

퍼지 적분을 이용한 수질오염 평가 시스템 구현

The Development of Water Pollution Evaluation System using Fussy Integral

송영준, 김미혜*, 정근욱*, 이상승*, 박성훈*
프리즘테크, 충북대학교*

Song Young-Jun, Kim Mi-Hye*, Chung Keun-Yook*,
Lee Sang-Seung*, Park Sung-Hoon*
Prismtek, Chungbuk National Univ.*

요약

본 논문에서는 수질 오염 평가 시스템 개발 과정의 첫 단계로 기존의 수질 오염 측정에 이용해 왔던 평가 기준과 각 기준에 대한 평가 항목을 가지고, 퍼지 적분을 이용하여 평가하는 새로운 시스템을 구현하고자 한다. 수질 오염의 종합 평가는 BOD, COD, SS, T-N, T-P와 같은 속성에 관한 평가치를 종합하여 얻어진다. 이 과정에서 개개의 속성이 서로 독립적인 관계를 유지하는 경우 종합 평가치가 각각의 부분 평가치의 선형 결합의 형태로 표현 될 수 있다. 이에 각 결합 형태에 대한 퍼지 측도를 정의하고, 이에 퍼지 적분을 적용하여 보다 안정된 수질오염 평가 시스템을 구현하였다.

Abstract

In this paper, the new evaluation system for water quality pollution is implemented using fuzzy integral based on the conventional evaluation criterions and their evaluation factors and this is the first phase in the whole water quality pollution evaluation system development. In the final evaluation for water quality pollution the factors like BOD, COD, SS, T-N, and T-P are taken into overall accounts. It is found that the final evaluation can be represented in a linear combination of respective factor evaluation when each factor is independent one another, With respect to the combination patterns the fuzzy measurement is defined and the fuzzy integral is taken. As a result this approach shows stable and reliable evaluation for the water quality pollution evaluation system development.

I. 서론

오늘날 인류는 산업의 발달로 인하여 풍요로운 물질 문명의 혜택을 누리고 있으나 이와 함께 여러 가지 사회 문제들이 파생되고 있다. 이중 가장 문제시 되는 것은 역시 환경오염 문제라 할 수 있는 데, 이는 어떤 특정국가나 지역사회의 문제가 아닌 전 인류의 공통 관심사로 대두되고 있다. 서구 선진국들은 이미

오래전부터 환경문제에 대해 심각하게 인식하고 대처해 오고 있으나 우리나라는 근래에 들어서야 많은 관심을 기울이게 되었다. 우리나라의 경우 산업 폐수 및 생활하수의 하천 유입으로 인해 수자원의 오염이 심화되고 있으며 이들 오염 물질이 자연생태계는 물론 인간의 생명까지 위협하고 있는 실정이다.

이러한 상황에서 수질오염 정도에 대한 평가와 대책이 필수적이다. 기존의 수질오염 평가 방법은 채취

된 시료에서 BOD(biochemical oxygen demand, 생물학적인 산소 요구량) COD(chemical oxygen demand, 화학적인 산소요구량), SS(suspended solids, 부유물질), T-N(total nitrogen, 총질소), T-P(total phosphorus, 총인) 이상 다섯 가지 항목들은 측정치의 범위가 모두 제 각각이고 서로 다른 관점에서 개별적으로 측정하고 있다[1-4].

따라서, 현재의 평가 시스템은 단순히 정성적인 차원의 체크리스트 수준을 벗어나지 못하는 실정이다. 이러한 점을 극복하기 위해서는 효율적이고 타당성 있는 종합적인 평가방법을 개발하여 정확한 수질오염도의 판정 및 분석이 가능하도록 하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 대전권과 청주권 및 신행정도시의 대도시에 위치한 금강의 지천인 갑천에 대한 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 다섯 가지의 수질 오염 평가 항목에 대한 자료를 기반으로 하여, 퍼지측도 및 퍼지적분을 적용한 보다 안정적인 수질오염 평가 시스템을 구현하는데 그 목적이 있다[5].

본 논문의 구성은 2장에서 수질 오염 평가 항목에 대하여 설명하고, 3장에서는 평가 시스템에 적용되는 퍼지 적분을 설명한다. 4장에서는 퍼지 적분을 적용한 수질 오염 평가 시스템 구현하여 그 결과를 보여주고 있으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 수질 오염 평가 방법

대부분의 수질 오염도를 측정 평가 분석하는 데, BOD, COD, SS, T-N, T-P의 다섯 가지 항목이 주로 사용되고 있다.

1. BOD(생물학적 산소 요구량)

생물학적 산소요구량은 물의 유기오염 지표의 한가지로서 어떤 물속의 미생물이 산소가 존재하는 상태에서 유기물을 분해, 안정시키는데 요구되는 산소량

이다. 즉, 어느 정도 오염되었는가를 나타내는 기준으로서, 호기성(산소를 필요로 하는)박테리아가 일정 시간내 (보통20도씨에서 5일간)에 물속의 유기물을 산화 분해시켜 정화하는데 소비되는 산소의 양을 ppm으로 나타낸 것이다. 생물학적 산소요구량은 오염된 물 속에서 산소가 결핍될 가능성이 높음을 나타내는 지표가 될 수 있다. 5ppm 이상이 되면 하천은 자기정화 능력을 잃으며, 10ppm을 넘을 때는 나쁜 냄새를 풍기며 시궁창 하천이 된다.

2. COD(화학적 산소 요구량)

화학적 산소요구량은 물속의 피산화성 물질을 산화제인 중크롬산칼륨($K_2Cr_2O_7$), 또는 과망간산칼륨($KMnO_4$)을 이용하여 화학적으로 산화시킬 때 소비되는 산소량을 보통 ppm 단위로 표시한다.

COD는 BOD와 더불어 폐수의 유기물 함유도를 간접적으로 나타내는 중요한 지표로 COD는 유기물을 화학적으로 산화시킬 때 얼마만큼의 산소가 화학적으로 소모되는가를 측정한다. 일반적으로 하천이나 도시 하천은 BOD값이 사용되며, 공장 폐수나 해수 등의 오염지표로는 COD값이 많이 사용된다.

3. SS(부유물질)

부유물질은 물속에 풀려 떠 있으면서 물을 흐리게 하는 불용성의 물질을 의미한다. 이것의 측정은 정량의 물을 여과하여 잔류물을 증발건조 시킨 후, 직경이 약 $1\mu m$ 이상의 크기를 가진 물질이다. 이것은 지표에서 유출된 점토나 유기물·플랑크톤, 기타의 미생물 또는 그들의 유각, 각종 잡초, 폐수 속의 현탁물 따위의 단독 또는 그 조합으로 구성되어 있다. 부유물질은 점토광물에 유래하는 미립자, 하수나 산업폐수 속의 미립자, 플랑크톤이나 그밖의 미생물, 입자상의 유기성물질 등으로, 오탉의 원인뿐 아니라 오탉의 원인이 되기도 한다.

4. T-N(총질소)

물속의 포함된 질소의 총량으로 무기성 질소 및 유기성 질소의 질소량의 합계를 말한다. 무기성 질소로는 암모니아 질소, 아질산성 질소 및 질소가 있으며, 유기성 질소로서는 단백질, 아미노산, 폴리펩티드 등의 동식물의 조직 성분과 이들의 분해 과정에서 포함되는 질소, 요소 등이 있다. 인구의 집중도가 큰 지역의 하천, 호소에 많으며 하천, 호소 등의 부영양화를 나타내는 지표의 하나이다.

5. T-P(총인)

인은 인회석과 같은 인산염으로서 추출된다. 금, 은, 구리, 납과 같은 금속의 염을 환원하여 금속을 유리시키고, 어떤 것은 다시 인화물로 만든다. 총인의 측정 방법으로는 흡광광도법(아스코르빈산 환원법)이 있다. 물속의 포함된 인의 총량으로 인구의 집중도가 큰 지역의 하천, 호소에 많으며 하천, 호소 등의 부영양화를 나타내는 지표의 하나이다.

III. 퍼지 적분

1974년 Sugeno[6][7]에 의해 처음 소개된 퍼지 측도(fuzzy measure)는 가법성(additivity)을 만족하지 않고, 단조성만을 고려한 일종의 집합치 함수로, 구성요소 사이의 작용을 표현하는 수학적 도구라 할 수 있다. 퍼지 측도가 측정해 온 상호작용은, 크게 (1) 속성의 중요도, (2) 단위를 갖는 양 (3) 확실함의 정도로 분류된다. 이러한 퍼지 측도에 관한 Sugeno의 퍼지 적분은, 어떤 대상을 여러 항목(또는 관점)에 대해서 평가하고, 각 항목에 대해서 평가를 하며, 각 평가 항목의 중요도에 차이가 있을 경우, 이들 평가치를 모두 종합하는데 이용될 수 있다. 특히 퍼지 적분은 주관적인 판단이 개입되는 평가문제에서 유용하게 이용되므로, 의사결정(decision making)문제, 비선형 분류(nonlinear classification), 비선형 다중

회귀분석(nonlinear multiregression) 문제들과 같은 데이터 마이닝(data mining), 정보 융합(information fusion)분야뿐 아니라 어떤 대상을 평가하는 방법으로 다양한 분야에서 이용되어왔다.

본 논문에서 사용되는 퍼지 측도 및 퍼지 적분의 수학적 모델링에 대하여 소개한다. 먼저, A 는 공집합이 아닌 X 의 부분 집합의 σ -대수로 가정하면, 다음과 같은 성질을 만족하는 집합치 함수 $g : A \rightarrow [0, 1]$ 는 퍼지 측도(fuzzy measure)라고 지칭된다.

$$(1) g(\emptyset) = 0 ;$$

$$(2) A, B \in A, A \subset B \text{이면, } g(A) \leq g(B) \text{ 이고 ;}$$

$$(3) A_n \in A, A_1 \subset A_2 \subset \dots, \text{에 대해,}$$

$$\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n \in A \text{ 을 만족하면,}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g(A_n) = g\left(\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n\right) \text{이 성립하고;}$$

$$(4) A_n \in A, A_1 \supset A_2 \supset \dots, \text{에 대해서,}$$

$$\bigcap_{n=1}^{\infty} A_n \in A \text{ 을 만족하면,}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g(A_n) = g\left(\bigcap_{n=1}^{\infty} A_n\right) \text{이 성립한다.}$$

여기서 g 를 가측 공간(measurable space) (X, A) 에서의 퍼지 측도 일 때, (X, A, g) 을 퍼지 측도 공간(fuzzy measure space)라고 부른다.

만약 B 가 $[0, 1]$ 의 Borel 부분 집합들의 σ -대수인 곳에서 $B \in B$ 였을 경우, 어떤 B 값에 대해서도 $h^{-1}(B) = \{x \mid h(x) \in B\} \in A$ 라면, 실수 값을 가지는 함수 $h : X \rightarrow [0, 1]$ 은 A 와 B 에 대하여 A -가측(measurable)이다. (단, 아무런 혼동이 없을 때 그냥 가측이라고 부르는 것이 가능하다.)

“ $L^0(X) = \{h : x \rightarrow [0, 1] \mid h \text{가 } A \text{와 } B \text{에 대하여 가측(measurable)}\}$ ”와 같은 가측 함수 집합을

생각 할 수 있다. 이 때, B는 통상적으로 $[0, 1]$ 의 Borel 부분 집합들의 σ -대수이다. 주어진 h 가 $h \in L^0(X)$ 인 어떤 경우에 있어서도 $\alpha \in [0, 1]$ 일 때, $H_\alpha = \{x \mid h(x) \geq \alpha\}$ 라고 쓸 수 있다.

$A \in \mathcal{A}$ 이고, $h \in L^0(X)$ 라고 가정하면, g 에 대한 A 위에 있는 h 의 퍼지적분(fuzzy integral)의 정의는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\int_A h dg = \sup_{\alpha \in [0, 1]} [\alpha \wedge g(A \cap H_\alpha)] \quad (1)$$

여기서, $A = X$ 일 때의 퍼지적분은 $\int h dg$ 로 나타내도 무방하다.

IV. 시스템 구현

본 논문에서는 금강 유역의 지천인 갑천의 5군데 지점에서 수집된 5가지 평가 항목의 데이터를 예로서 적용하였다. 기존의 동일한 평가항목들이 수질오염에 영향을 미치는 정도를 의미하는 퍼지 측도값을 결정하고, 이를 이용하여 갑천에 대한 종합적인 평가를 하는 퍼지적분법을 적용하는 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 2.4GHz Pentium4 PC에서 Visual

C++ 6.0을 사용하였으며 다음과 같은 단계를 거쳐 평가치가 산정된다.

먼저, 본 논문에서 사용될 평가 항목인 $X=(BOD, COD, TN, TP, SS)$ 의 측정된 값을 정규화 한다. 이는 평가항목으로 척도들을 적용하였을 때 측정된 결과 값의 범위가 모두 다르므로, 평가항목의 값들이 $[0, 1]$ 사이에 분포하도록 한다.

또한 수질오염 평가에서 오염원의 모든 속성(여기서는 BOD, COD, TN, TP, SS)들이 동일한 오염정도를 가지지는 않기 때문에 퍼지 척도들에 대한 적절한 가중치를 표 1과 같이 부여하였다.

본 논문에 적용된 5개의 갑천 지점에서의 각 평가 항목들의 데이터가 표 2와 같을 때, 각 데이터는 정규화된 평가값으로 변환되고, 이의 중요도를 식 (1)과 같은 퍼지적분을 이용하여 종합적인 평가값을 산출하도록 그림 1과 같이 시스템을 구성하였다.

[표 2] 갑천 지점들에 대한 평가 항목 데이터

	T-P	T-N	BOD	COD	SS
갑천1	0.12	2.03	2.4	3.6	1.2
갑천2	0.13	3.3	2.3	3.6	1.4
갑천3	0.19	3.4	2.7	4.6	4.2
갑천4	0.18	3.3	4.2	5.2	8.4
갑천5	0.49	11.8	6.6	8.2	9.6

[표 1] 평가 항목의 퍼지 측도값

구성	μ	구성	μ	구성	μ
\emptyset	0	COD, TP	0.60	COD, TN, TP	0.85
BOD	0.25	COD, SS	0.65	COD, TN, SS	0.65
COD	0.15	TN, TP	0.710	COD, TP, SS	0.70
TN	0.20	TN, SS	0.60	TN, TP, SS	0.75
TP	0.30	TP, SS	0.65	BOD, COD, TN, TP	0.95
SS	0.10	BOD, COD, TN	0.85	BOD, COD, TN, SS	0.75
BOD, COD	0.73	BOD, COD, TP	0.80	BOD, COD, TP, SS	0.80
BOD, TN	0.73	BOD, COD, SS	0.75	BOD, TN, TP, SS	0.90
BOD, TP	0.75	BOD, TN, TP	0.90	COD, TN, TP, SS	0.85
BOD, SS	0.65	BOD, TP, SS	0.75	BOD, COD, TN, TP, SS	1
COD, TN	0.55	BOD, TN, SS	0.75		

퍼지 적분을 적용한 결과 갑천의 수질은 갑천1은 0.2, 갑천2도 0.2, 갑천3은 0.4, 갑천4는 0.6, 갑천5는 0.73의 값을 갖게 되고, 이는 갑천 1이 제일 좋은 수질이고 갑천 5가 제일 오염이 많이 되어 있는 하천임을 알 수 있다.

	BOD	COD	TN	TP	SS	결과값
갑천 1	0.21	0.3	0.17	0.12	0.18	0.2
갑천 2	0.2	0.3	0.2	0.13	0.2	0.2
갑천 3	0.3	0.5	0.21	0.19	0.4	0.4
갑천 4	0.5	0.6	0.2	0.18	0.6	0.6
갑천 5	0.7	0.8	0.8	0.43	0.7	0.73

▶▶ 그림 1. 수질 평가 시스템

V. 결론

기존의 수질오염평가 방법과는 하천에 대한 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 다섯 가지 수질 오염 평가 항목들의 특성을 모두 수용할 수 있고 하나의 값으로 수질 오염도를 알 수 있는 방법을 제안하였다. 평가 항목들의 측정값들을 [0,1] 사이에 분포하도록 정규화시키고, 각 항목들의 유기적인 관계들에 대해 퍼지 측도를 적용시켰다. 퍼지 측도와 퍼지 적분을 활용한 자동화된 수질 평가 시스템을 구현하여 5개 항목에 대한 하천들의 측정치로서 하천의 오염도를 보다 안정적으로 판별할 수 있었다.

본 연구의 결과물은 갑천뿐만 아니라, 다른 하천이나 강, 호수 등의 수질 오염 평가시 활용될 수 있으며, 퍼지 적분을 활용함으로써, 퍼지 척도값을 변환하여 보다 안정적인 평가 시스템으로 다른 환경 오염 시스템으로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 김형석, 김부길, 송영채, 수질분석 및 수처리 실험, 동화기술, 1996.
- [2] 원성연, 박승국, 정근욱, "독성산업폐수의 생물학적 처, " 대한 위생학회지, 제14권, 제4호, pp.115-122, 1999.
- [3] Hur, H. W., S. K. Park, K. Y. Chung, H. Kang, and S.I. Lee, "Nitrogen and phosphorus removal from swine wastewater by intermittently aerated dynamic-flow system," Water Science and Technology, Vol.49, No.5-6, pp.367-378, 2004.
- [4] Randall, C. W., Barnard, J. L., Stensel, H. D., "Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal," Technomic Publishing CO., Inc., 1992.
- [5] 김미혜, "퍼지적분을 이용한 침입탐지시스템 평가방법," 정보보호학회논문지, 제14권, pp.113-121, 2004.
- [6] K. Ishii, M. Sugeno, "A model of human evaluation process using fuzzy integral," Int. J. Man-Machine Studies 22, pp.19-38, 1985.
- [7] M. Sugeno, "Fuzzy measures and fuzzy integrals-a survey," Fuzzy Automata and Decision Processes, North-Holland, pp.89-102, 1977.