

GIS 기반 의사결정 분석에 AHP의 적용 - 홍수재해관리 중심으로

Application of AHP in GIS-based Decision Analysis

- with emphasis in Flood Hazard management

김수정¹⁾ · 염재홍²⁾ · 이동천³⁾

Kim, Su Jeong · Yom, Jae-Hong · Lee, Dong-Cheon

¹⁾ 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 석사과정(E-mail:taaal@hanmail.net)

²⁾ 세종대학교 대학원 지구정보공학과 교수(E-mail:jhyom@sejong.ac.kr)

³⁾ 세종대학교 대학원 지구정보공학과 교수(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)

Abstract

Flooding is one of the main causes of loss of lives and properties among various natural disasters in Korea. Flood risk maps are currently being produced in Korea but the progress is slow considering the necessity to map at nationwide scale. In this study, GIS-based multi-criteria decision making process which is normally used for resource management and site analysis was applied to locate flood vulnerable areas. Past records of flooding maps were analysed to extract topographic characteristics of flooded areas. The extracted characteristics were then set as criteria for flooding analysis using the Fuzzy and Analytic Hierarchy Process(AHP) methodology. Results from this study showed that an improved phased action plan was possible, because the flood vulnerable areas are shown in varying degrees of uncertainty unlike the conventional Boolean type GIS layer superimposition analysis.

1. 서 론

자연재해에는 폭설, 태풍, 한발, 홍수 등 다양한 형태가 있으나 이중 가장 큰 피해는 인명피해를 동반하는 홍수재해이다. 홍수재해는 형태가 일정하지 않고 시기 또한 불규칙하여 예측이 힘들므로 큰 손실을 입게 된다. 그래서 GIS와 홍수재해를 접목하여 미리 홍수가 일어날 지역을 파악하고 이에 따른 적절한 대피방안을 찾아 피해를 줄이는 것이 중요하다. 이런 노력중 하나로 현재 홍수위험지도가 홍수재해에 대비하기 위해 GIS와 연계하여 각종 피난정보 및 홍수정보를 이용하여 제작되고 있는 상황이고(수자원공사, 2001) 또한 지방자치단체에서는 각 지역별로 재해대책본부를 마련하고 홍수 및 재해발생시의 대피소나 대피 요령 등을 작성하여 두고 있다. 최근 일본에서 조사된 결과를 보면 재해지도를 본 사람은 그렇지 않은 사람보다 홍수발생시 대피율이 1.5배 증가하였으며, 또한 대피도 한 시간 일찍 대피한 것으로 나타났다(국립방재 연구소, 2003). 이런 예에서도 볼 수 있듯이 홍수재해가 발생하였을 경우 사전에 어느 지역이 홍수재해가 발생할 수 있는 위험성을 지닌 지역인지를 미리 예측하는 것은 중요하고, 평상시에 대피소 및 대피에 관한 요령을 잘 숙지하여 두는 것도 중요하다. 이러한 평상시의 재해에 대비한 교육과 더불어 홍수재해가 일어나고 있는 현장에서 홍수재해 노출정도의 상황에 따른 적절한 대피의사결정 모델링을 하여 두고 이를 실생활에 적용한다면 적절한 시기에 대피 시간을 좀더 단축시킴으로서 피해정도를 더 감소시킬 수 있는 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 과거의 침수 기록을 토대로 한 침수 실적도를 기본으로 침수가 일어날 지형적 조건을 분석한 후 평가기준으로 정하고 공간 다기준 의사결정기법을 적용하여, 제약과 요소를 적용 후 퍼지 기법(fuzzy method) 및 계층분석과정(AHP : Analytic Hierarchy Process)을 적용하여 침수가능지역에 대한 의사결정을 하였다.

2. 공간 다기준 의사결정 기법

다양한 기준을 고려하여 문제의 해결책을 모색하여야 하는 다기준 의사결정문제는 평가되는 대안들에 포함된 기준들이 표준화되어 있지 않을 뿐만 아니라 평가 기준들 간에 갈등적인 요소들이 존재하는 특성을 지니고 있다(김영표, 2003). 이러한 대안들을 표준화하기 위한 방법으로 공간 다기준 의사결정 기법에서는 퍼지기법을 이용하였다. 퍼지화는 논리적 용어를 이용하여 set membership에 대한 상태로 평가기준을 정규화하는 과정이다(Rashed 등, 2003 ; Hong 등, 2000). 퍼지화된 기준은 평가기준을 위한 퍼지 집합을 일반화하기 위해 가중치를 선택할 수 있는데 AHP(Analytic Hierachy Process)를 사용하여 대안들간의 우선순위를 결정할 수 있다. AHP기법 적용은 최상위에 있는 목표에 기초한 의사결정 문제를 중간단계(기준)와 하위단계(실행되어질 대안)로 구분하여 의사결정의 계층을 형성한다. 그리고 기준에 대한 각 요소의 쌍체비교 형태(매트릭스)로 입력 자료를 수집하고, 수집된 자료를 분류한다. 의사결정 요소의 상대적 경중률(가중치)을 평가하기 위해 매트릭스의 고유치 문제를 해결하고, 각 수준의 요소들의 종합적인 우선순위를 결정하고, 우선순위에 의한 각각의 대안별로 결정된 가중치를 종합하여 결과를 도출한다(한혜진, 2002). 각 요소별 중요도는 각 우선순위에 따라 전개된 가중치를 곱하여 얻을 수 있으며 각 계획에 따른 전체적인 가중치는 각각의 요소들을 합함으로써 얻을 수 있다.

일반적인 공간중첩기법을 이용한 부울 논리(0과 1)는 레이어의 경계선이 명확히 구분이 되므로 공간현상을 표현할 때 정보의 손실을 초래하게 된다(남광우, 1998). 공간 다기준 의사결정 기법에서 대안들을 퍼지기법을 이용하면 부울집합의 논리만으로 부족한 경우를 보충해서 이용할 수 있다는 점에서 큰 장점을 갖는다. 그러므로 이를 침수예측지역에 적용하여 단순히 침수가 되고 안되고의 확연한 경계로 나타내기보다 침수가 일어날 가능성을 단계적으로 나타내므로 홍수노출의 위험정도를 단계적으로 표시하여 그에 따른 대응방안을 시기적절하게 적용하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 본 연구에서는 그림 1에서와 같이 공간 다기준 의사결정분석방법을 적용하여 침수가능지역에 대한 예측을 하였다.

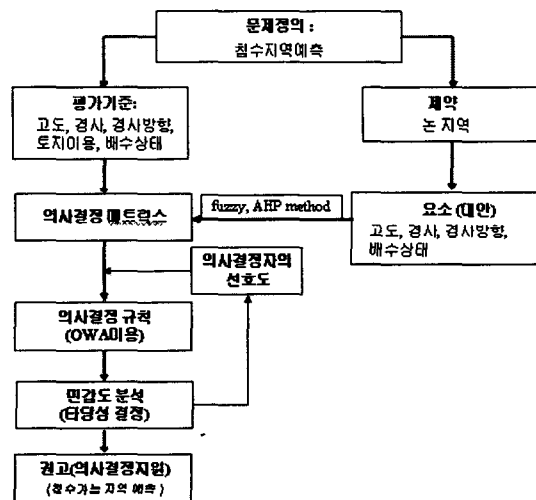


그림 1. 침수지역예측 의사결정 흐름도

3. 침수가능 지역 분석

자원관리나 공공시설입지 등에 주로 이용되어 왔던 의사결정 문제를 홍수재해 발생시 홍수가 일어날 수 있는 지역을 예측하는데 공간 다기준 의사결정기법을 이용하였다. 우선 공간 다기준 의사결정 프레임워크에 적용하기 위해 침수가능지역 예측이라는 문제정의를 하고 평가기준으로 고도, 경사, 경사방향, 토지이용, 배수상태를 정하였다. 여기서 평가기준 레이어는 침수실적도를 이용하여 분석한 지형적 특성을 이용하여 분석하였다. 공간 다기준 의사결정기법을 적용하기 위하여 서낙동강 지역의 김해시를 중심으로 침수실적도(89년)가 있는 지역을 선정하였다. 1:5000 수치지도로 10m의 해상도로 ArcInfo의

topogrid명령어를 이용하여 DEM을 작성하였다. 평가기준의 조건을 결정하기 위해 지형학적 특성을 분석하였는데 침수실적도를 기본으로 ArcGIS software의 spatial analyst를 이용하여 고도, 경사, 방향, 배수상태를 분석하였다. 그리고 공간 다기준 의사결정 과정은 IDRISI의 Decision Support를 이용하였다.

3.1 침수실적도를 이용한 홍수지역의 지형적 특성 분석

현재 토지의 기록상태는 범람의 형태에 영향을 미치기 때문에 미래에 다가올 홍수범람 특성을 예측할 수 있는데 GIS에서 분석가능한 지형학적 방법은 고도, 경사, 경사방향, 토지이용도 등을 이용하여 과거 홍수가 난 지역에 대한 특성분석을 할 수 있다(수자원 공사, 2001).

본 연구에서는 89년 태풍 주디로 인해 침수가 발생한 김해지역의 침수실적도를 이용하여 고도, 경사, 경사방향, 토지이용도, 배수상태를 분석하여 평가 기준시 조건으로 이용하였다. 분석 결과를 살펴보면(표 1) DEM을 이용하여 침수지역의 고도를 분석한 결과 침수실적도에서 99% 이상이 10m이하의 표고가 나왔으므로 침수예측지역의 조건으로 고도는 10m이하로 정하였다. 경사도 분석 결과 침수실적도에서 4도이하가 99%를 차지하므로 경사 4도 이하를 침수예측지역의 조건으로 정하였다. 그리고 경사방향이 침수실적도에서 88% 이상이 대부분을 차지하고 있어 평평한 그리드가 침수 가능성이 높으므로 평평한 지역을 침수예측지역 조건으로 정하였고 배수 상태는 역시 침수실적도에서 95%이상이 배수불량인 지역으로 나타나므로 침수가능 지역으로 배수상태가 불량인 지역을 조건으로 정하였다. 마지막으로 침수된 지역의 토지이용현황을 살펴보면 95%이상이 논농사지역이므로 침수가능지역 조건으로 논인 지역으로 정하였다.

표 1. 침수지역 지형적 특성 분석 결과

	지형 조건	침수지역	
		셀의 수	%
고도(m)	0~10	302018	99.00
경사(°)	0~ 4	306645	99.43
방향	-1(FLAT)	27269	88.42
배수상태	4(배수불량)	293171	95.06
토지이용	2(논)	293171	95.06

3.2 공간 다기준 의사결정기법 적용

공간 다기준 의사결정 기법을 적용하여 홍수가능지역을 결정하는데 있어 그림1의 단계를 따라 수행하였다. 연구지역에서 침수된 실적이 있는 곳의 대부분이 논인 지역이므로 논을 제약으로 정하고 제약은 불린으로 표현이 되어야 하므로 논인 지역은 1의 값을 할당하고 논이 아닌 지역은 0의 값을 할당하였다. 요소(대안)로는 고도, 경사, 경사방향, 배수상태 레이어로 정하고 다음과 같은 의사결정 과정을 수행하였다.

(1) 문제정의

의사결정 문제는 바람직한 상태와 현재상태의 차이를 말하는 것으로 의사결정 프로세스에서 가장 먼저 문제정의를 하게 된다. 우리나라는 매년 침수피해로 인명과 재산의 손실을 입게 되는 것이 현재 상태이고 바람직한 상태는 이러한 피해에서 벗어나기 위해 신속히 대피의사결정을 하여 피해를 줄이는 것이다. 여기서 현재 상태와 바람직한 상태 사이의 차이는 홍수지역을 예측하여 바람직한 상태로 나아가도록 하는 것이므로 문제의 정의는 홍수가능지역 예측으로 정의한다.

(2) 평가기준

홍수가능지역 예측이라는 의사결정 문제가 정의되면 다음단계로 평가기준을 결정하는데 평가기준은 홍수지역을 예측하기 위해 평가의 기준이 되는 데이터들을 구축하는 것이다. 앞서 수행한 것처럼 침수실적도를 이용하여 홍수가 발생했던 지역의 지형적 특징인 고도, 경사, 경사방향, 토지이용, 배수상태를

분석한 후 이를 평가기준으로 하였다. 평가기준 레이어는 제약과 요소로 나누어지는데 제약은 의사결정 변수와 속성이 추정 가능한 값 상에서 제한을 나타낸다. 정의된 문제 정의 즉 목표를 충족하기 위해서는 요소들을 비교하게 된다. 여기서 논인 지역을 제약으로 주었고 고도, 경사, 경사방향, 토지이용, 배수 상태를 요소로 주었다. 요소들을 표준화하는 방법은 다음에서 논의 하였다.

① 제약

제약은 요소들을 제한하는 것으로, 논인 지역은 1의 값을 할당하고 나머지 밭, 도심지, 산등은 모두 0의 값을 할당하였다. 제약을 결정하는 과정은 토지이용, 배수상태, 경사방향을 모두 후보로 한 후 결과를 평가해 본 결과, 모두 유사한 결과를 보였으므로 논지역을 제약으로 정하였다. 다음의 표준화에 적용할 값들은 앞서 분석한 침수실적도에 의한 침수지역의 지형적 특성값(표 1)들을 이용하였다.

② 퍼지기법을 이용한 요소들의 표준화

각 요소들은 다른 속성을 가지고 있는데 이것을 비교하기 위해서는 표준화시키는 과정을 필요로 한다. 여기서 표준화 기법으로 퍼지기법을 이용하여 0~255까지의 범위로 나타내었다. 범위는 퍼지 귀속도 함수를 이용하여 표현하는데 여러 귀속도 함수 중 시그모이드 함수를 일반적으로 이용한다(Eastman, 2003). 시그모이드 함수는 S자 형태로 입력 값에 관계없이 항상 [0, 1]사이의 값을 갖는다.

침수가능지역으로 고도가 10m이하인 지역을 정하였으므로, 평가기준 레이어를 표준화하는 데에 감소하는 시그모이드 함수를 적용하여 0~10m까지 범위를 주어 첫 번째 요소로 하였다. 그림 3은 DEM을 이용하여 침수 가능한 지역을 퍼지기법을 적용한 것이다. 경사는 4도이하인 지역을 침수가능 지역으로 정하였으므로, 고도와 마찬가지로 평가 기준 레이어를 표준화하는 데에 감소하는 시그모이드 함수를 적용하여 0~4도까지 값을 주어 퍼지기법을 적용하여 두 번째 요소로 하였다(그림 4).



그림 3. 퍼지 적용 후 고도

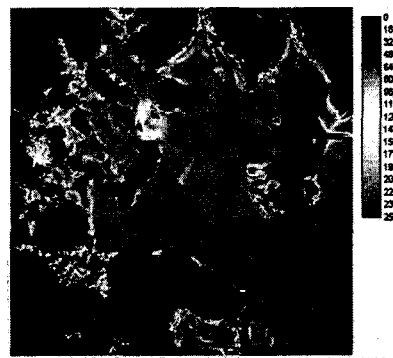


그림 4. 퍼지 적용 후 경사

침수가능지역으로 경사방향은 평평한 지역(-1)을 정하였으므로, 평가기준 레이어를 표준화하는 데에 역시 감소 시그모이드 함수를 적용하여 -1~0의 값을 주어 퍼지기법을 적용하여 세 번째 요소로 하였다(그림 5). 배수상태를 고려하여 배수가 불량인 지역을 침수가능지역으로 정하였다. 평가기준 레이어를 표준화하는 데에 대칭인 시그모이드 함수를 적용하여 3~5까지 범위를 주어 퍼지기법을 적용하였다. 대칭인 시그모이드 귀속 함수를 적용하여 배수불량인 4의 값을 주어 네 번째 요소로 하였다. 그림 6은 배수불량인 지역을 침수 가능한 지역으로 퍼지기법을 적용한 것이다.



그림 5. 퍼지 적용 후 경사방향

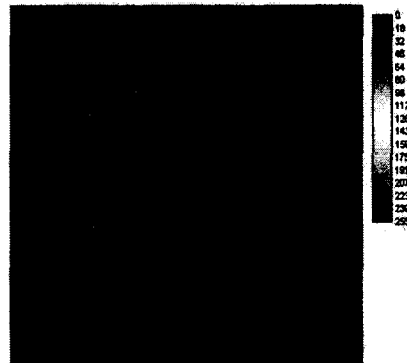


그림 6. 퍼지 적용 후 배수상황

(3) 기준 가중

여기서는 평가기준에 할당된 상대적으로 중요한 가중치를 표현하는데 속성들에 가중치를 주는 것은 다른 기준에 상대적으로 중요한 기준을 표현하는 것이다. 가중치 유도는 의사결정자의 선호도를 이끌어내는 단계인데 여기서 가중치를 유도하는 방법으로 AHP기법을 이용하여 쌍체비교 방법을 수행하였다. 요소(대안)가 네 개이므로 4×4 matrix형태로 구성하고 의사결정의 요소에서 상대적 가중치를 결정하기 위해 아이겐벡터를 구하고, 일치율의 값이 0.1이내에 들어가면 적합하다고 판정하고 0.1을 넘으면 부적합하므로 다시 쌍체비교 과정을 반복 수행한다(박용성 외, 2001). 가중치 계산 결과를 보면 아이겐 벡터의 가중치는 고도 0.4768, 경사 0.2696, 경사방향 0.174, 배수 0.0795의 결과가 나왔고, CR값이 0.02가 나와서 이것은 0.1의 범위 내에 들어가므로 사용가능한 것으로 판정하였다(표 2). 침수실적도를 기준으로 비교해서 침수가능지역을 찾는 데 각 요소들에 우선순위를 매기면 고도가 가장 큰 영향을 주고 경사, 경사방향, 배수상태의 순으로 나타난다. AHP 방법은 사용자의 주관에 따라 결정하는 값이므로 반복 계산하여 최적의 값으로 가중치를 결정한다.

(4) 의사결정 규칙

다음 단계는 순위가중평가를 주는 방법으로 가중평균방법은 평가기준에 대한 모호한 선호도와 가중치가 적용된 평가기준들의 상충정도를 조절하여 의사결정과정에서 존재하는 모호성 내지 위험도를 조절할 수 있는 방법이다. 여기서 요소들의 평가기준에는 퍼지연산을 적용하게 되는데 평균(trade-off)을 이용하여 평균연산을 적용하여 각 요소(대안)에 같은 값을 할당하였다(그림 7).

표 2. 쌍체비교 결과

	고도	경사	방향	배수	eigenvector of weights
고도	1				0.4768
경사	1/2	1			0.2696
방향	1/3	1/2	1		0.174
배수	1/5	1/3	1/3	1	0.0795
Consistency ratio					0.02

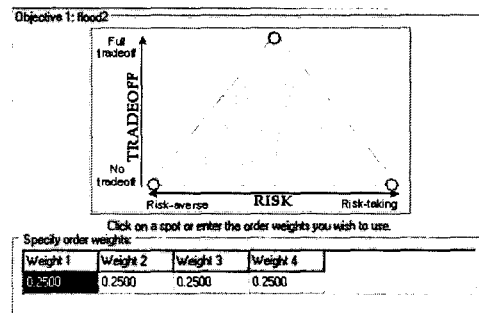


그림 7. 순위가중 평균 유도

퍼지최소화(MIN) 연산과 퍼지최대화(MAX)사이에서 유연적인 연산이 이루어질 수 있다. MIN연산은 순위가중치 $w^*=[1, 0, \dots, 0]$ 이 적용되며, 퍼지교차(AND)연산에 의해 산출된 값 중 최대값을 취하는 것으로 위험 기피(Risk-averse)라고 하고, MAX연산은 순위가중치 $w^*=[0, 0, \dots, 1]$ 이 적용되며, 퍼지 합산(OR)연산에 의해 산출된 값 중 최소값을 취하는 것으로, 위험 선택(Risk taking)이라고 한다. 순위가중을 구하기 위해 가중 1~4 모두를 동등하게 주는 방법인 완전 평균(full trade-off)을 취하는 방법과 가중1~4에 각각 다른 가중을 주는 방법으로 비교해 본 결과 전체적인 침수가능지역은 모두가 동일하고 일부영역에서 범위는 같으나 색이 진해지는 정도만의 차이를 보이므로 가중치는 모두 동일하게 취도 큰 차이가 없다고 판단하여 OWA에는 모두 동일한 가중치를 주었다.

(5) 민감도 분석

의사결정 규칙과정에서 OWA를 이용한 선호도를 평균(trade-off)값으로 모두 0.25를 주었는데 침수실적도를 기준으로 판단한 결과 순위가중을 다르게 주어도 모두 동일한 결과가 나오므로 0.25의 값이 타당하다고 사료되므로 재평가의 과정 없이 다음의 과정을 진행하였다. 만일 이 과정에서 타당하지 않다는 판단이 되면 다시 의사결정 선호도의 순서로 돌아가서 재평가를 해야 한다.

(6) 의사결정지원

위의 민감도 분석에서 선호도를 결정하면 그 결과 레이어로 침수가능지역에 대한 의사결정을 하게 된다. 분석결과는 그림 8과 같이 홍수위험 정도가 단계적으로 나타났고, 그림 9에 김해지역 DEM과 함께 3차원으로 나타내었다.



그림 8. 의사결정기법으로 단계적으로 표현된 침수실적도내 침수가능지역



그림 9. 공간 다기준 의사결정기법을 이용한 침수예상지역 결과

4. 결 론

본 연구는 침수실적도를 이용하여 침수지역의 지형적 특성을 분석하여 침수가능지역을 예측하고 또한 공간 다기준 의사결정에서 퍼지 기법과 AHP방법을 적용하여 나온 침수가능지역 결과와 비교해 보았다. 평가기준을 표준화하는 과정에서 퍼지기법은 기존의 불린논리에 의해 자연현상을 표현하는 것을 개선하여 침수위험정도를 단계적으로 표현하고자 하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 자원분배나 입지선정에 주로 이용되던 공간 다기준 의사결정기법을 적용하는데, 제약으로 논 지역을 설정하였으며, 요소로는 고도, 경사, 경사방향, 배수상태를 설정하였다. 각각의 factor에 0-255 사이의 범위를 갖는 시그모이드 함수를 적용하고 AHP를 이용하여 가중치를 적용하여 예측된 침수지역을 침수실적도와 비교 했을 때 88%정도가 일치 하였다.
2. AHP를 이용하여 쌍체비교를 하고 가중치를 유도하는 과정에서 가중치를 순위화하는 경우와 평균하는 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 침수실적도가 있는 지역만을 고려하였는데 이 지역은 지형이 평지이므로 지형적 특성이 큰 차이를 보이지 않기 때문이라고 사료된다.
3. 공간 다기준 의사결정기법으로 제작된 홍수예측지도는 침수지역에 대한 예측을 단계적으로 표현하였다. 이와 같은 예측에 대한 정확도 정보는 홍수노출의 위험정도를 단계적으로 표시하여 그에 따른 대응 방안을 시기적절하게 적용하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고문헌

- 국립방재연구소, (2003), 우리나라 자연재해 발생추이분석 및 대응방안연구, 국립방재연구소, pp.1-4
- 김영표, 임은선, (2003), GIS 기반 공간분석방법론 개발 연구, 2003-36, p.112-113
- 남광우 (1998), 퍼지집합개념과 AHP를 이용한 GIS환경에서의 공간의사결정에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문, p.35-56
- 박용성, 박태근, (2001), AHP를 위한 의사결정론, 자유아카데미, p.95-130
- 수자원공사 (2001), 홍수지도 기본조사 보고서, pp.292-293
- 한혜진, 2002, GIS와 AHP이론을 이용한 수변구역 산정에 관한 연구, 이화여대과학기술 대학원 환경학과, 석사학위논문, pp. 22-28.
- Eastman, J. R., (2003), IDRISI Kilimanjaro Tutorial, ClarkUniversity, Clark University, pp. 109-133.
- Hong, J. and Eastman, J. R., (2000), Application of fuzzy measures in multicriteria evaluation in GIS, INT. J. Geographical information science, 14(2):173-184
- Rashed, T. and Weeks, J., (2003), Assessing vulnerability to earthquake hazard spatial multicriteria analysis of urban areas, INT. J. Geographical informationnce, 17(6):547-576