Preference Rangking Organization METHod for Enrichment Evaluations)를 이용하여 지역특성, 강우특성, 지형특성에 따른 유역 돌발홍수 위험도를 산정한다.

PROMETHEE를 포함한 다기준 의사결정 기법에 있어서 가장 중요한 요소는 평가 요소들에 대한 각각의 가중치 산정이 선행되어야 한다는 것이다. 본 연구에서는 평가요소별 가중치의 산정을 위하여 엔트로피(Entropy) 방법을 이용하였다.

3.1 PROMETHEE 기법

다기준의사결정기법은 여러 기준에 입각해서 대안들에 대한 선호의 순서를 결정하거나 하나의 최적 대안을 선택하는 방법론으로 MAUT(Keeney and Raiffa, 1976), AHP/ANP(Saaty, 1980; Saaty, 1996), PROMETHEE(Brans and Vincke, 1985), ELECTRE(Roy, 1991) 등이 있다. 이중 PROMETHEE는 적용과정과 이론의 이해가 상대적으로 쉽고 또한, 대안간의 순위선호도를 이용하여 산지유역의 상대적 돌발홍수 위험도 평가에 적합하다. PROMETHEE는 평가기준별 선호함수와 선호유출량 및 유입량을 이용하여 대안들의 순위선호를 도출하는 방법으로 PROMETHEE의 적용과정은 다음 그림 1과 같다. 여기서 선호지수($\pi(a,b)$)를 계산하기 위해서는 평가기준별 가중치를 결정해야 하며, 결정시 주관적 경향이 크게 작용할 수 있으므로 합리적인 방법의 가중치 결정과정이 필요하다. 선호지수($\pi(a,b)$)는 평가기준별 선호함수($p_h(a,b)$)의 합을 평균한 값으로 나타난다. 여기서 $p_h(a,b)$ 는 평가기준 h 의 선호함수 값을 의미한다. PROMETHEE는 순위선호체계를 기반으로 대안들의 부분적인 우선순위를 결정하고, 식 (2)에 의하여 계산된 순흐름량(net flow, $\emptyset(a)$)를 이용하여 전체의 우선순위(total preorder)를 구한다.

$$\pi(a,b) = \frac{1}{k} \sum_{h=1}^k p_h(a,b) \quad (1)$$

$$\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a) \quad (2)$$

3.2 Entropy 방법

엔트로피를 근거한 4가지 기본 정보측정방법은 한계엔트로피(marginal entropy), 결합엔트로피(joint entropy), 조건부 엔트로피(conditional entropy)와 정보전달(trans-information) 등이 있다. 한계엔트로피는 Shannon과 Weaver(1949)에 의해 이산무작위변량 $X=\{x_n\}$ 의 확률 $p(x_n)$ 분포가 가지는 엔트로피 량으로 정의되었다. 한계엔트로피(marginal entropy) $H(X)$ 는 X 가 가지고 있는 불확실성 또는 정보용량을 의미하며, 수문학적 무작위 이산변수 X 에 대해 한계엔트로피 $H(X)$ 는 다음과 같이 정의된다. 여기서, $p(x_n)$ 은 x_n 의 발생확률을 의미한다.

$$H(X) = - \sum_{n=1}^N p(x_n) \ln p(x_n), \quad n = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3)$$

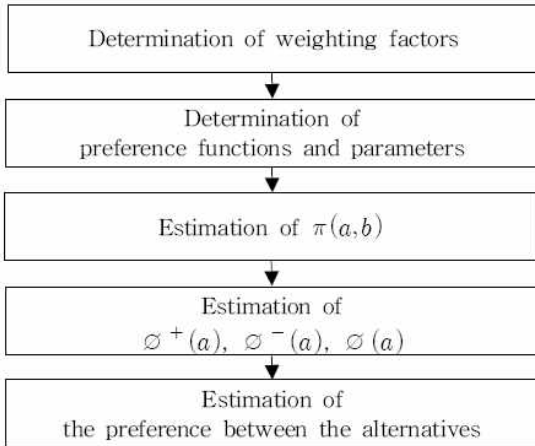


그림 1. PROMETHEE 적용 절차



그림 2. 위락지구 현황(봉화군)

4. 적용 및 결과

본 연구에서는 과거 돌발홍수 피해발생 사례가 보고된 봉화군 일부 유역에 대한 위험도 평가 결과를 수록하였다. 다음의 표 1은 평가지표별 가중치 산정 결과를 나타내고 있다.

표 1. 평가지표별 가중치

평가지표	위락지구	유역경사	하도경사	한계우량	계
가 중 치	0.367	0.194	0.126	0.313	1.000

표 2. 평가지표 및 위험순위(봉화군)

유역	위락지구 개수	한계우량		유역경사	하도경사	위험도 평가	
		강우량(mm)	재현기간			순흐름량	위험순위
1	1	17.30	3년	0.027	0.010	0.734	3
2	1	19.71	2년	0.012	0.009	0.391	6
3	1	20.84	5년	0.034	0.008	0.570	4
4	0	21.32	10년	0.021	0.009	0.090	10
5	0	23.89	10년	0.056	0.012	0.351	7
6	1	22.55	20년	0.012	0.011	0.141	9
7	2	16.62	30년	0.038	0.004	1.004	1
8	0	27.92	20년	0.026	0.009	-1.376	17
9	0	25.28	30년	0.031	0.011	-0.347	12
10	0	25.87	50년	0.028	0.011	-0.553	14
11	0	12.09	100년	0.019	0.009	0.432	5
12	1	26.26	50년	0.018	0.011	-0.545	13
13	2	23.44	50년	0.037	0.012	0.784	2
14	1	24.99	70년	0.040	0.012	0.269	8
15	0	26.99	80년	0.015	0.018	-0.839	15
16	0	27.12	80년	0.026	0.011	-0.891	16
17	2	25.43	50년	0.006	0.010	-0.212	11

17개 유역별 평가지표 및 돌발홍수에 대한 위험순위 산정 결과를 표 2에 수록하였다. 이상의

산정 결과를 바탕으로 전체 유역에 대한 분할 유역별 돌발홍수 위험지구를 고, 중, 저로 세 개의 위험군으로 분류하면, 고위험군은 상위 30%를 기준으로 하여 총 5개 지역이 선정되며, 저위험군은 하위 40%를 기준으로 총 5개 지역이 선정된다. 이상의 결과에서 13번 유역의 경우 본 연구의 분석 기법에 따라 정량적 평가 결과 돌발홍수 발생에 따른 고위험군 유역으로 구분되었다. 이 유역의 경우 과거 돌발홍수로 인한 침수피해가 발생하였던 지역으로 본 연구 결과가 실제 침수실적과 비교하여 타당성 있는 결과를 도출하고 있음을 나타내고 있다.

3. 결 론

돌발홍수는 사망피해를 발생시킬 수 있는 위험성을 내포하고 있으므로, 돌발홍수가 발생할 가능성이 있는 지역에서는 돌발홍수에 의한 피해를 최소화할 수 있는 대책이 필요하다. 돌발홍수에 대한 피해경감 대책은 구조적인 방법과 비구조적인 방법으로 구분할 수 있다. 구조적인 방법은 일반적인 하천정비 계획과 유사하게 예상되는 호우 규모를 설정하고 이에 대한 강우-유출 관계를 적용하여 피해위험이 큰 지역에 제방축조와 같은 구조물을 설치하고, 하천구조물의 내구연한도 증가시키는 사전 예방적인 대책이다. 또한 비구조적인 방법은 집중호우 발생이 예견될 때 선행하여 발령할 수 있는 돌발홍수 예경보 시스템, 위험지역에 대한 지해지도, 위험 표지판 등이 포함된다.

본 연구에서는 돌발홍수에 대비한 다각적인 방재 대책의 수립에 있어서 보다 효과적인 시설물의 계획 및 정책의 수립을 위하여 하나의 기준이 될 수 있는 정량적 결과물로서의 돌발홍수 위험도에 대한 평가 기법을 제시하였다. 따라서 돌발홍수에 대한 위험성에 대한 인지가 수치적으로 가능하며, 이를 바탕으로 기존 수립된 재해 대책에 대한 평가 또한 가능할 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 국립방재연구소 산지 돌발홍수예측시스템 고도화 및 의사결정지원시스템 개발의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 국립공원관리공단(2003). 자동우량 경보시설 확충·보상설정에 따른 조사용역.
2. Brans, J.P. and Vincke, Ph.(1985). A preference ranking organization method, Management Science, Vol. 31, No. 6, pp. 647-656.
3. Keeney, R.L. and Raiffa, H.(1976). Decision with Multiple Objective: Preferences and Value Tradeoff, John Wiley & Sons, New York.
4. Roy, B.(1991). The Outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, Theory and Decision, Vol31, pp. 49-73.
5. Satty, T.L.(1980). The Analytic hierarchy Process:Planning Setting Priorities, Resource Allocation, AcGraw-Hill, New York.
6. Satty, T.L.(1996). Decision Making with Dependence and Feedback: the Analytic Network Process, RWS publisher, Pittsburgh.
7. Shannon, C.E. and Weaver, W.(1949). The mathematical theory of communication, ACM.