

모호종합결심채택방법에 의한 중금속오염제거 방안선택에 대한 연구

주철환, 리일광

여러가지 정성적 및 정량적지표들을 가지고 대상을 객관적으로 평가하는것은 불확정성결심채택문제해결에서 중요한 문제의 하나이다. 선행연구들[1-4]에서는 평가기준들에 대한 종속도가 0과 1사이의 실수로 주어지는 경우와 정성적인 값으로 주어지는 경우 결심채택문제해결에 삼각모호수를 리용한 모호종합평가모형을 적용하였다.

우리는 정량적 및 정성적지표들에 대한 평가와 지표들의 중요성무계를 삼각모호수로 표현하고 모호우선관계리론을 리용한 모호종합평가방법으로 물흐름이 약한 수역에서의 환경개선방안선택에 대하여 연구하였다.

1. 모호종합결심채택방법의 이론적기초

1) 모호판단행렬의 구성

정성적평가결과에 대한 모호수표현규칙과 평가지표들의 중요성정도를 나타내는 무계의 모호수표현규칙은 표 1, 2와 같다.

표 1. 정성적평가결과에 대한 모호수표현규칙

정성적평가결과의 언어적표현	정성적평가결과의 삼각모호수표현
대단히 나쁘다.	(0, 0, 1)
나쁘다.	(0, 1, 3)
조금 나쁘다.	(1, 3, 5)
보통이다.	(3, 5, 7)
조금 좋다.	(5, 7, 9)
좋다.	(7, 9, 10)
대단히 좋다.	(9, 10, 10)

표 2. 평가지표들의 중요성무계의 모호수표현규칙

평가지표들에 대한 중요성정도의 언어적표현	평가지표들에 대한 중요성정도의 삼각모호수표현
대단히 낮다.	(0, 0, 0.1)
낮다.	(0, 0.1, 0.3)
조금 낮다.	(0.1, 0.3, 0.5)
보통이다.	(0.3, 0.5, 0.7)
조금 높다.	(0.5, 0.7, 0.9)
높다.	(0.7, 0.9, 1.0)
대단히 높다.	(0.9, 1.0, 1.0)

방안선택에 참가하는 후보방안모임을 $A = \{A_i\} (i = \overline{1, m})$, 방안들에 대한 평가지표모임을 $C = (C_j)(j = \overline{1, n})$ 이라고 하면 모호판단행렬은 다음과 같다.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1j} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2j} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mj} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 \tilde{x}_{ij} 는 표 1의 모호수표현규칙에 의하여 표현되는 i 째 방안의 j 째 평가지표의 모호 평가값으로서 평가자수가 k 명이라고 하면 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k} [\tilde{x}_{ij}^1 (+) \tilde{x}_{ij}^2 (+) \tilde{x}_{ij}^3 (+) \cdots (+) \tilde{x}_{ij}^k] \quad (2)$$

여기서 \tilde{x}_{ij}^k 는 삼각모호수로 표현되는 i 째 방안의 j 째 평가지표에 대한 k 째 평가자의 모호 평가값, $(+)$ 는 모호수의 더하기연산기호이다.

매개 평가지표들에 대한 중요성무계평가행렬은 다음과 같다.

$$\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \cdots, \tilde{w}_j, \cdots, \tilde{w}_n) \quad (3)$$

여기서 \tilde{w}_j 는 표 2의 표현규칙에 따라 평가된 j 째 평가지표의 모호중요성무계평가값이다.

모호판단행렬 \tilde{D} 에서 매 평가지표들에 대하여 선형척도변환을 진행하여 표준화한다.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (4)$$

여기서 j 가 최대화기준인 경우에는 $\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{x_{ijl}}{c_j^*}, \frac{x_{ijm}}{c_j^*}, \frac{x_{iju}}{c_j^*} \right)$, $c_j^* = \max_i (x_{iju})$ 로 되며 j 가 최소

화기준인 경우에는 $\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{\bar{a}_j}{x_{iju}}, \frac{\bar{a}_j}{x_{ijm}}, \frac{\bar{a}_j}{x_{ijl}} \right)$, $\bar{a}_j = \max_i (x_{ijl})$ 로 된다. x_{ijl} , x_{ijm} , x_{iju} 는 각각 삼

각모호수의 상한, 중심, 하한이다.

매개 평가지표들의 중요성무계를 고려한 매 방안들의 모호종합평가는 다음의 식으로 계산된다.

$$\tilde{P}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j, (i = \overline{1, m}) \quad (5)$$

여기서 \tilde{P}_i 는 삼각모호수로 표현된 i 째 방안의 모호종합평가값이다.

2) 모호완전우선관계행렬의 구성

모호우선관계행렬 E 는 다음과 같이 정의한다.

$$E = [e_{ij}]_{m \times n} \quad (6)$$

$$e_{ij} = \frac{S_1}{S} \quad (7)$$

$$S = S_1 + S_2 \quad (8)$$

여기서 $S_1 = \int_{x>0} \mu_{\tilde{Z}_{ij}}(x)dx$, $S_2 = \int_{x<0} \mu_{\tilde{Z}_{ij}}(x)dx$, $\tilde{Z}_{ij} = \tilde{P}_i - \tilde{P}_j$

모호우선관계행렬 E 에서 $e_{ij} > 0.5$ 이면 방안 A_i 가 방안 A_j 에 비해 우선도가 높고 $e_{ij} = 0.5$ 이면 우선도 차이가 없으며 $e_{ij} < 0.5$ 이면 방안 A_j 가 방안 A_i 에 비하여 우선도가 높다는것을 보여준다.

모호우선관계행렬 E 로부터 최종우선도를 얻기 위하여 모호완전우선관계행렬 E^S 를 다음과 같이 구성한다.

$$E^S = [e_{ij}^S]_{m \times n} \quad (9)$$

여기서 $e_{ij}^S = \begin{cases} e_{ij} - e_{ji}, & e_{ij} \geq e_{ji} \\ 0, & e_{ij} < e_{ji} \end{cases}$ 이다.

모호완전우선관계행렬 E^S 로부터 후보방안 A_i 의 최종우선도는 다음의 식에 의하여 결정된다.

$$\mu(A_i) = 1 - \max_{j \in \Omega} e_{ij}^S \quad (10)$$

여기서 $\mu(A_i)$ 는 방안 A_i 의 최종우선도, Ω 는 제기된 후보방안모임인데 $\mu(A_i)$ 가 크다는 것은 방안 A_i 가 다른 방안들보다 우선도가 더 높다는것을 의미한다.

2. 중금속오염제거방안의 선택

관측자료와 수값모의실험에 의하면 연구수역의 물흐름은 겨우 0~5mm/s로서 물흐름이 매우 약한 수역이다.

우리는 이 수역에서 기본수질오염지표로 제기되고있는 중금속오염을 제거하기 위한 방안을 선정하는데 모호종합결심채택방법을 적용하였다.

결심채택자는 3명(D_1, D_2, D_3)으로 하고 후보방안은 5가지(A_1 : 잠관식물빼기방안, A_2 : 잠관식물취수방안, A_3 : 저질희석에 의한 중금속흡착방안, A_4 : 점토광물에 의한 중금속흡착방안, A_5 : 섭조개양식에 의한 생물학적중금속흡수방안)로 한다.

평가지표는 10개(경제적지표로서 초기투자비용, 운영 및 관리비용지표, 지속적발전지표로서 효과성, 자원보호지표, 환경보호지표로서 수질, 저질, 생태보호지표, 기술적지표로서 기술적가능성, 자체정화능력, 기술로력조건지표)로 설정하였다.

매개 후보방안들에 대한 3명의 결심채택자들의 평가결과는 표 3과 같다.

표 3. 결심채택자들의 방안별평가자료

지표	평가자	방안				
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
초기투자	1	80	90	40	50	60
비용/백만원	2	70	80	30	40	50
	3	90	100	50	60	70

표계속		방안				
지표	평가자	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
운영 및 관리 비용/백만원	1	7	6	5	8	10
	2	8	7	5	9	20
	3	9	8	5	10	30
효과성	1	보통이다.	조금 좋다.	조금 나쁘다.	보통이다.	좋다.
	2	조금 좋다.	조금 좋다.	보통이다.	좋다.	조금 좋다.
	3	조금 좋다.	보통이다.	조금 좋다.	좋다.	대단히 좋다.
자원보호	1	조금 좋다.	조금 좋다.	조금 나쁘다.	보통이다.	좋다.
	2	조금 좋다.	좋다.	보통이다.	좋다.	조금 좋다.
	3	조금 좋다.	좋다.	조금 나쁘다.	조금 좋다.	조금 좋다.
수질보호	1	좋다.	조금 좋다.	조금 나쁘다.	좋다.	조금 나쁘다.
	2	조금 좋다.	조금 좋다.	좋다.	조금 좋다.	좋다.
	3	조금 좋다.	좋다.	조금 좋다.	보통이다.	보통이다.
저질보호	1	보통이다.	보통이다.	조금 나쁘다.	좋다.	좋다.
	2	조금 좋다.	보통이다.	보통이다.	조금 좋다.	좋다.
	3	조금 좋다.	조금 좋다.	보통이다.	조금 좋다.	조금 좋다.
생태보호	1	보통이다.	조금 좋다.	보통이다.	좋다.	좋다.
	2	조금 좋다.	보통이다.	보통이다.	보통이다.	좋다.
	3	조금 좋다.	조금 좋다.	조금 나쁘다.	나쁘다.	조금 좋다.
기술적 가능성	1	좋다.	조금 좋다.	조금 나쁘다.	보통이다.	좋다.
	2	조금 좋다.	조금 좋다.	보통이다.	보통이다.	조금 좋다.
	3	보통이다.	좋다.	조금 좋다.	좋다.	조금 좋다.
자체정화 능력	1	조금 좋다.	보통이다.	좋다.	좋다.	보통이다.
	2	조금 좋다.	보통이다.	조금 좋다.	조금 좋다.	조금 좋다.
	3	보통이다.	조금 좋다.	나쁘다.	조금 좋다.	조금 좋다.
기술로력 조건	1	보통이다.	보통이다.	보통이다.	보통이다.	조금 좋다.
	2	보통이다.	보통이다.	좋다.	조금 좋다.	보통이다.
	3	보통이다.	보통이다.	조금 좋다.	보통이다.	조금 좋다.

계산된 매개 평가지표의 중요성무게는 다음과 같다.

$\tilde{W} = ((0.63, 0.83, 0.97), (0.17, 0.37, 0.57), (0.70, 0.90, 1.00), (0.57, 0.77, 0.93), (0.50, 0.70, 0.90), (0.50, 0.70, 0.90), (0.50, 0.70, 0.90), (0.43, 0.63, 0.83), (0.50, 0.70, 0.90), (0.70, 0.90, 1.00))$

평가자료에 대하여 모호결심행렬 \tilde{D} 를 구성하고 모호표준화행렬 \tilde{R} 를 얻는다.

다음 5개 방안의 모호종합평가값을 계산한다.(표 4)

표 4. 방안별모호평가값

방안	\tilde{P}_1	\tilde{P}_2	\tilde{P}_3	\tilde{P}_4	\tilde{P}_5
평가값	(2.24, 4.47, 7.02)	(2.56, 4.86, 7.56)	(2.36, 4.63, 7.31)	(2.77, 5.10, 7.77)	(2.90, 5.26, 7.76)

두 방안사이의 모호차 \tilde{Z}_{ij} 를 계산하고 우선관계행렬 E 와 완전모호우선관계행렬 E^S 를 얻어낸다.

$$E = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.46 & 0.48 & 0.43 & 0.42 \\ 0.54 & 0.50 & 0.52 & 0.47 & 0.46 \\ 0.52 & 0.48 & 0.50 & 0.45 & 0.43 \\ 0.57 & 0.53 & 0.55 & 0.50 & 0.48 \\ 0.58 & 0.54 & 0.57 & 0.52 & 0.50 \end{bmatrix} \quad E^S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.08 & 0 & 0.04 & 0 & 0 \\ 0.04 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.14 & 0.06 & 0.10 & 0 & 0 \\ 0.16 & 0.08 & 0.14 & 0.04 & 0 \end{bmatrix}$$

매개 방안들에 대하여 최종우선도를 계산하고 후보방안들을 배열한다.

$$\mu(A_1) = 0.84, \mu(A_2) = 0.92, \mu(A_3) = 0.86, \mu(A_4) = 0.96, \mu(A_5) = 1$$

5개 방안의 배열순서는 $A_5 > A_4 > A_2 > A_3 > A_1$ 이다.

맺 는 말

계산결과를 보면 5방안과 4방안, 2방안이 높은 우선도를 가지는 합리적인 방안으로 선정되었다. 이 방안들을 결합하여 해당 연구수역에서 해양환경오염방지대책을 작성할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 57, 6, 24, 주체100(2011).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 55, 5, 164, 주체98(2009).
- [3] 刘传华; 中国岩溶, 6, 189, 2008.
- [4] 张永良 等; 水环境容量综合手册, 清华大学出版社, 67~164, 2011.

주체105(2016)년 1월 5일 원고접수

Selection of the Reasonable Proposal to Remove the Heavy Metal Pollution by using Fuzzy Synthetic Decision Method

Ju Chol Hwan, Ri Il Gwang

We studied the method to select the reasonable proposal for environmental improvement by using fuzzy preference relation matrix. This method can be used to decide reasonable proposal to remove the environmental pollution in the coast of our country.

Key words: fuzzy preference relation matrix, fuzzy synthetic, improvement proposal