Fuzzy C- Means(FCM)를 이용한 도시유역 침수위험도 산정

Estimation of Urban Inundation Risk using Fuzzy C-Means

이정호* · 이원우** · 김중훈*** · 전환돈****

Lee, Jung Ho · Lee, Won Woo · Kim, Joong Hoon · Jun, Hwan Don

Abstract

Generally, inundation risk should be estimated to establish the flood disaster prevention policy in urban areas. In this study, a new method was suggested to estimate urban inundation risk. To develop the suggested method, we selected the five factors such as surface elevation, surface slope, pipe density, population and sediment in pipe, which have influence on the urban flood risk. Although the contribution of each factor to increase the risk must be considered at the same time, it is difficult to combine those contributions because each factor has different units. For this reason, the new method adopts the Fuzzy C-Means (FCM) algorithm which is one of the fuzzy cluster algorithms and makes it possible to consider the contribution of those factors that increase urban inundation risk at the same time. To verify the applicability of the suggested method, we applied the suggested method to Gunja basin in Seoul, Korea. Firstly, we collected the five factors for each sub-basin and used them to perform the FCM to estimate the inundation risk of each sub-basin. Then, the results obtained from the analysis were compared with the inundation history of Gunja basin. Comparison results showed that the high-risk sub-basins were in good agreement with the sub-basins which have the inundation history. Thus, the inundation risk estimation using FCM can be applicable to establish the disaster prevention policy for urban flood.

Key words : urban inundation risk, fuzzy cluster, FCM

요 지

도시유역에서의 내수침수에 대한 저감대책을 수립하기 위해서는 유역별 침수위험도의 산정이 기본적으로 이루어져야 한다. 본 연구에서는 도시유역에서의 침수위험도를 정량화할 수 있는 새로운 침수위험도 산정방법을 제안하였다. 침수위험도 산정 지표로 이용된 인자로는 지표고, 경사, 관밀도, 인구, 단위면적별 평균유사발생량 등이며, 이들 인자들은 침수발생에 영향을 미치는 요소로서 고려되었다. 따라서 침수위험도 산정은 이들 인자들의 복합적인 고려를 통해 이루어져야 하는데, 각 인자들은 정량적 가치 척도가 서로 다르기 때문에 복합적인 고려가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이들 각 인자들의 복합적 고려를 통해 하나의 정량화된 침수위험도를 산정하기 위하여 퍼지 클러스터 알고리즘의 하나인 Fuzzy C-Means(FCM) 알고리즘을 이용하였으며, FCM을 이용하여 여러 가지 인자들을 복합적으로 고려하여 하나의 정량화된 지표로 침수위험도를 산정하였다. 본 연구에서 제안된 FCM을 이용한 침수위험도 산정 결과 높은 침수 위험도를 갖는 것으로 평가된 유역들의 경우 과거 실제 침수가 발생한 유역과 대부분 일치하는 것으로 분석되었다. 이 같은 분석을 통하여 본 연구에서의 침수위험도 산정 방법에 대한 신뢰성이 검증되었으며, 따라서 본 연구의 결과는 도시유역에서의 내수침수 방재계획의 수립에 있어서 유역별 위험도 산정이라는 기초적인 분석과정에 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 도시침수위험도, 퍼지클러스터, FCM

1. 서 론

최근 지구 온난화 현상으로 인하여 도시유역의 국지성 집중호우가 빈번히 발생하고 있다. 또한 집중호우 발생 시 도시화에 따른 불투수면적의 증가 및 도달시간의 감소 등으로 인하여 내수침수의 빈번한 발생과 이로 인한 인명 및 재산

피해가 발생하고 있다. 따라서 이러한 피해를 저감하고 적절한 대책을 세우기 위해서는 명확한 기준에 따른 지역별 침수위험도의 산정이 필요하다. 침수위험도 산정에 관한 기존의 연구로는 유사량 산정 및 이를 이용한 침수위험도 산정에 관한 연구(이재수, 2006) 및 GIS를 기반으로 DEM자료의 지표고 및 경사 등을 인자로 사용하여 침수위험도를 산정한 연

*정회원 · 한밭대학교 토목공학과 전임강사 (E-mail : leejh@hanbat.ac.kr)

**정회원 · (주)이산 수자원부 대리

***정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 교수

****정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학부 조교수 (교신저자)

구(박무중, 2007) 등이 있다. 또한, 이와 비슷한 연구로 표고 및 경사도를 이용하여 침수취약지역을 예측한 홍수에 의한 침수 취약지역 예측에 관한 연구(황유정, 2006)등이 있다.

이러한 기존의 연구에서 침수위험도의 산정 지표로 이용된 유사, 지표고 및 경사 등의 인자들은 내수 침수의 발생에 영향을 미치는 인자들임에는 분명하며 개개 인자들의 정량적 가치는 침수 위험도의 산정에 기여한다. 그러나 도시유역의 내수침수 발생은 이러한 침수 발생 인자들의 복합적 영향에서 비롯되며 따라서 침수위험도는 개별 인자들의 복합적 고려를 통하여 산정되어야한다. 그런데, 기존의 연구에서 유사, 지표고 및 경사 등 침수 요인으로서 인용된 각 인자들은 정량적 가치의 척도가 다르므로 인하여 산술적인 복합적 고려가 불가능하다. 따라서 이러한 서로 다른 척도의 인자들을 동시에 고려하여 침수위험도를 산정하기 위해서는 각 인자들 간의 상호관계를 복합적으로 고려하여 하나의 지표로 산정할 수 있는 새로운 접근 방법이 필요하다.

클러스터링은 주어진 데이터 집합을 비슷한 성질을 가지는 그룹으로 나누는 것으로 패턴인식, 영상처리 등 여러 공학 분야에서 널리 적용되고 있다. 특히, 퍼지 클러스터링 알고리즘(fuzzy clustering algorithm)은 각 데이터와 클러스터 중심과의 거리에 소속정도(degree of membership)를 부여하고 이 소속정도에 따라 데이터를 분류하는 알고리즘으로 데이터의 경계가 명확하지 않더라도 데이터를 소속정도에 따라 분류할 수 있는 장점을 가지고 있다(Zadeh, 1965; Bezdek, 1980, 1987).

본 연구에서는 침수위험도(Inundation Risk, IR) 산정을 위하여 퍼지 클러스터링 알고리즘의 하나인 FCM(Fuzzy C-Means)을 이용하였으며 산정 인자로는 지표고, 경사, 관밀도, 인구, 단위면적당 유사발생량 등을 선정하였다. 이러한 인자들에 대해서는 각기 다른 소속 함수(membership function)를 적용하여 각 인자별 소속정도(degree of membership)를 산정하였고, 여러 가지 인자들의 정량적 가치를 복합적으로 고려하여 하나의 정량화된 지표로서의 침수위험도 산정 방법을 제안하였다.

2. 연구방법

2.1 퍼지 집합과 소속 함수

퍼지 개념은 하나의 대상이 하나의 값으로 정의되는 것이 아니라 여러 값을 통해 단계적으로 정의되기 때문에 집합의

개념을 사용하여 표시한다. 이러한 집합은 일반집합의 표현 및 특성과 서로 비교하여 몇 가지 다른 점을 가지기 때문에 일반집합과 구분하기 위하여 퍼지 집합이라 부른다.

퍼지 집합을 좌표축에 대응시키면 함수를 얻을 수 있다. 이 함수는 대상에 대해 퍼지 특성을 가지게 된다. 함수의 값이 클 때는 대상의 목적에 소속되는 정도가 크다는 것을 의미하고 작을 때는 그 반대를 의미하므로 이를 소속함수(membership function)라 한다. 퍼지 집합 A에 대한 소속함수는 μ_A 라 표시하고 일반적으로 0과 1사이의 값을 가진다.

전체 집합 X상의 퍼지(부분) 집합 A(fuzzy set)란 $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ 로 되는 소속 함수 μ_A 에 의해 특성화된 집합이다. 여기서 퍼지 집합 A의 $\mu_A(x)$ 값을 $x \in X$ 에 있어서의 소속 값(degree of membership) 또는 grade라 부른다. 이 소속 값은 요소 x가 퍼지 집합 A에 속하는 정도를 표시한다. 즉, 퍼지 집합 A의 소속함수를 $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ (X ; 전체집합, x ; 요소)라고 했을 때, 요소 x와 퍼지 집합 A간의 관계는 다음과 같이 정의된다.

- $\mu_A(x)$ 가 1 근처에 있는 경우 : 요소 x는 퍼지 집합 A에 속하는 정도가 높다.
- $\mu_A(x) = 1$: 요소 x는 퍼지 집합 A에 완전히 속한다.
- $\mu_A(x) = 0$: 요소 x는 퍼지 집합 A에 완전히 속하지 않는다.

일반적인으로 소속함수의 경우 크게 사다리꼴 소속함수(trapezoidal membership function)와 반사다리꼴 소속함수(semirapezoidal membership function)가 있으며, 각 형태별 소속함수는 다음의 Table 1과 같다(Iliadis, 2005).

이중 본 연구에서는 함수의 특성을 고려하여 반사다리꼴 소속함수(semirapezoidal membership function)를 선택하였

Table 1. Definition of trapezoidal & semirapezoidal membership function

Trapezoidal membership function	Semirapezoidal membership function
$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{if } x \in (a, m) \\ 1, & \text{if } x \in (m, n) \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{if } x \in (n, b) \\ 0, & \text{if } x \geq b \end{cases}$	$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{if } x \in (a, m) \\ 1, & \text{if } x \in (m, n) \end{cases}$

Fig. 1. General membership function

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } x \geq b \\ \frac{f(b)-f(a)}{b-a}x - \frac{f(b)-f(a)}{b-a}a & \text{for } a < x < b \\ 0 & \text{for } x \leq a \end{cases}$$

으며, 이를 각 평가인자의 특성에 맞추어 다음의 Fig. 1과 같은 일반적인 소속함수로 산정하였다.

2.2 FCM 알고리즘

퍼지 클러스터링 알고리즘의 목적은 주어진 데이터 집합을 주어진 수의 유사한 퍼지 클러스터로 분할하는 것이다. FCM 알고리즘은 퍼지 클러스터링 알고리즘 중에서 가장 폭넓게 사용되는 알고리즘으로 각 데이터와 특정 클러스터 중심과의 거리에 소속정도를 부여하고 이 소속정도에 따라 데이터를 분류하는 알고리즘이다(Bezdek, 1980). FCM 알고리즘의 목적함수는 식 (1)과 같다.

$$J_m(U, v) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m \|v_i - x_j\|^2 \quad (1)$$

여기서, c 는 클러스터 개수, n 은 데이터 개수, m 은 퍼지 정도를 나타내는 가중치이고 모든 데이터 j 에 대하여 $\sum_{i=1}^c \mu_{ij} = 1$ 이다. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 인 데이터 벡터 집합과 $v = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$ 인 클러스터 중심들 사이의 소속정도를 $c \times n$ 인 행렬 $U (= \mu_{ij})$ 로 나타내면 식 (2)와 같고, 이 때의 클러스터 중심을 $v (= v_i)$ 로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$\mu_{ij} = \left\{ \sum_{k=1}^c \left(\frac{\|v_i - x_j\|}{\|v_k - x_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right\}^{-1} \quad (1 \leq i, k \leq c, 1 \leq j \leq n) \quad (2)$$

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m x_j}{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m} \quad (3)$$

식 (2)에서 μ_{ij} 는 j 번째 데이터가 i 번째 클러스터에 속하는 소속정도를 나타내고, 식 (3)에서 v_i 는 i 번째 클러스터 중심이다. 여기서 m 이 1보다 큰 경우는 모든 $x_i \neq x_j$ 를 만족한다고 가정하면 위의 식을 만족할 때만 (U, v) 가 J_m 의 최소화를 가능하게 한다. FCM 알고리즘은 식 (2)와 식 (3)을 반복하므로 J_m 은 어떤 정해진 값으로 수렴한다.

2.3 침수위험도 산정 방법

본 연구에서는 침수위험도(IR) 산정을 위하여 FCM 알고리즘을 이용하였으며, 5가지 단일인자(지표고, 경사, 관밀도, 인구밀도, 단위면적당 유사발생량)들을 고려하여 위험도가 산정된다. 여기서, IR는 유클리드 거리(euclidean distance)로 산정되고 이는 선처리 자료 f_k (pre-processed object data)와 프로토타입 e_i (prototype)간의 거리 계산을 통해 구한다. 본 연구에서 IR는 Liou(2003)의 river quality index 산정식을 이용하였으며 소속정도 μ_{ki} 와 가중치 q_i 를 통해 다음의 식 (4)와 같이 결정된다.

$$IR = \left(\sum_{i=1}^c \mu_{ki} \times q_i \right) \times 100 \quad (4)$$

Fig. 2. 군자배수분구 관망도

$$\mu_{ki} = \frac{1 / (\|f_k - e_i\|^{2/(m-1)})}{\sum_{j=1}^c [1 / (\|f_k - e_j\|^{2/(m-1)})]} \quad (5a)$$

$$\mu_{ki} = 1, 1 \leq i \leq c \rightarrow \text{if } \|f_k - e_i\|^2 = 0 \quad (5b)$$

$$\mu_{ki} \in [0, 1] \text{ and } \sum_{j=1}^c \mu_{ki} = 1 \quad (5c)$$

위 결과 산정되는 IR 값은 0부터 100사이의 값을 가진다. 이때 100에 가까울수록 침수위험이 높은 것을 의미하고, 0에 가까울수록 침수위험이 낮은 것을 의미한다.

3. 침수위험도 산정

본 연구에서 침수 위험도를 산정하기 위하여 앞에서 설명한 FCM을 서울 군자배수유역에 적용하여 IR를 산정하였다. 중랑천 유역에 속한 군자배수분구는 총 25개 소유역으로 구성되어 있고, 유역면적은 193.62 ha이다. 군자배수분구의 관망도는 다음의 Fig. 2와 같다.

3.1 소속 함수(membership function)

대상유역의 소유역별 평균지표고, 지표경사, 관밀도, 인구밀도, 단위면적당 유사발생량에 대해 각 소유역별 소속정도를 산정하기 위하여 소속 함수(membership function)를 구성하였다. 이 함수는 대상에 대해 퍼지 특성을 가지게 된다. 함수의 값이 클 때는 대상의 목적에 소속되는 정도가 크다는 것을 의미하고 작을 때는 그 반대를 의미하며, 각 인자의 소속정도는 일반적으로 0과 1사이의 값을 가진다. 다음의 Fig. 3은 각 인자별 소속 함수를 나타낸다. 여기서 소속 함수는 각 인자별로 최대값과 최소값의 범위에서 그 변화 폭에 따른 기울기의 직선으로 정의되며, 최대값 또는 최소값을 벗어나는 인자 값들에 대해서는 1 또는 0으로 정의된다. 예를 들어 평균지표고의 경우 낮은 지표고일수록 침수위험도가 높으므로 대상유역에서의 최소값 E.L.14.50 m 이하에서 소속 함수 값

$$f_{elevation}(x_{elevation}) = \begin{cases} 1 & \text{for } x_{elevation} \leq 14.5 \\ -0.060x_{elevation} + 1.780 & \text{for } 14.5 < x_{elevation} < 33.25 \\ 0 & \text{for } x_{elevation} \geq 33.25 \end{cases}$$

(a) 소유역별 평균지표고

$$f_{slope}(x_{slope}) = \begin{cases} 1 & \text{for } x_{slope} \leq 0.89 \\ -0.145x_{slope} + 1.129 & \text{for } 0.89 < x_{slope} < 7.80 \\ 0 & \text{for } x_{slope} \geq 7.80 \end{cases}$$

(b) 지표경사

$$f_{density}(x_{density}) = \begin{cases} 1 & \text{for } x_{density} \leq 0.002 \\ -26.916x_{density} + 1.053 & \text{for } 0.002 < x_{density} < 0.04 \\ 0 & \text{for } x_{density} \geq 0.04 \end{cases}$$

(c) 관밀도

$$f_{population}(x_{population}) = \begin{cases} 1 & \text{for } x_{population} \geq 6912 \\ -1.473 \times 10^{-4}x_{population} - 0.018 & \text{for } 122 < x_{population} < 6912 \\ 0 & \text{for } x_{population} \leq 122 \end{cases}$$

(d) 인구밀도

$$f_{sediment}(x_{sediment}) = \begin{cases} 1 & \text{for } x_{sediment} \geq 10.01 \\ 0.100x_{sediment} - 0.001 & \text{for } 0.01 < x_{sediment} < 10.01 \\ 0 & \text{for } x_{sediment} \leq 0.01 \end{cases}$$

(e) 단위면적당 유사발생량

Fig. 3. 소속 함수

은 1로, 최대값 E.L.33.25 m 이상에서 소속 함수값은 0이 되며, 그 사이의 지표고에 대해서는 $-0.060x_{elevation} + 1.780$ 의 소속 함수값을 갖는다.

각 소속 함수는 요소마다 소속 값(degree of membership)을 가지고 있다. 이는 소속되는 정도를 나타내며 1에 가까울

수록 소속되는 정도가 크며, 소속 값(degree of membership)이 1인 경우 퍼지 집합에 완전히 속하는 것을 말하고, 0인 경우 완전히 속하지 않는다. 위의 소속 함수를 이용하여 각 소유역별 소속 값을 산정한 결과는 다음의 Table 2와 같다.

Table 2에서 구한 소속 값을 이용하여 침수위험도를 산정

Table 2. 소유역별 소속 값(degree of membership)

소유역	지표고 (EL.m)	소속값	지표경사 (°)	소속값	관밀도	소속값	인구 (명)	소속값	유사량 (kg/yr/m ²)	소속값
1	16.00	0.9200	7.80	0.0000	0.040	0.0000	979	0.1262	0.47	0.0460
2	18.08	0.8091	4.34	0.5007	0.020	0.5263	677	0.0817	2.55	0.2540
3	19.00	0.7600	4.92	0.4168	0.018	0.5789	488	0.0539	0.02	0.0010
4	18.76	0.7728	3.61	0.6064	0.013	0.7105	3,987	0.5692	0.40	0.0390
5	18.15	0.8053	2.84	0.7178	0.017	0.6053	1,651	0.2252	0.02	0.0010
6	17.75	0.8267	2.71	0.7366	0.022	0.4737	3,317	0.4705	0.90	0.0890
7	16.62	0.8869	2.67	0.7424	0.026	0.3684	1,140	0.1499	2.16	0.2150
8	14.50	1.0000	5.99	0.2619	0.028	0.3158	158	0.0053	10.01	1.0000
9	16.25	0.9067	0.89	1.0000	0.017	0.6053	1,708	0.2336	1.34	0.1330
10	18.89	0.7659	3.03	0.6903	0.020	0.5263	1,597	0.2172	1.97	0.1960
11	18.13	0.8064	1.52	0.9088	0.027	0.3421	955	0.1227	1.59	0.1580
12	20.00	0.7067	2.62	0.7496	0.019	0.5526	1,706	0.2333	2.05	0.2040
13	25.86	0.3941	2.97	0.6990	0.015	0.6579	6,403	0.9250	1.34	0.1330
14	27.35	0.3147	2.63	0.7482	0.022	0.4737	488	0.0539	9.99	0.9980
15	32.57	0.0363	4.12	0.5326	0.018	0.5789	810	0.1013	0.02	0.0010
16	22.00	0.6000	2.04	0.8336	0.011	0.7632	792	0.0987	0.01	0.0000
17	30.50	0.1467	4.41	0.4906	0.008	0.8421	1,187	0.1568	0.02	0.0010
18	23.00	0.5467	5.52	0.3300	0.016	0.6316	122	0.0000	0.02	0.0010
19	33.25	0.0000	6.17	0.2359	0.002	1.0000	6,912	1.0000	0.40	0.0390
20	28.42	0.2576	6.38	0.2055	0.011	0.7632	527	0.0596	0.02	0.0010
21	25.05	0.4373	2.87	0.7135	0.012	0.7368	650	0.0778	0.02	0.0010
22	21.93	0.6037	2.59	0.7540	0.018	0.5789	1,000	0.1293	1.79	0.1780
23	21.00	0.6533	2.61	0.7511	0.017	0.6053	2,329	0.3250	0.82	0.0810
24	16.33	0.9024	5.62	0.3155	0.020	0.5263	1,599	0.2175	0.30	0.0290
25	18.64	0.7792	2.63	0.7482	0.029	0.2895	783	0.0973	0.02	0.0010

Table 3. 침수위험도(IR)

소유역	유클리드 거리 #1	유클리드 거리 #2	μ_1	μ_2	침수위험도 (IR)
1	0.930	1.918	0.674	0.326	32.645
2	1.120	1.382	0.552	0.448	44.756
3	1.044	1.571	0.601	0.399	39.917
4	1.340	1.183	0.469	0.531	53.109
5	1.257	1.368	0.521	0.479	47.890
6	1.296	1.219	0.485	0.515	51.525
7	1.242	1.348	0.520	0.480	47.953
8	1.473	1.415	0.490	0.510	50.996
9	1.504	1.226	0.449	0.551	55.080
10	1.194	1.278	0.517	0.483	48.294
11	1.278	1.399	0.523	0.477	47.740
12	1.209	1.253	0.509	0.491	49.113
13	1.396	1.154	0.452	0.548	54.751
14	1.372	1.306	0.488	0.512	51.234
15	0.794	1.769	0.690	0.310	30.976
16	1.283	1.434	0.528	0.472	47.229
17	0.998	1.650	0.623	0.377	37.692
18	0.898	1.670	0.650	0.350	34.975
19	1.434	1.583	0.525	0.475	47.528
20	0.833	1.767	0.679	0.321	32.054
21	1.118	1.522	0.577	0.423	42.342
22	1.147	1.352	0.541	0.459	45.902
23	1.212	1.280	0.514	0.486	48.643
24	1.113	1.503	0.574	0.426	42.556
25	1.123	1.559	0.581	0.419	41.866

Table 4. 침수위험도에 따른 유역 군집

군 집	클러스터 1	클러스터 2
소유역	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 23	1, 2, 3, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25

(a) 침수위험도(IR) 군집화

(b) '98년 침수실적(wamis)

Fig. 4. 침수위험도(IR) 군집화 및 침수실적('98)

하기 위하여 클러스터의 개수 c 는 2를 사용하였고, 퍼지정도를 나타내는 m 은 3을 사용하였다. 침수위험지표는 Table 2에서 산정된 소속 값을 이용하여 각 군집중심까지의 유클리드 거리를 이용하여, 침수위험지표를 산정하기 위한 소유역별 가중치를 결정하였다. 각 소속 값(degree of membership)과 이를 통해 구한 가중치는 식 (4)를 통해 침수위험도(IR)로 산정된다. FCM을 통해 침수위험도(IR)를 산정한 결과는 다음의 Table 3과 같다.

Table 3에서 산정된 침수위험지표를 통해 군집화분석을 실시하여 침수위험도가 큰 순서대로 대상유역을 2개의 큰 권역으로 나눈 결과는 Table 4와 같으며 이때 클러스터 1에 속한 소유역들이 클러스터 2에 속한 소유역들보다 상대적으로 침수위험도가 높다, 다음의 Fig. 4(a)에서 음영이 들어간 유역이 다른 유역에 비해 상대적으로 침수위험도가 높은 지역을 나타내며, 결과의 신뢰성을 검증하기 위해 Fig. 4(b)의 '98년 홍수 시 발생한 침수실적과 비교하였다. Fig. 4(b)에서 짙은 음영으로 나타낸 지역이 당시 침수 발생 지역이며, 침수실적은 Water Management Information System(WAMIS)에서 제공하는 수치지도 자료로서 98년 7월 31일부터 8월 18일 사이에 발생한 집중호우로 인한 주택지 침수기록이다. 당시의 침수 원인은 우수관거 용량 부족, 배수시설의 미흡, 하수관거 노후 등으로 나타났다.

WAMIS에서 제공된 침수 발생 지역은 총 25개 소유역 중 14개 소유역으로 나타났다. '98년 집중호우로 인해 발생한 침수지역과 본 연구에서 제안한 FCM에 의해 산정된 결과를 비교해 보면, Fig. 4(a)의 침수위험도 산정결과를 바탕으로 군집화한 결과와 Fig. 4(b)의 침수실적간에 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 침수위험도가 높다고 해서 침수가 발생하는 것은 아니지만, 실제 침수실적과 비교를 해봤을 때 침수에 취약한 유역임을 알 수 있다. 따라서 FCM에 의해 산정된 침수위험지도를 통해 침수피해가 발생 가능한 지역을

높은 신뢰도로 예측할 수 있으며, 이를 통해 침수피해 절감 대책 수립 시 위의 지표를 적절히 반영할 경우 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 침수위험도 산정을 위하여 도시유역에서 추출 가능한 인자들을 바탕으로 FCM을 이용한 침수위험도(IR) 산정 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안된 침수위험도(IR)는 침수에 영향을 미치는 여러 가지 인자를 복합적으로 고려하여 소유역별 상대적 침수위험도를 정량화함으로써 침수피해 절감대책 수립 시 도움을 줄 수 있으며 관거의 유지관리 시에도 유용하게 적용할 수 있을 것이다. 또한 각 소유역별 침수위험도를 통해 위험의 정도가 비슷한 유역끼리 군집화 분석을 통해 분할한 결과는 과거 침수이력과 비교하였을 때 그 신뢰성이 검증되었다.

다만, 이번 연구의 경우 클러스터의 개수를 2개로 하여 군집화 분석을 하였으나, 클러스터의 개수는 사용목적에 따라 그 수를 조절할 수 있으며 추후 침수대책 절감대책 수립 시 권역별 대책 수립에 유용하게 사용할 수 있을 것이다. 또한, 내수침수에 영향을 미치는 인자들로는 본 연구에서 인용한 5개의 인자 외에도 수리학적 인자 등 다른 중요인자들이 존재할 것으로 예상된다. 따라서 침수 발생에 영향을 미치는 다양한 인자들의 고려와 각 인자들의 적정성 등을 고려한 침수위험도 산정 방법에 대한 개선이 추후 연구되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 복합지하공간 수해 방지를 위한 저류공동 건설기술 개발 사업의 연구비지원(10기술혁신E04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 박무중, 전환돈, 신민철 (2007) GIS를 이용한 도시구역의 유사량 산정 및 유사발생과 침수위험도 관계분석, **대한토목학회 논문집**, 제27권, 3B호, pp. 277-287.
- 이재수, 박무중 (2006) 합류식 관거 유지관리를 위한 하수 및 지표면 고형물 부하량 산정, **한국수자원학회 논문집**, 제39권, 제6호, pp. 533-544.
- 황유정 (2006) 홍수에 의한 침수 취약지역 예측에 관한 연구, **한국지역지리학회지**, 제12권, 제1호, pp. 172-178.
- Bezdek, J.C. (1980) A convergence theorem for the fuzzy ISO-DATA clustering algorithm, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* PAM1-2(1), pp. 18.
- Bezdek, J.C. (1987) Convergence theory for fuzzy c-Means: counterexamples and repairs. *IEEE Trans, Sys Man Cybern*, Vol. 17, pp. 873-877.
- Iliadis, L.S. (2005) A decision support system applying an integrated fuzzy model for long-term forest fire risk estimation, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 20, pp. 613-621.
- Liou, S.M. (2003) Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan, *Water Research*, Vol. 37, pp. 1406-1415.
- Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy sets, *Inf and control*, Vol. 1, No. 8, pp. 338-353.
- <http://www.wamis.go.kr>

◎ 논문접수일 : 11년 06월 19일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 06월 20일
 ◎ 심사완료일 : 11년 06월 29일