

연구논문

도심 친수공간 적지선정을 위한 평가기준의 가중치 산정방법 개발

김성만* · 이재춘** · 박민정*** · 권재범*** · 이용운***

광주녹색환경지원센터*, 국립환경과학원 영산강물환경연구소**, 전남대학교 환경공학과***
(2012년 5월 5일 접수, 2012년 7월 22일 승인)

Development of a method for calculating weights of evaluation criteria for proper selection of urban waterfronts

Sung-Man Kim* · Jae-Choon Lee** · Min-Jung Park*** ·
Jai-Bum Kwon*** · Yong-Woon Lee***

GwangJu Green Environment Center*,
Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research**,
Department of Environmental Engineering, Chonnam National University***
(Manuscript received 5 May 2012; accepted 22 July 2012)

Abstract

The urban waterfront well created, could provide mental stability and comfort and also foster personality. In addition it could provide the calmness and rest of mind. Especially, recently the urban waterfronts are restored here and there and are created whenever developing a new town

The purpose of this study is to develop a method of calculating the weight of each evaluation criterion for deciding the priority of restoration among for deciding the priority of restoration among the urban waterfronts. The method includes the analytic hierarchy process that can calculate the reasonable weight of each evaluation criterion, because the importance (weights) of evaluation criteria appears to be different among the evaluators; the results of this study can be summarized as that this method can be useful for calculating the weights of evaluation criteria, and also that the superiority of ecological resources is the most important factor (highest weight) in selecting the best waterfront, followed by accessibility, tourism vacation, and proximity to parks. And then the lowest factor in importance is the scale of reservoir.

Keywords : Waterfront, Restoration, Evaluation criteria, Weight

I. 서론

현재 우리나라의 장년층 이상은 거의 대부분이 어린 시절에 시냇가나 저수지 등에서 미역이나 물장구를 치던 추억들을 간직하고 있으나, 도시하천의 복개 또는 수질오염으로 인해 친수공간이 점점 사라져, 유년층으로 갈수록 물에 대한 추억이 빈약해 가는 실정이다. 또한, 우리나라에서는 1960년대 이후에 도시인구의 급격한 증가가 일어나, 주택공급과 도로건설의 증대를 가져왔고, 그 결과로서 도시지역내의 많은 물환경지대가 급격하게 악화되고 있다. 이에 따라 오염부하량이 커지고, 수자원이 고갈되며, 수변의 생태계가 교란되고, 동식물의 귀중한 서식공간이 사라지는 등 자연생태계의 안정과 균형이 위협을 받고 있다. 또한, 도시는 점차 삭막하고 건조한 회색도시로 변화가고, 아름답고 쾌적해야 할 주거환경도 점차 열악해져 왔다. 그러나 반대로 시민들의 쾌적한 도시환경에 대한 욕구와 환경의 가치 및 중요성에 대한 인식은 증대되고 있다. 이에 따라 수변이 갖는 아름답고 환경적인 특성을 살려 다양한 개발과 보전시책의 필요성이 더없이 강조되고 자연과 인간이 공생하는 풍부하고 다양한 도시환경을 창조하기 위한 적극적인 노력이 필요하게 되었다(김정은, 박성제, 2007). 특히, 도심 내 친수공간은 물을 끌어들이 정서적, 심미적 가치를 포함하는 쾌적성을 주민들에게 부여함으로써(김선미, 2009) 젊은이들의 만남의 장소, 가족단위 나들이나 학생들의 야외학습 장소 등 도시환경의 질적 향상에 기여하고 도심지에 활력을 주며 다양한 편익을 제공하는 역할을 하고 있다. 그리고 다양한 생물들에게는 서식처를 제공하여 먹이사슬의 구축을 통한 생물다양성의 증진에도 기여하고 있다. 이러한 도심 친수공간에 대한 요구에 부응하기 위해 기존도시에서는 친수공간을 발굴하여 복원사업을 시행하는 사례가 늘어나고 있으며, 신도시를 개발할 때도 친수공간의 인공적 조성이 최근에 증가하는 추세에 있다.

본 연구에서는 도심에 분포되어 있는 친수공간 복원대상의 적지선정을 위해 Fuzzy AHP 방법을

기반으로 한 평가기준별 가중치 산정방법을 제시하고자 한다.

II. 문헌연구

1. 친수공간 평가기준

친수공간이 모든 이용자에게 열린 휴식이나 즐거움의 장소가 되기 위해서는 누구나 심리적, 혹은 물리적으로 저항 없이 안전하게 접근할 수 있는 장소가 되어야 하고, 주변 토지이용과의 조화, 경관수렴형 접근성 계획 등을 통한 주변 환경과의 조화가 이루어져야 하며, 수역의 면적은 넓을수록 다양한 이용가능성 측면에서 바람직하나 대개 한 변이 대략 500m의 유효수면을 가지는 것이 적정하다고 하였으며(전승훈, 2007), 안형기, 박용길(2000)은 효과적인 친수공간 개발을 위해 도시규모·교통의 편리성 및 수변공간의 접근성, 수변공간의 개방성과 규모, 그리고 주민·정부의 개발의지와 정책 및 수요의 가능성 등을 평가기준으로 설정하고 있다. 건설교통부(2005)에서는 친수성 제고를 위해 수질개선, 수량확보, 생태계 회복 및 자연성 회복이 우선되어야 하며, 수변공간의 자연환경 보전과 함께 적극적 차원의 공원, 녹지 등 오픈스페이스의 조성과 친수시설을 확보하여야 한다고 하였다.

구로야나기 아키오, 와타나베 히데토시(2011)는 수변공간의 모든 물리적 환경에 처음으로 대응한 평가, 그 가운데에서도 물과의 접촉, 수질평가, 시(視)환경, 녹지량, 청량감, 생물의 존재 등에 대한 평가가 이루어져 그것이 상쾌함, 리프레쉬, 마음의 편안함이라는 총체적인 평가에 크게 영향을 준다고 하였다.

Jennefer(2007)는 친수공간 개발을 추진함에 있어 정치적, 환경적, 사회적 가치에 대한 다양한 조합을 통해 생태학적 접근으로 이뤄져야 한다고 하였으며, Sharareh Pourebrahim 등(2010)은 지속가능한 연안 육지의 개발 전략으로 크게 환경, 경제, 사회로 구분하고 세부적으로는 문화와 자연의 보호, 복원, 보전 등과 지역의 경제적 성장 및 거주

Table 1. Evaluation criteria

평가기준		평가방법	
상위계층	하위계층		
지리·공간적 측면	주민 접근성	• 시민의 직접적인 이용이나 행동이라는 측면에서 수제선과 주거단지와의 거리를 평가	
	저수지 규모	• 친수공간의 이용 측면에서 저수지 지적면적을 기준으로 대상수역의 규모를 평가	
	경관용수 확보성	• 생태계 유지 및 복원을 위해 용수 확보가 유리한 유역면적을 평가	
	주변 토지이용 용이성	• 친수공간의 공간확보 측면에서 저수지 주변 토지의 이용 용이성 평가	
환경적 측면	수질 개선의 용이성	수질상태	• 저수지 내 수질상태를 호소 생활환경 기준으로 평가
		유입 오염원	• 저수지 유역에 산재되어 있는 점·비점오염원의 배출 부하량을 평가
	생태 현황의 우수성	수중 생태 환경	• 저수지 영양도의 정량적 분석을 통한 수중생태계 환경에 대한 간접적 평가
		자연환경	• 저수지 내 서식하고 있는 수생식물 등 자연환경을 평가
주변 생태자원 우수성	• 친밀감을 줄 수 있는 대상지역의 주변 생물 및 환경자원 등을 생태자연도 등급으로 평가		
사회적 측면	역사·문화 이력지역	• 역사적·문화적 존재 상징성 및 관련성이 깊은 지역에 대한 평가	
	관광휴양, 공원 인접성	• 주변지역이 갖고 있는 환경자원의 이용 가능성 여부를 평가	
사업추진 측면	수원 확보 용이성	• 친수공간 복원에 필요한 저수지 주변에 하천 등 깨끗한 수원 확보가 용이한 지대 평가	
	개발계획 연계성	• 저수지 주변지역의 개발완료 또는 개발계획과의 연계 가능성을 평가	
	친수공간 중복성	• 근거리에서 기존의 친수공간과 중복을 방지하기 위해 친수공간간 거리를 평가	
	경제성	• 친수공간 복원을 위한 환경개선비용(수원이송, 수질정화 등) 평가	

자의 삶의 질 향상으로 세분화하여 기준을 설정한 바 있다.

김성만(2012)은 위에서 설명한 문헌연구를 통해 친수공간 적지선정을 위한 평가기준을 Table 1과 같이 설정하여 제시하였다. 평가 상위항목으로 지리·공간적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면, 사업추진 측면 등 총 4개 분야로 구분하고, 상위항목에 대한 하위항목은 총 15개 분야로 세분화하여 평가 기준을 설정하고 있다.

2. 가중치 결정방법

1) 계층적 의사결정방법(AHP)

계층적 분석과정(Analytic Hierarch Process, AHP)은 1980년에 Saaty의 저서 ‘The Analytic Hierarch Process’가 발간된 이후 Vargas(1990)에 의하여 관리기법에 관한 연구에 폭넓게 이용되고 있으며, Saaty(1994)에 의해 다기준 의사결정방법으로의 적용 연구가 이루어졌다(김주환 등, 2006).

이 방법은 의사결정의 구성요소들을 계층화하여 쌍대비교에 의해 측정되며, 다수의 평가의 합이된 판단을 도출할 수 있는 간편하며 범용성이 있는 방

법이다(박명배 등, 2008). AHP를 이용하여 가중치를 산정하고자할 경우에는 다음과 같이 4단계를 거친다.

(1) 의사결정문제의 계층화

이 단계에서는 주어진 의사결정 문제를 상호 관련된 의사결정 요소들(decision elements)로 계층화하여 문제를 분리하는 과정이다. 상위계층에는 가장 포괄적인 목표가 놓여지고, 하위계층에는 상위계층에 대한 상세하고 구체적인 대안들로 구성한다.

(2) 평가기준의 쌍대비교

다속성 의사결정일 때는 각 속성의 상대적인 중요도를 모두 고려하여 가중치를 정하기가 어렵다. 따라서, AHP에서는 속성들을 두 개씩 뽑아 쌍대비교를 한다. 어떤 계층에 있는 한 기준들의 상대들의 상대적 중요도(공헌도 또는 우월정도)를 평가하기 위하여 평가대상 기준들 간에 쌍대비교를 행하고 그 결과를 행렬로 나타내는 과정이다.

(3) 가중치의 추정

쌍대비교를 통한 후에는 각 계층에 대하여 비교 상대 평가기준들이 갖는 상대적 가중치를 추정

다. Saaty는 가중치 추정방법으로 고유치 방법 (Eigenvalue Method)을 제안하고 있으며, 일관성 비율(CR)이 0.1이하일 경우에는 일관성이 있다고 말하고, 0.10~0.20일 경우에는 일관성을 인정하는 정도이다. 만약 0.20을 넘으면 일관성이 없다고 보고 다시 설문을 하거나 제외시켜야 한다.

(4) 가중치의 종합

AHP의 마지막단계는 다수의 평가자에 의한 가중치를 통합하는 방법으로 Saaty는 평균, 기하평균, 기하평균의 표준화 등이 있는데, 효율성, 행렬의 역수성 유지 등의 목적에 따라 다양한 통합방법을 적용할 수 있다고 하였으며, 목적에 따라 연구자는 가중치 통합 방법을 다양하게 적용할 수 있지만 그 결과는 분석에 영향을 미칠 만큼의 유의한 차이를 보이지 않는다고 하였다(김윤주, 2008).

2) Fuzzy AHP

초기의 Fuzzy AHP에 대한 연구는 Laarhven and Pedrycz(1983)에 의한 것으로서, Saaty의 이론과 퍼지이론의 접목을 시도하였다. 그 후 Chang(1996)은 Extent analysis method를 통해 삼각퍼지수를 이용한 Fuzzy AHP의 새로운 기법을 제안하였다. Chang에 의한 퍼지 확장분석법 (Extent analysis method)에 따르면 퍼지 비교행렬에서 Crisp 가중치를 얻기 위해 삼각멤버십함수를 이용한 쌍대비교와 이에 대한 확장값에 대해 퍼지 확장분석방법을 이용하여 상대적 중요도를 측정한다. 중요도 측정절차를 살펴보면 다음과 같다.

Step 1 : 목적 i에 대한 퍼지합성확장값은 다음과 같이 정의된다.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{ij} \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}]^{-1} \quad (1)$$

$$\text{단, } \sum_{j=1}^m M_{ij} = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} = (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_j) \quad (3)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_j} \right) \quad (4)$$

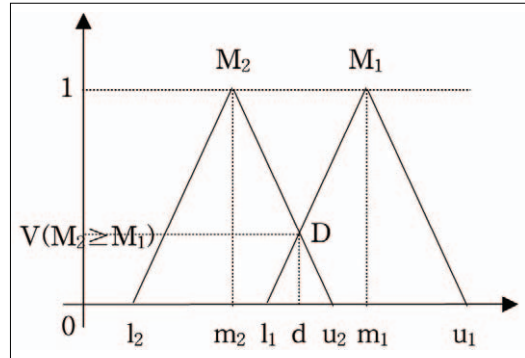


Figure 1. Maximum value of fuzzy intersection

Step 2 : Figure 1의 두 삼각퍼지수 $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 과 $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ 는 퍼지합성확장값 S_i 에 대해 $M_2 \geq M_1$ 일 가능성의 정도는 다음과 같이 정의한다.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) \quad (5)$$

$$= \begin{cases} 1 & m_1 \geq m_2 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Step 3 : 단계 2를 통해서 각 요소 혹은 각 기준 중 어느 것이 큰지 알아 볼 수 있다. 임의의 볼록 퍼지수(Convex fuzzy number) M 이 나머지 k 개의 볼록 퍼지수 $M_i(i = 1, 2, \dots, k)$ 보다 클 가능성의 정도는 다음과 같이 정의한다.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] \quad (6)$$

$$= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k$$

$d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), k = 1, 2, \dots, n, k \neq i$ 라고 하면, 가중치 벡터는 식 (7)로 주어진다.

$$\tilde{W} = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (7)$$

여기서 $A_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 은 n 요소이다.

Step 4 : 단계 3에서 계산된 가중치 벡터를 표준화하여 상대적 중요도를 계산한다. 세 개의 값으로 구성된 정성적인 삼각퍼지수 값을 하나의 정량적인 비퍼지수로 나타낼 수 있는데, 각 요소들에 가중치를 포함하는 벡터 \tilde{W} 를 구한 후 이를 표준화(Normalization)하여 최종적인 가중치 벡터 W 를 결정한다. 여기서 표준화 된 가중치벡터 W 는 비퍼지

수(Non fuzzy number)이다.

Ying Ming Wang 등(2008)의 연구에서는 Chang의 퍼지 확장분석방법에서 0의 가중치를 갖는 기준들은 결국 의사결정 분석에 영향을 미치지 못하는 문제점이 있다고 지적하고, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 식 (4)가 식 (8)과 같이 수정해야 된다고 하였다.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^m l_i + \sum_{k=1k+i}^m \sum_{i=1}^m u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^m m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^m u_i + \sum_{k=1k+i}^m \sum_{i=1}^m l_i} \right) \quad (8)$$

권령민(2008)의 연구에서도 상대적 중요도를 측정하기 위해 Chang의 퍼지확장분석 방법을 사용하여 연구를 수행하면서 Wang 등이 지적한 문제점을 극복하기 위해 식 (8)을 적용하였다.

3. 통계적 추론방법

모평균, 모분산 등과 같은 모수에 대한 어떤 판단을 내리기 위하여 모집단에서 표본을 추출하여 데이터를 얻고 이 데이터를 기초로 하여 통계이론에 의한 결론을 내리게 되는데 이러한 추론과정을 통계적 추론(Statistical inference)이라고 하며, 이 방법으로는 구간추정(Interval estimation)과 점추정(Point estimation)이 있다.

점추정은 “모수가 특정한 값일 것이다”라고 선언하는 것으로 사실상 추정이 얼마나 정확한가를 판단하기가 불가능하다. 이러한 점추정의 정확성을 보완하는 방법이 구간추정이다. 구간추정이란 확률로 표현된 믿음의 정도 하에서 모수가 특정한 구간에 있을 것이라고 선언하는 것으로, 항상 추정량의 분포에 대한 전체가 주어져야 하고, 구해진 구간 안에 모수가 있을 가능성의 크기가 주어져야 한다. 즉, 특정 구간 안에 모수가 있을 가능성의 크기는 구간의 크기에 비례하는데, 구간이 클수록 그 구간 안에 모수가 있을 가능성이 큰 것은 자명한 사실이다. 이 가능성의 크기를 신뢰수준(Confidence level)이라 하는데, 일반적으로 신뢰수준은 90%,

95%, 또는 99%의 확률을 이용하는 경우가 많다.

구간추정 방법은 설문조사의 표본분포 이론에 근거하여 추정량 또는 추정치의 신뢰한계를 계산하여 모집단의 신뢰한계가 높은 구간을 선정한다. 모표준편차 σ 는 알 수 없으나 표본이 충분히 크면(30 이상) 모표준편차 대신에 표본표준편차 s 를 사용할 수 있다(이용구, 김삼용, 2008). 방준호(2009)는 표본수가 매우 큰 경우(대체로 30 이상인 경우에 해당)에는 t 분포가 표준정규분포에 근사하게 되므로 이런 경우에는 σ 대신에 s 로 대체하고, 모분산을 아는 것으로 가정하여 모평균의 신뢰구간을 산출하여도 무방하다고 하였다. 모평균에 대한 신뢰구간을 구하는 식 (9)에서 σ 대신 s 를 사용할 수 있으며, σ 를 모를 때 모평균에 대한 신뢰구간 추정은 식 (10)으로 구할 수 있다.

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

III. 계층확장 분석방법 개발

AHP 의사결정의 시작은 한 명의 의사결정자 또는 평가자가 쌍대비교에 의하여 평가요소에 대한 상대적인 중요도를 판단하는 일에서부터 출발한다. 그러나 실제로 현실세계를 둘러싸고 있는 불확실성 때문에 복잡한 문제일수록 다수의 평가자를 필요로 하게 된다. AHP기법도 마찬가지로 출발은 가장 적합한 한 명의 평가자를 가정하여 개발되었으나, 많은 현실적인 문제들로 인하여 다수의 평가자가 반드시 참여해야만 하는 상황이 발생한다. 다수의 평가자를 통합하는 방법인 평균, 기하평균, 기하평균의 표준화 등은 평가자 대상의 속성에 따라 중요도가 달라지는 불확실성이 내포되어 있어 올바른 의사결정을 할 수 없다. 또한, 평균, 기하평균 등은 평가 집단 전체의 특성을 파악하는 것은 어렵기 때문에 평가 대상자의 표본을 추출해서 평가집단 전체 특성을 추론할 수 있는 통계적 추론방법이 필요하다.

본 연구에서는 평가기준별 가중치 결정을 위해

Fuzzy AHP 방법을 기반으로 한 계층확장분석법을 개발·제시하고자 한다. 앞에서 설명한 통계적 추론방법에 의해 도출된 중요도를 결합하기 위해 퍼지 확장분석방법(Extent analysis method)을 사용하였으며, 그러나 이 방법의 단점인 어느 평가기준을 극소수만이 중요하다고 하였을 때 그 평가기준의 가중치가 0이 되는 문제점을 해결하고자 Chen(1985)의 Ranking method을 퍼지 확장분석방법에 접목시켜 계층확장분석방법을 개발하였고, 이것에 의한 가중치 산정 과정을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

Step 1 : 의사결정문제의 계층화 방법

의사결정문제의 계층화 방법은 AHP 방법에 따라 Table 1과 같이 평가기준들을 계층화하고 문제를 분리한다. 상위계층에는 가장 포괄적인 지표가 놓여지고, 하위계층에는 상위계층에 대한 상세하고 구체적인 대안들로 구성한다.

Step 2 : 중요도 값의 구간 설정방법

Chang(1996)의 퍼지 확장분석법(Extent analysis method)에서는 최소값, 중심값, 최대값으로 구성된 삼각형 형태의 퍼지 숫자를 요구하기 때문에 본 연구에서는 식 (10)에서 보여진 통계적 신뢰구간 계산법을 활용하였으며, 신뢰구간은 보통 많이 사용되고 있는 95%를 적용(식 11)하여 최소값, 중심값, 최대값을 구한다.

$$\mu = (\bar{X} - Z_{0.025} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_{0.025} \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad (11)$$

여기서, \bar{X} : 표본평균, $Z_{0.025}$: 95% 유의수준, s : 표본표준편차, n 는 표본수.

중요도 구간값들은 AHP방법에 따라 30명 이상의 설문조사자에게 받은 평가기준별(A₁, A₂, A₃) 중요도 값들이 있다고 가정하고, Table 2에서 식 (11)를 이용하여 평가기준별 최소값(l), 중심값(m), 최대값(u)을 각각 구하여 행렬로 표시하면 Table 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, l 은 $\bar{X} - Z_{0.025} \frac{s}{\sqrt{n}}$, m 은 \bar{X} , u 는 $\bar{X} + Z_{0.025} \frac{s}{\sqrt{n}}$ 이다.

Step 3 : 중요도 확장값 산출방법

본 연구에서는 최소값, 중심값, 최대값으로 이루어진 평가기준별 구간값을 하나의 점값인 확장값으

Table 2. Example of pairwise comparison matrix

평가자 a	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	1	2	3
A ₂	0.5	1	4
A ₃	0.33	0.25	1
평가자 b	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	1	2	4
A ₂	0.5	1	5
A ₃	0.25	0.2	1
⋮	⋮	⋮	⋮
평가자 n	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	1	3	5
A ₂	0.33	1	4
A ₃	0.20	0.25	1

Table 3. Importance matrix represented by interval value

구분	A ₁			A ₂			A ₃		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
A ₁	1.00	1.00	1.00	1.68	2.33	2.99	2.87	4.00	5.13
A ₂	0.34	0.44	0.55	1.00	1.00	1.00	3.68	4.33	4.99
A ₃	0.18	0.26	0.34	0.20	0.23	0.27	1.00	1.00	1.00

Table 4. Sum of each row in importance matrix

항목	$\sum l$	$\sum m$	$\sum u$
A ₁	5.55	7.33	9.12
A ₂	5.02	5.78	6.54
A ₃	1.39	1.49	1.60
Σ	11.95	14.61	17.26

Table 5. Value of interval synthetic extent obtained from Chang method

항목	S	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
A ₁	S ₁	0.32	0.50	0.76
A ₂	S ₂	0.29	0.40	0.55
A ₃	S ₃	0.08	0.10	0.13

로 결합하기 위하여 Chang의 방법인 퍼지확장 분석법(식 1~식 4)을 적용하였다. Table 3의 중요도 구간값을 퍼지확장 분석법을 이용하여 중요도 확장값을 산출하면, Table 4와 Table 5의 결과가 나타난다.

Step 4 : 평가기준별 최종가중치(점값) 도출 방법
평가기준별 최종가중치를 도출하기 위해 Table 5의 확장값을 Chang의 방법인 식 (5)를 이용하여

산출하면 가중치는 A_1 은 0.6, A_2 는 0.4, A_3 은 0으로 산출된다. 한편 Wang의 수정식(식 8)을 이용하면 가중치 A_1 은 0.7, A_2 는 0.3, A_3 은 0이어서 A_3 의 경우에는 양쪽 모두에서 가중치가 0으로 산출된다.

평가기준의 가중치가 0이 되는 경우는 설문대상자들 중에서 소수 특히, 극소수만이 중요하다고 한 평가기준에 대하여 발생할 수 있다. 그러나 이러한 소수나 극소수의 의견도 의사결정에 반영될 필요성이 있기 때문에 어느 평가기준의 가중치가 0이 되는 것을 방지할 필요성이 있다. 따라서, 평가기준의 가중치가 0(Zero)이 나오는 문제를 방지하기 위하여 본 논문에서는 Chen(1985)의 Ranking method를 평가기준별 가중치 산정에 적용하였다.

Ranking Method는 퍼지이론을 이용하여 본 연구의 가중치와 같이 불확실성의 크기가 서로 다른 숫자들의 Ranking을 결정하기 위해 퍼지(구간)값을 명확한 점값으로 전환하는데 사용되어 왔고 퍼지숫자(예: 중요도)가 0보다 크면 그 전환 결과의 점값은 항상 0보다 크게 되므로 이 방법을 적용한다면 설문에서 극소수가 중요하다고 한 평가기준이라도 그 가중치는 0보다 크게 될 수 있다.

Figure 2의 형태로 나타나는 Chen의 방법을 살펴보면 $S_i = (l_i, m_i, u_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 일때 최대 집합 M과 최소 집합 G는 $\mu_M(x)$, $\mu_G(x)$ 이다.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_G(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{\max}}{x_{\min} - x_{\max}}, & x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (13)$$

$$R_i = \{x \mid \mu_{S_i}(x) > 0\}, \quad R = \bigcup R_i, \quad x_{\max} = \sup R,$$

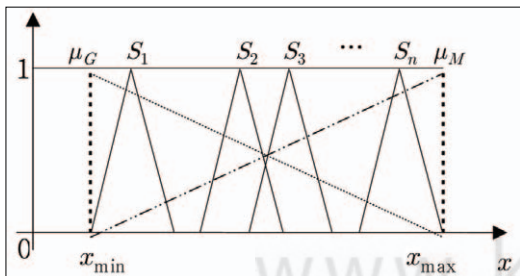


Figure 2. The membership function $\mu_M(x)$ and $\mu_G(x)$

Table 6. Final weights obtained from method developed by this study

항목	S	$\mu_M(x)$	$\mu_G(x)$	\tilde{W}	W
A ₁	S ₁	0.72	0.51	0.61	0.53
A ₂	S ₂	0.56	0.60	0.48	0.42
A ₃	S ₃	0.08	0.97	0.05	0.05

$$x_{\min} = \inf R.$$

중요도 구간값 $S_i = (l_i, m_i, u_i)$ 가 있다면, 최대 집합 M은 우측 이용값 $U_M(S_i)$ 이고, 최소 집합 G는 좌측 이용값 $U_G(S_i)$ 이다.

$$U_M(S_i) = \sup (\mu_{S_i}(x) \wedge \mu_M(x)) = \frac{(u_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min}) - (m_i - u_i)} \quad (14)$$

$$U_G(S_i) = \sup (\mu_{S_i}(x) \wedge \mu_G(x)) = \frac{(x_{\max} - l_i)}{(x_{\max} - x_{\min}) + (m_i + l_i)} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \tilde{W} &= [U_M(S_i) + 1 - U_G(S_i)]/2 \\ &= \left[\frac{(u_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min}) - (m_i - u_i)} + 1 - \frac{(x_{\max} - l_i)}{(x_{\max} - x_{\min}) + (m_i + l_i)} \right] / 2, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (16)$$

식 (16)에서 구한 벡터 \tilde{W} 를 표준화(Normalization)하여 최종적인 가중치 벡터 W를 산출한다. 퍼지 확장분석법에서 산출한 Table 5의 구간합성 확장값(S)을 Ranking method의 식에 적용하여 보면, Table 6과 같이 산출된다. 최종가중치(W) A_1 은 0.53, A_2 는 0.42, A_3 은 0.05로 산출되어 Chang 방법에서 처럼 평가기준 A_3 의 가중치가 0(Zero)이 되지 않아, 의사결정의 합리성을 높일 수 있다.

IV. 연구결과

본 연구에서는 광주광역시 내에 위치한 저수지들의 복원대상 우선순위를 결정하는데 필요한 평가기준을 Table 1을 가지고 평가기준별 상대적 중요도를 도출하기 위해 환경분야 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 조사대상은 평가자 집단(모수) 전체를 추정하는데 오차가 최소화될 수 있도록 표본을 기관별로 동일한 수로 조사하였으며, 인

원은 환경산업체 8명, 대학 8명, 연구기관 8명, 민간단체 8명, 지자체 8명 등 총 40명을 대상으로 하였다. 조사대상의 평균 나이와 경력에 대해서는 Figure 3에 나타내었다. 지자체가 경력이 가장 많았고, 연구기관이 경력이 가장 낮았다. 전문가의 경력별 분포현황은 5년 이상~10년 미만 31%로 가장 많았으며, 20년 이상 23%, 10년 이상~15년 미만

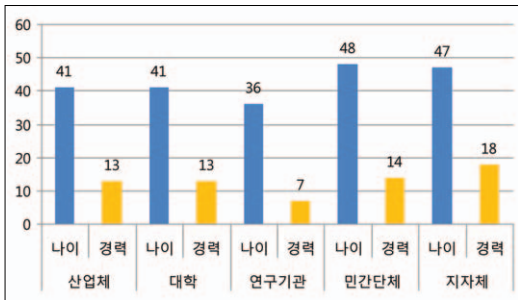


Figure 3. Age and career for questionnaire panel

Table 7. Importance interval for upper evaluation criteria

상위 항목	상위 비교항목	\bar{X}	$Z_{0.025} \frac{s}{\sqrt{n}}$	구간값	
				최소값	최대값
지리·공간적 측면	환경적 측면	1.53	0.60	0.93	2.13
	사회적 측면	2.58	0.61	1.97	3.19
	사업추진 측면	2.94	0.67	2.27	3.61
환경적 측면	지리·공간적 측면	2.85	0.72	2.13	3.57
	사회적 측면	3.50	0.71	2.79	4.21
	사업추진 측면	3.69	0.77	2.92	4.46
사회적 측면	지리·공간적 측면	1.24	0.45	0.79	1.69
	환경적 측면	1.10	0.55	0.55	1.65
	사업추진 측면	2.08	0.63	1.45	2.71
사업추진 측면	지리·공간적 측면	1.35	0.64	0.71	1.99
	환경적 측면	0.86	0.40	0.46	1.26
	사회적 측면	1.67	0.56	1.11	2.23

Table 8. Matrix of upper evaluation criteria by pairwise comparison

상위항목	지리·공간			환경적			사회적			사업추진		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
지리·공간	1.00	1.00	1.00	0.93	1.53	2.13	1.97	2.58	3.19	2.27	2.97	3.61
환경적	2.13	2.85	3.57	1.00	1.00	1.00	2.79	3.50	4.21	2.92	3.69	4.46
사회적	0.79	1.24	1.69	0.55	1.10	1.65	1.00	1.00	1.00	1.45	2.08	2.71
사업추진	0.71	1.35	1.99	0.46	0.86	1.26	1.11	1.67	2.23	1.00	1.00	1.00

20%, 15년 이상~20년 미만 17%, 5년 미만 9% 순이었다.

상위항목의 평가기준별 중요도를 설문 응답자 40명에게 도출하여 95% 신뢰구간의 구간추정방법으로 중요도에 대한 최소값, 중심값, 최대값을 산정하였으며(식 11) 그 결과를 Table 7에 나타내었다.

지리·공간적 측면의 비교항목에 대한 구간값을 살펴보면, 0.93~2.13, 1.97~3.19, 2.27~3.16이며, 환경적 측면은 2.13~3.57, 2.79~4.21, 2.92~4.46이다. 또한, 사회적 측면은 1.79~1.69, 0.55~1.65, 1.45~2.71이며, 사업추진 측면은 0.71~1.99, 0.46~1.26, 1.11~2.23으로 나타났다. 따라서 설문응답자의 상위항목 중요도는 환경적 측면을 가장 중요하게 생각하는 것으로 나타났다. 중요도 구간값을 구하기 위해 확장분석방법의 퍼지 숫자에 대응하는 값으로 표시하면 \bar{X} , l 은 $\bar{X} - Z_{0.025} \frac{s}{\sqrt{n}}$,

u 는 $\bar{X} + Z_{0.025} \frac{s}{\sqrt{n}}$ 로 나타낼 수 있으며, 이를 행렬로 표시하면 Table 8과 같다.

본 연구에서 개발한 계층확장분석법의 Step 3을 사용하여 중요도 구간값을 합성하고, 구간 확장값(S)을 도출하면 Table 9, Table 10과 같은 결과가 나타난다. 계층확장분석법의 마지막 단계로서 평가 기준 상위항목의 구간합성 확장값을 Ranking method(식 12~식 16)에 입력값으로 도입하여

Table 9. Synthetic results of interval matrix values for upper item

상위항목	$\sum l$	$\sum m$	$\sum u$
지리·공간적 측면	6.17	8.08	9.93
환경적 측면	8.84	11.04	13.24
사회적 측면	3.79	5.42	7.05
사업추진 측면	3.28	4.88	6.48
Σ	22.08	29.42	36.70

Table 10. Value of interval synthetic extent for upper item

항 목	S	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
지리·공간적 측면	S ₁	0.17	0.27	0.45
환경적 측면	S ₂	0.24	0.38	0.60
사회적 측면	S ₃	0.10	0.18	0.32
사업추진 측면	S ₄	0.09	0.17	0.29

Table 11. Calculation results of the weights for upper item

항 목	S	$\mu_M(x)$	$\mu_G(x)$	\tilde{W}	W
지리·공간적 측면	S ₁	0.53	0.70	0.413	0.282
환경적 측면	S ₂	0.69	0.56	0.569	0.388
사회적 측면	S ₃	0.36	0.84	0.258	0.176
사업추진 측면	S ₄	0.32	0.87	0.225	0.154

Table 12. Comparison of calculation results in final weights

상위항목	하위항목		최종가중치(W)		
			Chang방법	Wang수정식	계층 확장 분석법
지리·공간적측면	주민 접근성		0.133	0.165	0.102
	저수지 규모		0	0	0.021
	경관용수 확보성		0.111	0.124	0.090
	주변 토지이용 용이성		0.067	0.049	0.068
환경적 측면	수질 개선 용이성	수질 상태	0.063	0.071	0.051
		유입 오염원	0.072	0.096	0.060
	생태 현황 우수성	수중 생태 환경	0.104	0.191	0.092
		자연 환경	0.081	0.105	0.068
	주변 생태자원 우수성		0.141	0.184	0.117
사회적 측면	역사·문화 이력지역		0.063	0.007	0.081
	관광휴양, 공원 인접성		0.071	0.008	0.095
사업 추진 측면	수원확보 용이성		0.038	0	0.058
	개발계획 연계성		0.015	0	0.028
	친수공간 중복성		0.017	0	0.030
	경제성		0.023	0	0.037

\tilde{W} (식 16)를 산출하고, 이를 다시 표준화하는 과정을 거쳐 평가기준별 최종가중치(점값)를 산정한 결과, 지리·공간적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면, 사업추진 측면의 가중치는 각각 0.282, 0.388, 0.176 및 0.154로 나타났으며, Table 11에 상위항목의 가중치 산정결과를 나타내었다. 따라서 친수공간 적지선정에서 가장 중요하게 고려해야 하는 요소는 환경적 측면이고, 상대적으로 중요도가 낮은 항목은 사업추진 측면으로 조사되었다.

각각의 하위항목의 가중치는 상위항목의 가중치 산정과 동일한 방법으로 산정하였다.

또한 최종가중치(W)는 평가기준의 상위항목과 하위항목의 각 단계별 가중치를 순차적으로 곱하여 최종가중치를 구하였다. 최종가중치 산정결과 친수공간 적지선정에 가장 중요한 요소는 주변 생태자원의 우수성이며, 그 다음은 주민접근성, 관광휴양, 공

원 인접성 등의 순으로 나타났고, 저수지 규모가 가장 낮은 중요도로 조사되었다. Table 12에 친수공간 평가항목의 최종가중치 산정결과를 나타내었다.

또한, Chang의 확장분석방법(식 1~식 7)과 Wang의 수정식(식 8)을 이용하여 가중치를 산정해보면 Chang의 방법에서는 저수지 규모가 가중치 0(zero)으로 산정되며, Wang의 수정식에서는 저수지 규모 및 사업추진 측면 모두에서 가중치가 0(zero)으로 산정되어, 이러한 평가기준들은 의사결정에 영향을 미치지 못하는 문제점을 나타내었다.

V. 결론

도시에 분포되어 있는 친수공간 복원대상들의 우선순위를 결정하는데 필요한 평가기준별 중요도(가중치)는 평가자들에 따라 서로 다르게 나타나기 때문에 가중치를 합리적으로 산정하여 부여할 수 있

는 계층확장분석법을 본 연구에서는 개발하였고, 적용사례 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

연구대상지역의 적용사례에서 나타났듯이 저수지 규모, 수원확보 용이성, 개발계획 연계성, 친수공간 중복성, 경제성 등에서 다른 가중치 산정방법들은 0를 나타낸 경우가 있으나, 본 연구에서 개발한 계층확장분석법은 가중치가 모든 경우에서 0보다 크게 나타나고 있어, 이것은 평가기준별 가중치 산정에 유용하게 사용될 수 있는 방법이다.

적용사례 연구지역을 대상으로 계층확장분석법에 의해 도출된 지리·공간적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면, 사업추진 측면의 평가기준별 가중치는 각각 0.282, 0.388, 0.176 및 0.154로 나타나 환경적 측면이 친수공간 적지 선정에서 가장 중요한 인자로 나타났다.

또한 평가기준의 하위항목들에 대한 최종 가중치는 주변 생태자원의 우수성이 친수공간 적지선정에 가장 중요한 요소로 나타났으며, 그 다음은 주민접근성, 관광휴양, 공원 인접성 등 순으로 나타났고, 저수지 규모가 가장 낮은 중요도로 조사되었다.

그러나 이러한 상위 및 하위 항목들의 가중치는 설문조사 집단이 바뀌면 본 연구와 다르게 나타날 수 있다.

사 사

본 연구는 광주녹색환경지원센터의 2009년도 연구비의 지원(09-2-30-33)에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

구로야나기 아키오, 와타나베 히데토시(저자), 김나영, 이한석(역자), 2011, 도시수변과 인간행동, 도서출판 선인.
권령민, 2008.12, 제조기업의 민첩성 향상을 위한 기업 자원역량 우선순위 분석, 경북대학교 박사학위논문.

김선미, 2009, 재이용수를 활용한 친수공간의 경제적 가치평가, 서울시립대학교 공학박사학위논문.

김성만, 2012, 다기준의사결정법(CP)을 이용한 도심 친수공간 적지선정 방법개발, 전남대학교 공학박사학위논문.

김윤주, 2008, 가중치 추출기법의 비교, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문.

김정은, 박성제, 2007, 친수공간으로서의 워터프론트 개념과 활용방향, 물과미래, 40(5), 30-39.

김주환, 정남정, 김정현, 안창진, 2006, 배급수관망의 종합적 성능평가를 위한 의사결정 지원 시스템, 한국수자원학회.

건설교통부, 2005, 지속가능한 신도시계획기준.

박명배, 남은우, 이해종, 신태수, 2008, 계층 분석적 의사결정방법(AHP)에 의한 건강도시 사업 평가기준의 우선순위 결정에 관한 연구, 한국보건교육건강증진학회.

방준호, 2009, 퍼지확률이론과 통계기법을 이용한 지하 암반공동에서의 스폴링 특성 평가, 고려대학교 박사학위논문.

안형기, 박용길, 2000, water-front 개발을 통한 환경친화적 도시발전 전략, 한국정책과학학회, 4(2).

이용구, 김삼용, 2008, 통계학의 이해, 울곡출판사
전승훈, 2007.5, 워터프론트와 친수공간적 활용, 물과 미래, 40(5).

Bardossy, A., and Bogardi, I. (1983). "Network design for the spatial estimation of environmental variables." *Applied Mathematics and Computation*, 12, 339-369.

Chen, S. H., 1985, Ranking fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set, *Fuzzy Sets Syst.*, 17(2), 113-129.

Da-Yong Chang, 1996, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research* 95, 649-655.

Jennefer Laidley, 2007, The ecosystem approach and the global imperative on Toronto's central Waterfront, ELSEVIER, 24(4), 259-272.

Saaty, T. L, 1980, The Analytic Hierarchy Process, New York, McGraw-Hill.

Sharareh Pourebrahim, Mehrdad Hadipour,

Mazlin Bin Mokhtar, Mohd Ibrahim Hj Mohamed, 2010, Ocean&Coastal Management, 53, 544-551.

Ying-Ming Wang, Ying Luo, Zhongsheng Hua, 2008, On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications, European Journal of Operational Research 186, 735-747.

최종원고채택 12. 09. 13