

퍼지 의사결정법에 의한 주암호 수질관리 전략 평가

이용운 · 황윤애 · 이성우* · 이병희** · 최정욱

전남대학교 공과대학 환경공학과

*한국수자원공사

**경기대학교 공과대학 환경공학과

(1999년 10월 21일 접수, 2000년 1월 17일 채택)

Water Quality Management Strategies Evaluation of Juam Lake by A Fuzzy Decision-Making Method

Yong Woon Lee · Yun Ae Hwang · Sung Woo Lee* · Byong Hi Lee** · Jung Wook Choi

Dept. of Environmental Engineering, Chonnam National University

**Korea Water Resources Corporation*

***Dept. of Environmental Engineering, Kyonggi University*

ABSTRACT

Juam lake is a major water resource for the industrial and agricultural activities as well as the resident life of Kwangju and Chonnam regions. However, the water quality of the lake is getting worse due to a large quantity of pollutant inflowing to the lake. Thus, the strategy for achieving the water quality goal of the lake should be developed as soon as possible. When there are various alternatives that can be used as the strategy, several criteria based on the achievement degree of water quality goal, the applicability of technique and social environment, and the reasonableness of the cost required are made to evaluate and rank the alternatives. However, it is difficult to make a decision when there are multiple criteria and conflicting objectives and specifically the estimated values of criteria contain elements of uncertainty. The uncertainty stems from the lack of available information, the randomness of future situation, and the incomplete knowledge of expert. As the degree of uncertainty is higher, the decision becomes more difficult. In this study, a fuzzy decision-making method is presented to assist decision makers in evaluating various alternatives under uncertainty. The method allows decision makers to characterize the associated uncertainty by applying fuzzy theory and incorporate the uncertainty directly into the decision making process for selecting the "best" alternative so decisions can be made

that are more appropriate and realistic than those made without taking uncertainty in account.

Key Words : Water Quality Management Alternatives, Evaluation Criteria, Decision Making, Trade-off Analysis, Uncertainty, Fuzzy Number

요 약 문

주암호는 광주·전남지역의 주민생활이나 공·농업활동에 기반이 되는 중요한 수자원의 역할을 하고 있으나, 주암호에 유입되는 오염물질로 말미암아 호수의 수질은 점점 악화되고 있는 실정이다. 따라서 주암호 수질개선 전략은 시급히 마련되어야 할 것이다. 호수의 수질개선 전략으로 하나가 아닌 다수의 대안이 개발될 경우에 대안별 평가 및 최적순위 결정을 위해서는 목표수질의 달성도, 사회·기술적 적용성 및 경제성 측면을 고려한 평가기준들이 선정된다. 그러나 평가기준들의 수가 많고 각 기준이 추구하는 목적이 서로 상충될 때 의사결정은 어려워진다. 특히, 각 평가기준에 대한 대안별 기준값이 불확실성을 내포하는 경우에는 의사결정이 더욱 곤란하게 된다. 이러한 불확실성의 정도가 크면 클수록 의사결정은 점점 어려워지는데, 각 기준값의 불확실성이 발생하는 주요 원인은 활용할 수 있는 정보의 부족, 미래 상황의 불확실 또는 전문가 지식의 한계 때문이다. 본 논문에서는 의사결정권자가 불확실성 하에서도 호수의 수질개선 대안들을 평가하는데 이용할 수 있는 퍼지 의사결정법이 보여질 것이다. 이 방법은 퍼지이론을 응용하여 대안별 평가기준 값의 불확실성 정도를 해석하고, 이를 그대로 의사결정 과정에 반영하기 때문에 불확실성을 고려하지 않는 방법들에 비해 합리적이고 현실성있는 최적의 수질관리 대안이 선정될 수 있다.

주제어 : 수질관리 대안, 평가기준, 의사결정, 교환분석, 불확실성, 퍼지숫자

1. 서 론

전라남도 순천시 주암면 대광리에 위치하고 있는 주암호의 물은 광주시를 비롯한 인근도시 및 공단지역의 생활용수와 공업용수로 주로 사용되고 있으며, 농업용수로도 일부분이 이용되고 있다. 이와 같이 주암호의 물은 광주·전남 지역의 주민생활이나 공·농업활동에 기반이 되는 중요한 수자원의 역할을 하고 있다. 그러나 주암호는 외부에서 유입되는 오염물질과 내부에서 생성되는 오염물질로 말미암아 호수의 수질은 점점 악화되고 있는 실정이다.¹⁾ 특히, 매년 심화되고 있는 호수의 부영양화로 인해 여름철(6~9월)마다 조류(藻類)가 과잉 번식할 뿐만 아니라 연녹색의 조류가 호수표면에 넓게 떠있을 때는 용수사용자인 시민들에게 시각적으로 불쾌감을 주어 상수도에 대한 시민들의 신뢰도를 저하시키

고 있다. 따라서 주암호의 수질관리 전략은 시급히 마련될 필요성이 있다.

호수의 수질을 개선하기 위한 전략으로 보통 하나가 아닌 다수의 대안이 개발되는데, 이때 대안별로 목표수질의 달성도, 사회·기술적 적용성, 경제성 등을 평가해 최적의 대안이 선정된다. 그러나 거의 대부분의 경우에 어떤 하나의 대안이 모든 측면에서 동시에 가장 뛰어나기는 어렵다. 즉, 개발된 다수의 대안들 중에는 목표수질의 달성도는 매우 높으나 경제성이 떨어지는 대안이 있을 수 있으며, 반대로 경제성은 좋으나 목표수질의 달성도가 낮은 대안도 있을 수 있다. 이러한 상황에서도 의사결정권자(Decision maker)가 합리적인 판단을 하는데 도움을 줄 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

또한 수질관리 전략의 여러 가지 대안들을 평가하는데 가장 중요한 항목 중의 하나는 대안별 장래수질

의 예측이다. 호수의 수질은 WASP5(Water quality analysis simulation program)²⁾와 같은 프로그램 등을 이용하여 예측되어 왔으나, 이러한 프로그램에서 요구하는 오염물질 및 수리·수문 항목별 입력자료(Input data)의 불확실성은 예측결과(장래수질)의 불확실성을 낳고 있다. 이러한 불확실성은 장래수질 예측에서만 일어나는 것이 아니라 대안별 사회·기술적 적용성 또는 비용의 평가시에도 일어나고 있다. 입력자료 및 예측결과가 불확실성을 내포하는 주요원인은 이용할 수 있는 정보의 부족, 미래 상황 및 예측모델의 불확실 또는 전문가 지식의 한계 때문이다.

수질관리 전략의 대안별 평가기준들 각각에 대한 기준값의 불확실성이 크면 클수록 수질관리에 관한 의사결정은 점점 더 어려워질 뿐만 아니라 경우에 따라서는 오판을 할 수도 있다. 이러한 오판은 불확실한 값을 무리하게 명확한 값으로 바꾸어 사용함으로써 발생한다. 평균값은 불확실한 값이 마치 명확한 값인 것처럼 표현되는 대표적인 경우이다. 따라서 본 연구의 목적은 퍼지이론을 응용하여 대안별 평가 기준값에 내포된 불확실성의 정도를 해석하고, 이를 의사결정과정에서 그대로 결합시킬 수 있는 방법을 개발하는 것이다. 이 방법은 최적의 주암호 수질관리 전략을 수립하는데 활용될 수 있을 것이다.

2. 문헌연구

퍼지이론(Fuzzy theory)은 1965년 Zadeh가 발표한 「퍼지집합(Fuzzy sets)」이란 논문에서 처음 소개되었다.³⁾ 우리가 보편적으로 알고 있는 종래의 집합은 경계가 명확해서 퍼지집합과 구분하여 보통 집합(Crisp sets)이라고 부른다. 예를 들어 보통집합으로 "10보다 큰 수의 집합"이 있을 때 이 집합의 경계는 명확하다. 그러나 "10보다 훨씬 큰 수의 집합"이 있을 때 11이라는 수가 이 집합의 원소라고 명확하게 말하기는 어렵다. 즉, 10보다 훨씬 큰 수가 어느 수 이상인지 경계가 명확하지 않기 때문이다. 이와 같이 집합의 경계가 불명확한 것을 퍼지집합이라고 부른다.

어떤 원소 x 가 어느 정도로 퍼지집합 A 에 소속되

어 있느냐를 표현하는 것이 소속함수(Membership function) $\mu_A(x)$ 인데, 소속함수 값의 범위는 0과 1 사이이다($0 \leq \mu_A(x) \leq 1$). 여기서 원소 x 가 집합 A 에 포함되는 정도가 높을수록 소속함수의 값은 1에 가까워지고, 낮을수록 0에 접근하게 된다. 어떤 퍼지 집합이 소속함수의 값으로서 0 또는 1만을 가질 때, 이러한 퍼지집합은 보통집합과 동일한 것이 된다. 보통집합에서는 집합의 경계가 명확하여 어떤 원소가 집합에 소속되면 소속함수의 값은 1(예)이고 그렇지 않으면 0(아니오)이 된다.

퍼지이론은 초기에 퍼지제어를 중심으로 한 공학적인 분야에서 많이 응용되었으나, 최근에 인공지능(Artificial intelligence) 특히 전문가 시스템(Expert system) 분야에서 응용상 성공사례가 나타나면서 주목을 받게 되었다. 전문가 시스템의 개발시에 가장 큰 어려움은 전문가 지식을 컴퓨터 프로그램으로 표현할 때 애매모호한 지식을 어떻게 나타내고 어떠한 방법으로 처리할 것인가이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 퍼지이론이 많이 응용되고 있다. 전문가 시스템 분야외에도 의사결정, 패턴(음성, 문자, 영상)인식, 의학 및 사회과학분야 등에서 퍼지이론의 유용성은 이미 실증되었으며, 앞으로 인문과학분야까지도 응용사례가 늘어날 전망이다.

3. 수질관리 전략 평가 방법

호수의 수질관리 전략으로서 하나가 아닌 다수의 대안들이 개발되는 경우에 이러한 대안들을 서로 비교하기 위해서는 평가기준의 설정이 필요하다. 이때 평가기준의 수는 하나 또는 그 이상이 될 수도 있다. 이와 같이 평가기준의 수가 하나 이상일 때 각 수질관리 대안을 평가하기 위하여 다기준 의사결정 방법(Multicriterion decision-making method, MCDM)이 사용될 수 있다. MCDM의 대표적인 방법으로는 Linear Multiobjective Programming,⁴⁾ ELECTRE Programming,⁵⁾ Multiattribute Utility Theory,⁴⁾ Compromise Programming,⁶⁾ Composite Programming,⁷⁾ Goal Programming⁸⁾ 등이 있으나, 이러한 방법들은 대안평가를 위해 설정된 모든 기준들의 대안별 산출값이 불확실하지 않은 경우에

만 사용될 수 있다. 따라서 이러한 방법들을 적용하기 위해서는 불확실한 기준값도 정확한 수치로 전환되어야만 한다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 본 연구에서는 불확실한 값을 불확실한 그대로 의사결정 과정에 반영할 수 있는 Fuzzy Composite Programming(FCP)⁹⁾이라 불리는 다기준 의사결정방법을 도입하였다.

FCP 방법에 따른 수학적 모델링 순서는 크게 3단계로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 평가기준의 기본항목을 선정하고(Select basic criteria), 두 번째는 기본항목들을 서로 묶어 더 일반적인 뜻을 가진 그룹들로 합성하는 과정이며(Group the basic criteria into progressively fewer, more generalized, groups), 그리고 세 번째는 다수의 대안들을 평가하고 최적의 순위를 결정하는 것이다(Evaluate and rank the alternatives).

3.1. 평가기준의 기본항목 선정

호수의 수질관리 대안들의 장·단점을 비교하기 위하여 평가기준으로 선택될 수 있는 기본항목들은 수질지표(BOD, T-N, T-P 및 엽록소 a의 농도), 오염물질 처리기술의 완성도, 처리시설물의 유지관리 용이성, 주민의 호응도(어떤 대안의 적용시에 주민의 반발력 정도), 처리시설물의 설치비 및 유지관리비 등이 있다. 이러한 평가기준 항목들은 경우에 따라 다르게 선정될 수 있기 때문에 고정된 항목들로 보편화시키기는 어렵다. 또한, 기준 항목들의 수와 종류는 요구하는 분석(Preliminary or detailed analysis) 수준에 따라 변할 수 있다. 본 연구의 성격은 기본 계획의 단계이기 때문에 상세한 분석보다는 예비분석의 수준이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 위에서 정의한 평가기준에 대한 9가지의 기본항목을 더 세분화시키지 않고 그대로 적용할 것이다.

3.2. 평가기준의 합성과정

합성과정(Composite procedure)이란 평가기준으로 선정된 다수의 기준들을 서로 특성이 유사한 것끼리 단계적으로 묶어 가면서 최종적으로 하나의 기준이 되도록 만드는 과정을 말한다. 이러한 합성

과정을 통해 처음에 다수였던 평가기준이 최종적으로 하나가 되어 다기준 의사결정문제가 단일기준 의사결정문제로 전환됨으로써 문제의 성격이 단순화된다.

Fig. 1은 호수의 수질관리 전략으로 개발된 다수의 대안들을 평가하기 위한 문제에 적용될 수 있는 합성과정의 예를 보여준다. 가령 1단계 기준들(Basic criteria)인 T-N, T-P 및 엽록소 a(Chl-a)의 농도는 호수의 영양도라는 더 일반적인 뜻을 나타내는 용어로 묶을 수 있는데, 이때 호수의 영양도는 2단계 기준이라고 부른다. 같은 방법으로 또 다른 1단계 기준들인 오염물질 처리기술의 완성도와 처리시설의 유지관리 용이성을 하나로 묶어 2단계 기준항목인 기술의 적용성으로 표현하고, 나머지 1단계 기준들인 처리시설의 설치비 및 유지관리비를 합쳐 경제성이라는 2단계 기준항목을 만든다.

한편, BOD 농도와 2단계 기준인 호수의 영양도를 하나로 묶으면 3단계 기준인 수질의 안전성이 된다. 또한, 2단계 기준들인 기술의 적용성과 주민의

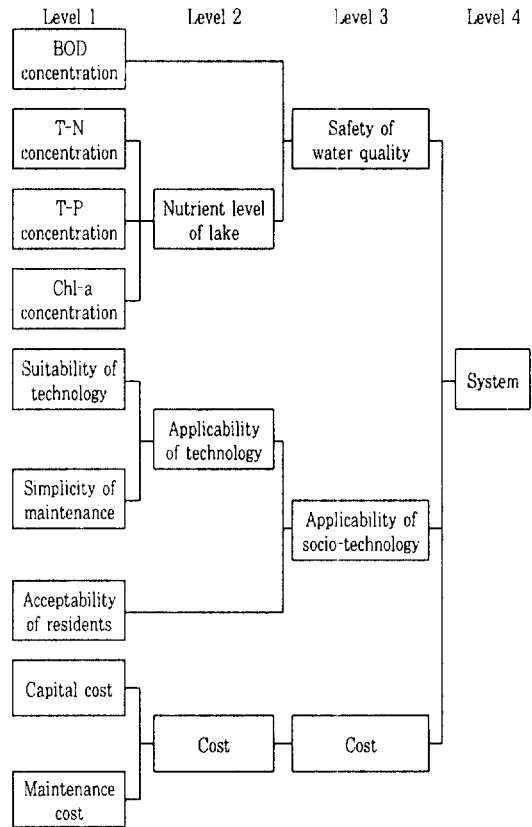


Fig. 1. Example of composite structure.

호용도를 하나로 합쳐 사회·기술의 적용성이라는 3단계 기준항목을 만든다. 마지막으로 3단계 기준 들인 수질의 안전성, 사회·기술의 적용성 및 경제 성을 하나로 묶음으로써 시스템이라는 하나의 단일 기준이 최종적으로 만들어진다.

3.3. 평가기준값의 불확실성 해석

호수의 수질관리 대안별 성취도를 비교하기 위한 평가기준값(대안별 성취도를 정량 또는 정성적으로 표현한 값)의 불확실성 때문에 의사결정이 곤란한 경우는 자주 발생한다. 본 연구에서는 기준값에 대한 불확실성의 정도를 표현하기 위하여 불확실한 기준값은 퍼지숫자(Fuzzy number)로 전환될 것이다. 퍼지숫자란 소속함수(Membership function)의 어떤 소속값(Membership degree)을 가지고 어느 퍼지집합에 속하는 숫자이다. 이것의 수학적 표현을 위하여 $Z_i(s)$ 가 i -번째 평가기준에 대한 대안 s 의 퍼지숫자라 하고, 이것의 소속함수가 삼각형 형태라고 가정하자. 소속함수의 삼각형 형태는 어떤 기준값이 실제로 존재할 가능성이 있는 최대 구간값(Largest likely interval)과 존재할 가능성이 가장 높은 값(Most likely value)을 한정함으로써 Fig. 2와 같이 만들어 질 수 있다.

예를 들어 호수의 장래 BOD 농도는 미래상황(오염물질 유달부하량 및 강우에 의한 물의 유입량)의 불확실성 때문에 하나의 점값(Point value)으로 정확히 예측하기는 불가능하다. 주암호의 2010년도 BOD농도 예측치가 최저 1.17mg/L, 최고 1.26mg/L, 평균 1.23mg/L라고 하면 이때 Largest Likely Interval은 1.17~1.26mg/L이고, Most Likely Value는 1.23mg/L라고 정의할 수 있다. 그러나 Most Likely Value가 점값이 아닌 구간값으로 한정되면 Fig. 2의 삼각형 형태는 사다리꼴의 형태로 변화된다. 또 다른 예로서 호수의 BOD 농도 예측치가 불확실성이 전혀 없는 1.23mg/L이라는 명확한 점값으로 산정되면 Largest Likely Interval이 1.23~1.23mg/L로 되어 Fig. 2의 삼각형 형태의 소속함수는 수직선 형태로 줄어든다. 또한, 소속함수의 값이 변화됨에 따라서 각 퍼지숫자의 구간도 달라진다. Fig. 2의 예제에 보여지는 것처럼 소속함수의 값이 h 일 때 퍼지숫자 $[Z_i(s)]$ 의 구간은 a 부터

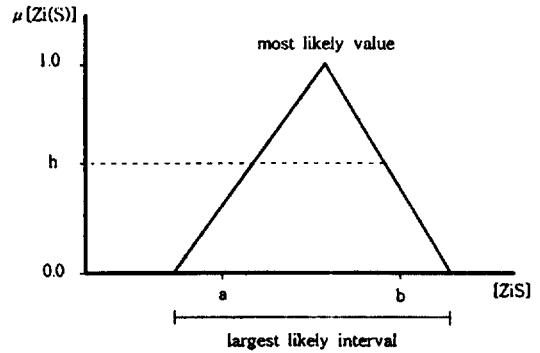


Fig. 2. Estimate of the i -th basic criterion as a fuzzy number.

b 까지이다. 즉, $a \leq Z_{i,h}(s) \leq b$.

3.4. 평가기준별 교환분석

평가기준의 1단계 항목들(Fig. 1)은 단위(Unit)가 서로 달라 직접적인 교환분석(Trade-off analysis)이나 연산이 어렵기 때문에, 각 기준치의 실제값($Z_{i,h}(s)$)은 무단위(Unitless)를 가지는 지표값(Index value)으로 전환되어야만 한다. 1단계 기준인 i -번째 항목에 대한 대안별 기준값(Z_i)으로서 가장 좋은 것($BESZ_i$)과 가장 나쁜 것($WORZ_i$)을 사용하면, 실제값 $Z_{i,h}(s)$ 는 지표값 $V_{i,h}(s)$ 로 다음과 같이 전환될 수 있다.⁹⁾

• $BESZ_i < WORZ_i$

$$V_{i,h}(s) = \begin{cases} 1 & , Z_{i,h}(s) \leq BESZ_i \\ \frac{[Z_{i,h}(s) - WORZ_i]}{(BESZ_i - WORZ_i)} & , BESZ_i < Z_{i,h}(s) < WORZ_i \\ 0 & , Z_{i,h}(s) \geq WORZ_i \end{cases} \quad (1)$$

• $BESZ_i > WORZ_i$

$$V_{i,h}(s) = \begin{cases} 1 & , Z_{i,h}(s) \geq BESZ_i \\ \frac{[Z_{i,h}(s) - WORZ_i]}{(BESZ_i - WORZ_i)} & , WORZ_i < Z_{i,h}(s) < BESZ_i \\ 0 & , Z_{i,h}(s) \leq WORZ_i \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $s=1, \dots, M$; 그리고 $i=1, \dots, N$ 으로 M 과 N 은 대안과 기준의 총 개수를 각각 의미한다.

식 (1)과 (2) 중에서 어느 것을 선택하느냐는 i -번째 기준이 추구하는 목적의 방향에 따라 달라진

다. 예를 들어 비용은 적을수록 좋다. 이러한 경우에 $BESZ_i$ 의 값(Lowest cost)은 $WORZ_i$ 의 값(Highest cost)보다 작기 때문에 식 (1)이 선택된다. 반대로 기술의 완성도는 숫자가 클수록 좋다고 하면 $BESZ_i$ 의 값은 $WORZ_i$ 의 값보다 크므로 식 (2)가 사용된다. 평가기준의 i -번째 것에 대한 가장 좋은 값($BESZ_i$)과 가장 나쁜 값($WORZ_i$)을 정하기 위하여 사용되는 방식은 2가지로 구분될 수 있다. 첫 번째는 주어진 대안들 사이에서 i -번째 기준치의 $BESZ_i$ 및 $WORZ_i$ 를 고르는 방식이고, 두 번째는 전문가의 경험과 지식을 바탕으로 하여 $BESZ_i$ 및 $WORZ_i$ 를 정하는 방식이다.

1단계 기준항목의 모든 실제값들 [$Z_{i,h}(s)$]을 무단위의 지표값들 [$V_{i,h}(s)$]로 전환시킨 후에는 이러한 1단계 기준의 지표값들을 사용하여 2단계 기준의 지표값들을 구한다. 이것을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$L_{i,h}(s) = \left\{ \sum_{j=1}^{n_j} w_{i,j} [V_{i,h,j}(s)]^{p_j} \right\}^{(1/p_i)} \quad (3)$$

여기서 $n_j=2$ 단계 기준 j 내에 포함된 1단계 기준항목들의 수; $V_{i,h,j}(s)=2$ 단계 기준 j 내에 포함된 1단계 기준의 i -번째 지표값; $w_{i,j}=2$ 단계 기준 j 내에 포함된 1단계 기준들 각각의 상대적인 중요도를 나타내는 가중치 ($\sum w_{i,j}=1$); 그리고 $p_j=2$ 단계 기준 j 내의 1단계 기준들 중에서 가장 중요한 기준의 지표값이 차지하는 중요도를 반영하는 수치이며 균형값 (Balancing factor)이라 부른다 ($1 \leq p_j \leq \infty$).

가중치($w_{i,j}$)를 구할 때 발생하는 가장 커다란 문제는 2가지가 있을 수 있다. 첫째, 평가기준의 수가 많을 때에는 각 기준의 상대적인 중요도를 정확히 파악하기란 힘들다. 둘째, 가중치가 의사결정권자의 판단을 정확히 반영하고 있는가 하는 문제이다. 의사결정권자 자신도 때때로 일관성을 잃을 수 있고 오류를 범할 수 있기 때문이다. 가중치의 결정 방법에는 여러 종류가 있으나 최근에 가장 많이 사용되고 있는 것은 AHP(Analytic hierarchy process) 방법이다.¹⁰⁾ 평가기준이 단지 2개뿐이라면 그 둘을 직접 비교하여 상대적인 중요도를 바로 판단할 수 있다. 그러나 기준의 수가 2개 이상으로 많아질 때에는 모든 항목을 한꺼번에 고려하여 단번에 상대적

인 가중치를 일관성 있게 정하기는 어렵다. 따라서 AHP방법은 모든 기준들의 상대적인 중요도를 한꺼번에 결정하지 않고 여러개의 기준들 중에서 2개씩 뽑아 쌍별로 단순 비교하는 과정을 통해 최종적으로 모든 기준들의 상대적인 중요도가 결정되도록 하는 것이다.

균형값 $p(p \geq 1)$ 은 어떤 상위단계 기준에 포함된 하위단계 기준값들 중에서 가장 큰 값의 중요성을 반영하기 위하여 사용된다. 즉, p 의 값이 낮으면 중요도가 낮은 기준의 값에 의해 중요도가 큰 기준의 값이 대체될 수 있기 때문에 합성되는 값들 사이에서 가장 큰 값의 중요도가 클수록 p 의 값은 점점 높아진다. 예를 들어, 4단계 기준인 시스템을 구성하고 있는 3단계 기준들(Fig. 1)에 높은 p 의 값을 할당함으로써 수질의 안전성, 사회·기술의 적용성 및 경제성을 나타내는 지표값들이 서로 대체되는 현상을 막을 수 있다. 일반적으로 사용되고 있는 하나의 규칙으로서 $p=3$ 또는 그 이상의 수치는 어떤 기준의 잘못된 결과(Undesirable outcome)가 어느 대안을 치명적으로 망쳐 놓을 수 있을 때 그러한 기준에 사용된다. 이러한 경우를 제외하고는 $p=1$ 또는 $p=2$ 를 선택하는 것이 바람직하다.⁹⁾

식 (3)에 의해 계산된 2단계 기준의 지표값들로부터 3단계 기준의 지표값들은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_{i,h}(s) = \left\{ \sum_{k=1}^{n_k} w_{j,k} [L_{i,h,k}(s)]^{p_k} \right\}^{(1/p_j)} \quad (4)$$

여기서 $n_k=3$ 단계 기준 k 내의 2단계 기준항목들의 수; $L_{i,h,k}(s)=3$ 단계 기준 k 내에 포함된 2단계 기준의 j -번째 지표값; $w_{j,k}=3$ 단계 기준 k 내에 포함된 2단계 기준 j 의 가중치; 그리고 $p_k=3$ 단계 기준 k 내의 2단계 기준의 지표값들에 대한 균형값이다.

Fig. 1에 보여진 바와 같이 3단계 기준항목의 수는 3개로서 수질의 안전성, 사회·기술의 적용성 그리고 경제성이다. 따라서 이러한 3단계 기준의 지표값들을 합성함으로써 4단계 기준인 시스템의 지표값이 마지막으로 결정될 수 있다. 즉,

$$L_h(s) = \left\{ \sum_{k=1}^n w_k [L_{i,h}(s)]^p \right\}^{(1/p)} \quad (5)$$

여기서 $L_{k,h}(s)$ = 마지막 단계의 기준(시스템)내에 포함된 3단계 기준 k의 지표값; w_k = 3단계 기준 k의 가중치; 그리고 p = 3단계 기준의 지표값들에 대한 균형값이다.

Fig. 1에서 기준 항목들의 합성과정이 4단계로 구분되었으므로 4단계 합성과정에 대한 지표값 계산 과정이 위에서 보여졌으나, 이러한 계산방법은 합성 과정의 단계수가 4보다 적을 때나 많을 때에도 적용될 수 있다.

3.5. 수질관리 대안들의 순위결정

마지막 단계 기준인 시스템(Fig. 1)의 지표값을 퍼지숫자 $L(s)$ 로 전환함으로써 불확실성하에서 다수 대안들의 순위가 결정될 수 있다. 여기서 $s=1, \dots, M$ 이고 M 은 대안의 총 개수이다. 퍼지숫자 $L(s)$ 는 2개의 시스템 지표값 $L_{h=1}(s)$ 및 $L_{h=0}(s)$ 의 도움을 가지고 만들어 질 수 있는데, 이때 퍼지숫자 $L(s)$ 의 소속함수 $\mu(L(s))$ 는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\mu(L(s)) = \begin{cases} 1 & , L(s) = r \\ 1 - [r - L(s)] / (r - R_{\min}) & , R_{\min} < L(s) \leq r \\ 1 - [L(s) - r] / (R_{\max} - r) & , r < L(s) \leq R_{\max} \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 r 은 식 (1)과 (2)에 보여진 $Z_{i,h=1}(s)$ 를 사용함으로써 얻어진 마지막 단계 기준인 시스템의 값을 나타내며, R_{\min} 및 $R_{\max} = Z_{i,h=0}(s)$ 를 사용함으로써 얻어진 시스템의 최소값 및 최대값을 각각 표시한다.

만약 서로 다른 대안의 수가 M 개라면 식 (6)의 소속함수에 의해 한정되는 퍼지숫자 $L(s)$ 의 수도 M 개가 된다. 따라서 이러한 M 개의 퍼지숫자들의 순위는 M 개의 대안의 순위와 일치하게 된다. 그러나 대안들의 순위는 적용되는 퍼지숫자 순위결정 방법(Fuzzy numbers' ranking method)에 따라 변화될 수 있다. 본 연구에서는 여러 종류의 퍼지숫자 순위결정 방법들 중에서 Chen에 의해서 개발된 방법¹¹⁾을 적용하였다. Chen의 방법은 퍼지숫자들의 소속함수 형태가 Fig. 2에서와 같이 삼각형이든가 사다리꼴인 경우에 적합하기 때문이다. Chen의 방

법에 대한 상세한 응용법은 Lee et al.(1992, 1994)의 논문에 보여진다.^{9,12)}

4. 적용사례

4.1. 대상지역

주암호의 유역도는 Fig. 3과 같다. 조절지댐을 제외한 주암댐의 총저수용량은 457백만 m^3 이며 유효저수용량은 412백만 m^3 이고 홍수조절용량은 60백만 m^3 이다. 주암호 유역은 10개면 100개리로 구성되어 있으며 읍단위 이상의 마을은 없고 모두 면단위 이하이다. 주암호 유역내 주요산업은 농업이며, 상업과 공업은 아주 미미한 실정이다.

1997년도를 기준으로 주암호 유역에서 배출되는 BOD, T-N, T-P의 오염물질 배출부하량은 각각 3,893kg/일, 816kg/일, 93kg/일이다. 이 중에서 가축이 차지하는 BOD, T-N, T-P의 비율은 각각 44.65%, 34.37%, 53.99%이고 인구에 의한 비율은 각각 19.84%, 11.59%, 23.40%로 나타나고 있어 이 유역의 오염물질 주요 배출원은 가축과 인구

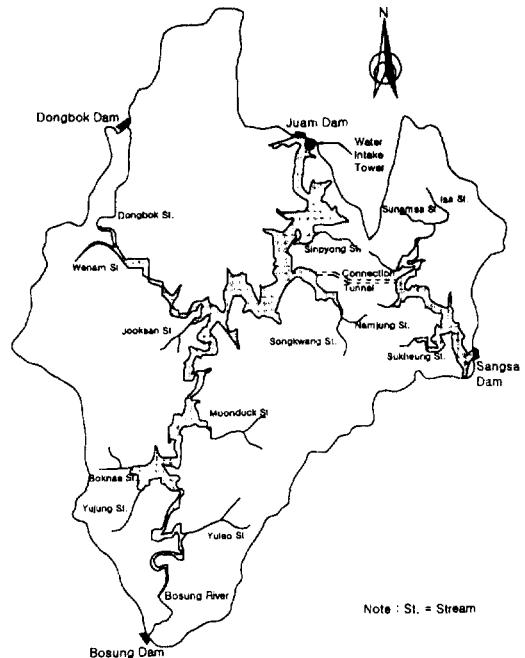


Fig. 3. Watershed of Juam lake.

라고 할 수 있다. 한편, 주암호의 수질은 오염물질이 다량 유입되고 조류가 대량으로 발생하는 여름과 가을철에는 III등급을 훨씬 상회하고 있으나, 그 밖의 계절에는 II급수를 유지하고 있다. 1997년도 기준으로 BOD, COD, T-N, T-P, Chl-a 각각의 농도는 1.1~2.2mg/L, 1.5~3.2mg/L, 0.322~1.272mg/L, 0.007~0.050mg/L, 0.8~2.6mg/L이다.¹⁾

4.2. 수질관리 대안 개발

본 연구에서 개발된 주암호의 수질관리 대안을 Table 1에 나타내었다. 대안 1은 전라남도에서 이미 추진하고 있는 내용을 그대로 수용한 것이고, 대안 2부터 4까지는 주암호 유역에서 배출되는 오염물질의 양을 저감시킬 수 있는 여러 가지의 방법들을 서로 조합한 것이다. 이러한 조합에 의해 설정될 수 있는 총 대안의 수는 전라남도 추진안을 모두 수용하더라도 16가지이나, 본 연구에서는 각 방법에 대한 적용의 난이도 및 오염물질 삭감량의 순서를 고려하여 4개의 대안으로 설정하였다. 각 방법의 적용 난이도는 현재의 전라남도 추진안, 현재 시공중이거나 설치될 하수처리장에 인제거 시설 추가안, 마을단위 오폐수처리장 설치안(처리용량 50m³/일 이상 및 이하로 구분), 하천의 호소유입부에 갈대밭 조성안의 순서로 높게 책정하였다. 각 대안에 포함된 오염물질 저감 방법에 따른 삭감량의 크기는

Table 1에 나타난다. 적용의 난이도가 상대적으로 낮은 하수처리장 인제거 시설 추가안은 처음에 별도 대안으로 고려하였으나 오염물질의 삭감량이 적기 때문에 다른 대안들과 차별성(수질개선도)이 거의 없어 별도 대안이 아닌 하나의 방법으로 대안 3에 포함시켰다. Table 1의 대안 개발에 대한 내용 및 타당성 그리고 대안별 오염물질 삭감량 계산과정은 1998년도 한국수자원공사 보고서에 상세히 보여지며,¹⁾ 요약하면 다음과 같다.

현재 전라남도의 수질개선 사업 추진현황은 주암호 유역의 대규모 마을들 또는 밀집도가 높은 마을들을 대상으로 하여 8개의 하수처리장(총 처리용량 6,595m³/일)을 시공하고 있거나 실시설계를 완료한 상태에 있다. 이러한 하수처리장들에 적용된 공법은 모두 산화구법이다. 또 다른 추진사업은 주암호에 인접한 위생업소들 중에서 배출수 처리가 미흡한 77개 업소를 대상으로 합병정화조 설치계획이 완료되어 현재 추진중에 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 전라남도의 추진안을 대안 1로서 설정하였다.

어느 지역내에 있는 리단위 마을들의 밀집도가 높으면 중·대규모 하수처리장을 건설하여 공동처리하는 방법이 적합하나, 밀집도가 낮으면 생활하수를 이송하기 위한 관로 공사비가 상당히 요구됨으로 비용적 측면에서 경제성이 떨어질 수 있다. 본 연구 조사에 의하면 전라남도에서 현재 추진중인 하수처리

Table 1. Alternatives for water quality improvement of Juam lake

Classification Alternative	Constructing municipal wastewater treatment plants		Installing wastewater treatment facilities per small-size village		Constructing facilities for treating non-point source pollution	Removal amount of each pollutant (kg/d)		
	Accepting current plans of Chonnam province	Adding facilities of P removal per plant	Villages over 50m ³ /d	Villages under 50m ³ /d	Making wet land with reeds	BOD	T-N	T-P
1	○	×	×	×	×	1050	51	11
2	○	×	○	×	×	1924	157	26
3	○	○	○	○	×	2377	222	43
4	○	○	○	○	○	2531	253	44

Note: 1. ○=Application, ×=Non-application. 2. Total pollution loading amount discharged to watershed of Juam lake (1997) : BOD=4409.3kg/day, T-N=1207.9kg/day, T-P=102.2kg/day.

장 집수구역내의 마을들을 제외하고는 중·대규모 하수처리장을 건설하여 하수를 공동처리하여야 할 만큼 큰 마을들과 밀집된 마을들은 주암호 유역내에 더 이상 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 전라남도에서 추진중인 8개 하수처리장들 집수구역 이외의 마을들에 대해서는 마을단위별 소규모 오폐수처리장(총 처리용량 3,370m³/일)을 건설하는 것으로 하였다. 대안 2는 생활하수 50m³/일 이상을 배출하는 모든 마을들에 마을단위 오폐수처리장을 건설하는 것이고, 대안 3은 50m³/일 이하의 마을들도 포함하는 방안이다. 그러나 대안 3에는 전라남도에서 현재 추진중인 8개의 하수처리장내에 인제거시설을 설치하는 방안이 역시 추가되어 있다.

주암호 부영양화(조류증식)의 주요원인 물질이 인(P)이나,¹¹⁾ 현재 전라남도에서 추진중인 8개 하수처리장들 모두에는 인을 제거할 수 있는 공정이 없으며, 주요 제거대상 오염물질은 BOD이다. 이러한 하수처리장들의 기존시설을 변경하지 않고, 인을 제거하는 방안은 산화구에서 2차 침전지로 넘어가는 부분에 인 제거용 화학물질 투여시설을 설치하는 것이다. 한편, 주암호 유역의 마을별 가축사육현황을 보면 대부분이 부업형 소규모 축사이고 기업형 축사는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 소규모 축사의 저류조로부터 고액분리후 배출되는 폐수는 생활하수와 함께 마을단위 오폐수처리장으로 유입시켜 합병처리토록 하였고, 대규모 축사에는 축산폐수처리장이 이미 설치되어 있기 때문에 이 처리장의 배출수는 하수처리장 또는 마을단위 오폐수처리장으로 유입시켜 재처리하도록 하였다. 이러한 방안에 대한 타당성은 1998년도 수자원공사 보고서¹¹⁾에 상세히 설명되어 있다.

대안 4는 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원에서 배출되는 오염물질을 저감시키기 위하여 대상지천들의 호수 유입부에 갈대밭을 조성하는 방안을 추가한 것이다. 주암호 유역의 갈대밭 조성 가능면적을 대략적으로 계산하여 보면 약 200만평 정도이다.

4.3. 대안평가 기준값의 산출

주암호 수질관리 전략으로서 개발된 4개 대안들의 최적 순위를 도출하기 위해서는 Fig. 1에 나타난 1단계 평가 기준들의 값이 대안별로 산출되어

야 한다. 1단계 기준들 각각에 대한 대안별 산출값은 Table 2에 나타내었다. 이러한 값의 산출과정은 1998년도 수자원공사 보고서¹¹⁾에 상세히 설명되어 있으며, 요약하면 다음과 같다

주암호의 수질예측은 WASP5 모델을 이용하여 실시되었으며, 이 모델에 사용된 여러 가지 입력값들(Input data) 중에서^{1,13)} 유입유량 및 오염물질 유달부하량은 미래 상황의 불확실성 때문에 Fig. 2의 경우와 같이 구간값(Interval value)으로 표현되는 퍼지숫자로 전환되었다. 그러나 모델 입력값은 구간값이 아닌 점값(Point value)을 요구하므로 그 주어진 구간내에서 무작위(Random)로 모델 입력값(Random point value)을 선택하기 위하여 퍼지 Simulation 방법이 사용되었다. 1998년부터 2010년까지 20번의 Simulation을 실시하여 각 년도별로 20개의 서로 다른 수질예측 결과를 얻었고, 이러한 20개의 수질예측 결과치들을 가지고 최소값, 최대값 및 평균값을 산출하였다.¹²⁾ Table 2에 나타난 BOD, T-N, T-P, Chl-a 각각의 "Largest Likely Interval" 및 "Most Likely Value"는 목표년도인 2010년에 나타날 수질(취수탑 부근)의 최소값, 최대값 및 평균값을 의미한다.

오염물질 처리시설의 종류별 기술의 완성도는 하수처리장의 인 제거 시설, 마을단위 오폐수처리 시설, 갈대밭 조성 시설의 순서로 가면서 낮게 책정되었다. 또한, 오염물질 제거 시설별 유지관리 용이성은 어떤 대안에 포함된 처리시설의 수와 공정의 복잡성을 고려하여 산출되었다. 처리공정의 복잡성은 하수처리장의 인 제거 시설, 갈대밭 조성 시설, 마을단위 오폐수처리 시설의 순서로 가면서 높게 보았다. 한편, 대안별 주민들의 호응도는 하수처리장의 인 제거 시설, 마을단위 오폐수처리 시설, 갈대밭 조성 시설의 순서로 가면서 낮게 책정하였으며, 이러한 평가는 주민들의 협조 또는 반발 가능성의 크기를 고려하여 이루어졌다. 갈대밭 시설에 대한 주민들의 호응도를 가장 낮게 책정한 이유는 모기와 같은 해충이 갈대밭에 번성하여 인근 주민들에게 피해를 줄 수 있기 때문이다. Table 2에 보여진 기술의 완성도, 유지관리의 용이성 및 주민호응도에 대한 정량(수치)값은 정성적 평가(Bad, Fair, Good, Very good, Excellent)결과를 0과 1 사이의 값으로 전환시킴으로서 산출되었다.

Table 2. Basic criterion values estimated for each alternative

Classification		Criterion	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/L)	S.T.	S.M.	A.R.	C.C. (won)	M.C. (won)
Alt. 1	L.L.I.	low	1.39 (2.40)	0.667	0.0212	2.57	0.80	0.80	0.80	0.0	0.0
		high	1.50 (2.59)	0.749	0.0226	2.88	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
	M.L.V.	mean	1.44 (2.49)	0.708	0.0219	2.80	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Alt. 2	L.L.I.	low	1.36 (2.34)	0.664	0.0210	2.71	0.60	0.60	0.60	563.04	35.51
		high	1.43 (2.47)	0.729	0.0219	2.86	0.90	0.90	0.90	1048.80	45.82
	M.L.V.	mean	1.39 (2.40)	0.698	0.0214	2.82	0.75	0.75	0.75	761.76	40.30
Alt. 3	L.L.I.	low	1.33 (2.29)	0.652	0.0197	2.78	0.60	0.40	0.60	892.44	141.94
		high	1.39 (2.40)	0.716	0.0203	2.67	0.90	0.70	0.90	1583.40	204.28
	M.L.V.	mean	1.36 (2.35)	0.682	0.0200	2.71	0.75	0.55	0.75	1166.76	182.10
Alt. 4	L.L.I.	low	1.33 (2.29)	0.658	0.0197	2.60	0.20	0.20	0.20	2540.44	1645.30
		high	1.39 (2.39)	0.714	0.0203	2.76	0.50	0.50	0.50	3689.40	2128.84
	M.L.V.	mean	1.36 (2.34)	0.681	0.0200	2.69	0.35	0.35	0.35	2997.76	1853.94

Note: 1. Alt.=Alternative, 2. Numbers in parentheses=COD concentration, 3. L.L.I.=Largest likely interval, 4. M.L.V.=Most likely value, 5. S.T.=Suitability of technology, 6. S.M.=Simplicity of maintenance, 7. A.R.=Acceptability of residents, 8. C.C.=Capital cost($\times 10^7$), 9. M.C.=Maintenance cost($\times 10^6$).

전라남도의 현재 추진안(대안 1)은 이미 확정되어 대부분의 계획된 지역에서 공사를 시행하고 있거나 실시설계를 마친 상태에 있다. 따라서 본 연구에서는 전라남도 안을 그대로 수용하여 이들에 대한 기술·경제성 평가는 실시하지 않았다. 즉, 전라남도 안에 대한 기술의 완성도 및 유지관리성은 다른 대안들에 비해 가장 좋은 것으로 책정하였으며, 처리 시설물 설치비와 운영관리비도 없는 것으로 보았다. 전라남도 안을 평가하여 적용한다 하더라도 이 안이 모든 대안에 동일하게 포함되어 있기 때문에 대안별 상대비교의 결과(대안별 최적 순위)에는 어떠한 영향도 미치지 않게 된다. 대안 1을 제외한 나머지 대안들 각각의 공사비 및 유지관리비는 자료조사와 관련업체의 자문을 받아 산정하였다.¹⁴⁾ 마을단위 오폐수처리장에 대한 공사비 산출의 불확실성은 마을내

의 관로 부설비, 적용공법 및 처리장 부지 매입비의 차이에 기인하며, 유지관리비는 적용공법에 따라 전력비 및 슬러지 발생량이 다르기 때문에 발생한다.

4.4. 대안평가 결과 및 고찰

Table 2에 보여진 각 대안의 1단계 기준들의 산출값들 중에서 오염물질별 수질농도 및 비용은 작은 값일수록 좋은 조건을 나타내며, 기술적 평가항목인 기술의 완성도, 유지관리의 용이성 및 주민의 호응도는 큰 값일수록 선호도가 높은 것이다. 각 평가기준값의 불확실성은 "Largest Likely Interval(실현 가능성이 있는 최대 구간값)"의 최소값과 최대값으로 반영되고 이러한 구간들 사이에 "Most Likely Value(평균값)"은 위치한다. 각 기준값의 "Largest

Likely Interval"과 "Most Likely Value"를 이용하여 기준값별 소속함수는 Fig. 2와 같이 만들어졌다.

주암호 수질관리 전략으로 개발된 여러 가지의 서로 다른 대안들 중에서 문제의 목적(수질의 안전성과 사회·기술적 적용성의 최대화 및 비용의 최소화)을 가장 잘 만족시키는 것이 어느 대안인지를 선정하기 위하여 Fuzzy Composite Programming Algorithm에 기초하여 만들어진 컴퓨터 프로그램¹⁵⁾을 사용하였다. 이 프로그램은 PC용으로 개발되었으며 데이터의 입력구조는 Table 2에 보여진 구조와 동일하다. 또한, 계산방법은 식 (1)부터 식 (6)까지에 나타나 있다. Fuzzy Composite Program의 계산결과를 그래피크와 수치형태로 표시되는데, Fig. 4와 Table 3에 각각의 경우를 나타내었다. Fig. 4에서 마지막 단계 기준인 시스템의 지표값은 1.0에 접근할수록 좋고, 0.0에 가까울수록 나쁘다. 이러한 원인은 식 (1)과 식 (2)를 사용하면 실제값이 지표값으로 전환될 때 실제값이 좋을수록 지표값이 1.0에 가까워지고, 나쁠수록 0.0에 접근하기 때문이다. Fig. 4에 보여지는 것처럼 시스템의 대안별 지표값은 서로 겹쳐져 있어 어느 것이 가장 좋은 것인지 쉽게 구별하기가 곤란하다. 이러한 경우에도 합리적인 의사결정을 이끌 수 있다는 것이 Fuzzy Composite Programming 방법의 가장 큰 장점이다. 그리고 각 대안을 대표하는 삼각형 형태의 넓이는 대응되는 대안의 불확실성의 정도를 나타낸다. 즉, Fig. 4에서 삼각형의 넓이가 적은 대안일수록 불확실성이 낮고, 클수록 불확실성이 높은 대안이다.

앞에서 설명한 바와 같이 식 (3)~(5)에 나타난 가중치(w) 및 균형값(p)은 각 평가기준의 중요도를 표현하고 있다. 이러한 값들을 서로 다르게 입력할 때 대안별 순위가 어떻게 변화되는지를 파악하기 위하여 총 8번의 민감도 분석(Sensitivity analysis)을 시도하였으며 Case별 입력값은 Table 4에 나타내었다. Case I은 모든 평가기준의 중요도를 동일하게 보았으며, Cases II~V는 다른 평가기준들에 비해 수질의 안정성에 대한 중요도를 점점 증가시켜본 것이다. 또한, Cases VI~VII는 경제성의 중요도를 높게 책정한 것이며, Case VIII은 사회·기술의 적용성을 중요시 한 것이다. 이러한 Case의 수는 가중치와 균형값의 변화에 따라 수없이 많이 만들어 질 수 있으나 본 논문에서는 대안별 순위의 변화를 크

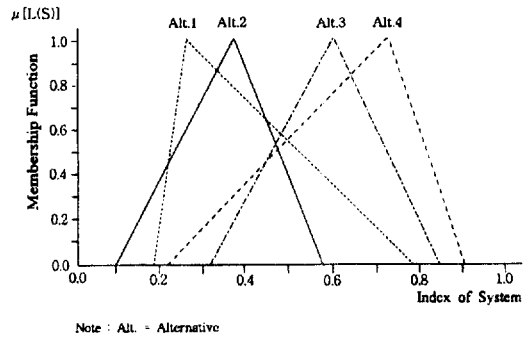


Fig. 4. Example of membership function $\mu(L(s))$ for each alternative.

Table 3. Ranking of alternatives

Case	Classification	Ranking			
		1	2	3	4
I	alternative	1	2	3	4
	ordering value	0.765	0.747	0.709	0.301
II	alternative	3	2	1	4
	ordering value	0.719	0.595	0.561	0.324
III	alternative	3	1	2	4
	ordering value	0.666	0.486	0.455	0.340
IV	alternative	3	4	1	2
	ordering value	0.658	0.441	0.333	0.332
V	alternative	3	4	2	1
	ordering value	0.675	0.481	0.313	0.207
VI	alternative	3	4	2	1
	ordering value	0.810	0.798	0.769	0.266
VII	alternative	1	3	2	4
	ordering value	0.880	0.815	0.796	0.244
VIII	alternative	1	2	3	4
	ordering value	0.825	0.663	0.625	0.264

게 할 수 있다고 판단되는 Case만을 고려하였으며, 그 결과로서 8개의 Case가 마련되었다. 사회·기술 적용성의 중요도를 크게 본 것은 하나(Case VIII)뿐인데, 그 이유는 이것이 수질의 안정성과 경제성에 비해 중요도가 낮을 뿐만 아니라 주암호에 적용하려는 기술들 각각이 사례가 없는 신기술이 아니고 일반적으로 많이 사용되고 있는 기술로서 적용에 어

Table 4. Weighting schemes on weight(w) and balancing factor(p)

Criterion	weighting scheme of each case																
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
	w	p	w	p	w	p	w	p	w	p	w	p	w	p	w	p	
T-N concentration	0.33		0.20		0.20		0.20		0.20		0.20		0.20		0.20		0.20
T-P concentration	0.33	1	0.40	1	0.50	2	0.50	2	0.50	2	0.50	1	0.50	1	0.50	1	0.50
Chl-a concentration	0.33		0.40		0.30		0.30		0.30		0.30		0.30		0.30		0.30
Suitability of technology	0.50		0.40		0.40		0.40		0.40		0.40		0.40		0.40		0.40
Simplicity of maintenance	0.50	1	0.60	1	0.60	1	0.60	1	0.60	1	0.60	1	0.60	1	0.60	1	0.60
Capital cost	0.50		0.40		0.40		0.40		0.40		0.30		0.30		0.40		0.40
Maintenance cost	0.50	1	0.60	1	0.60	1	0.60	1	0.60	1	0.70	1	0.70	2	0.60	1	0.60
BOD concentration	0.50		0.40		0.30		0.20		0.20		0.30		0.30		0.30		0.30
Nutrient level of lake	0.50	1	0.60	1	0.70	2	0.80	2	0.80	2	0.70	1	0.70	1	0.70	1	0.70
Applicability of technology	0.50		0.60		0.60		0.60		0.60		0.60		0.60		0.60		0.60
Acceptability of residents	0.50	1	0.40	1	0.40	1	0.40	1	0.40	1	0.40	1	0.40	1	0.40	1	0.40
Safety of water quality	0.33		0.50		0.60		0.80		0.90		0.30		0.30		0.30		0.30
Applicability of socio-technology	0.33	1	0.25	1	0.20	2	0.10	3	0.00	3	0.20	1	0.10	2	0.50	2	0.50
Cost	0.33		0.25		0.20		0.10		0.10		0.50		0.60		0.20		0.20

Note: Refer to Fig. 1 to identify the level of each criterion and the group to which each criterion belongs.

려움이 없기 때문이다.

각 Case에 대한 대안별 순위는 Table 3에 보여진 바 있다. 4개의 대안들 중에서 대안 3과 1이 모든 Case에서 첫 번째 순위로 가장 많이 나타나고 있다. 그러나 대안 1은 수질의 안정성이 강조되는 경우 (Cases II ~ VI)에는 순위가 가장 나쁜 쪽으로 나타나고 있어 수질의 안정성을 무시할 수 없는 한 대안 1을 최적으로 선정하기는 곤란하다. 따라서 주암호의 최적으로 대안 3을 선택하는 것이 타당하다고 판단된다.

5. 결 론

여러 가지의 서로 다른 수질관리 대안들 각각의 성취도를 나타내는 평가기준 값들은 관련자료의 부정확성과 지식의 부족으로 인하여 보통 불확실성을 내포하게 된다. 이러한 각 기준값에 포함된 불확실성을 퍼지이론으로 해석하고, 이것을 그대로 의사결

정(최적의 수질관리 대안 선정)과정에 결합시키는 방법을 본 논문에서 제시하였다 이 방법은 불확실한 기준값 자체를 의사결정과정에 그대로 반영하기 때문에 불확실한 값을 명확한 값으로 전환하여 사용하는 방법들에 비해 합리적이고 현실성있는 의사결정을 만들 수 있다.

다수의 수질관리 대안들 사이에서 최적대안은 평가기준 항목의 종류와 이러한 기준들 각각의 상대적인 중요도에 따라 변화될 수 있다. 따라서 평가기준들 각각이 수질관리 대안의 주요한 장·단점을 대표할 수 있도록 기준항목들을 조심스럽게 선택해야 한다. 또한 각 기준의 상대적인 중요도를 나타내는 가중치에 따라 다른 결과가 도출될 수 있기 때문에 AHP(Analytic hierarchy process)방법¹⁰⁾ 등을 이용해 각 기준의 상대적인 중요도를 정확히 반영하여야 하고 각 기준의 상대적인 중요도를 나타내는 가중치가 의사결정자의 판단을 일관성있게 반영하고 있는지도 검증할 필요성이 있다.

본 논문에서 보여진 수질관리 대안 평가를 위한

퍼지 의사결정 방법은 다음과 같은 경우들이 하나 또는 그 이상이 함께 나타날 때 유용하게 활용될 수 있다.

- 수질관리 대안들을 평가하기 위한 기준들이 다수인 경우
- 평가기준 항목별로 추구하는 목적이 서로 상충되는 경우
- 각 대안의 장·단점을 대표하는 기준값들의 일부나 모두가 불확실하고 확률적 측정이 곤란한 경우
- 평가기준 항목들의 상대적인 중요도가 의사결정권자들에 따라 다른 경우

주암호 수질관리 전략으로 개발된 4개의 대안들 중에서 대안 3은 각 기준의 상대적인 중요도를 변화시킨 민감도 분석에서 거의 항상 1, 2위의 순위 (Table 3)를 유지하고 있기 때문에 최적으로 선정될 수 있다. 즉, 대안 3은 평가기준들의 상충된 목적을 가장 잘 절충하고 있으며 극단적인 단점이 없는 방안이라고 할 수 있다. 이 대안은 주암호 유역에 인제거 시설을 추가한 8개 하수처리장 건설과 이 처리장 집수구역 밖의 모든 마을들에 마을단위 오폐수 처리장(생활하수와 축산폐수의 합병처리장)을 설치하는 것이다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사, 주암호 수질관리 전략 개발에 관한 연구(1998).
2. Ambrose, R. B. and Martin, J. L., "The water quality analysis simulation program, WASP5 Part A: Model Documentation," Environmental Research Lab., Georgia, U.S.A.(1993).
3. Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets," *Information and Control*, **8**(3), 338~353(1965).
4. Zeleny, M., *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y.(1982).
5. Goicoechea, A., Hansen, D. R. and Duckstein, L., *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.(1982).
6. Chankong, V. and Haimes, Y. Y., *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, N.Y.(1983).
7. Bogardi, I. and Bardossy, A., "Application of MCDM to Geological Exploration", *Essays and Surveys on Multiple Criterion Decision Making*, P. Hansen (Editor), Springer-verlag, New York, N.Y.(1983).
8. Lee, S. M., Laurence, J. M. and Taylor III, B. W., *Management Science*, Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa(1985).
9. Lee, Y. W., Bogardi, I. and Stansbury, J., "Fuzzy Decision Making in Dredged Material Management," *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **117**(5), 614~630(1991).
10. Saaty, T. L., *Multicriteria Decision Making: the Analytic Hierarchy Process*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pa. (1988).
11. Chen, S. H., "Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set," *Fuzzy Sets and Systems*, **17**(2), 113~129(1985).
12. Lee, Y. W., Dahab, M. F. and Bogardi, I., "Fuzzy Decision Making in Groundwater Nitrate Risk Management," *Water Resources Bulletin*, **30**(1), 135~148(1994).
13. 이용운, 황윤애, 이성우, 정선용, 최정욱, "퍼지 Simulation 방법에 의한 주암호의 수질모델링," *대한환경공학회지*, **22**(3), 535~546 (2000).

14. 여수시, 농어촌 주거환경 개선사업 계획 및 기본 설계 보고서(1998).
15. Lee, Y. W., Bogardi, I. and Bardossy, A., Fuzzy Composite Programming Software

and Manual, Dept. of Civil Engineering, University of Nebraska, Lincoln, NE. (1990).