

시화호 조류 생태계의 변화 분석 및 경사 하강법을 이용한 시화호 환경 지수 고안

김동훈 · 장하경 · 이관우* · 정경록
경기과학고등학교

Analysis of Changes in the Algal Ecosystem of Sihwa Lake and Design of Sihwa-Ecosystem-Index (SEI) Based on Gradient Descent

Dong-hun Kim · Ha-gyung Jang · Gwan-wu Lee* · Gyeong-rok Jung

Gyeonggi Science High School for the Gifted

E-mail : gs20018@gs.hs.kr / gs20093@gs.hs.kr / gs20075@gs.hs.kr / gs20095@gs.hs.kr

요 약

시화호는 초기 목적인 담수호 개발을 심각한 환경 오염으로 달성하지 못한 채 해수로 복구되었다. 파괴와 복원의 시간 동안 시화호의 생태계는 변화를 겪어왔는데, 특히나 철새가 많이 지나가는 곳이었기 때문에 조류 생태계에 가시적인 변화가 나타났다. 이에 따라 본 연구는 총 8가지 Ecosystem Index를 바탕으로 시화호 조류 생태계의 변화를 분석하였다. 그리고 더 나아가, 경사 하강법을 적용하여 그간 환경 오염의 척도로도 이용되었던 COD (Chemical Oxygen Demand, 화학적 산소 요구량)지수가 앞서 언급한 8가지 중 3가지 Ecosystem Index의 함수로 표현하였다. 이는 직접적인 환경에 대한 측정 및 정보 수집 없이 생태계의 정보만으로 환경 자체의 상태를 파악할 수 있다는 점에서 큰 가치가 있으며, 더 쉽게 구해낼 수 있기에 그 범용성이 넓다.

ABSTRACT

The Sihwa River was first planned to be a fresh water lake, but it failed due to serious environment pollution. During times of destruction and regeneration, changes of ecosystem of Sihwa River was visible, especially the algal ecosystem. It's because many seasonal birds pass through the place. This paper analyzes the changes of algal ecosystem of Sihwa River based on eight ecosystem indices. Moreover, using gradient descent, COD is expressed has a function of three ecosystem indices selected from above which is newly defined as SEI, Sihwa Ecosystem Index. In conclusion, we can observe the current ecosystem more easily without its actual data, but only with informations of the ecosystem.

키워드

시화호, 생태계, Ecosystem Index, 경사 하강법

1. 서 론

1.1 연구 동기

시화호는 초기 담수화를 목적으로 하다가 심각한 수질 오염에 의하여 조력 발전소 설치, 갈대 습지 공원 조성 등 강도 높은 재정 투입으로 수질을 겨우 회복하고 환경 오염을 어느 정도 막을 수 있었다. 이 과정에서 철새를 비롯하여 수많은 생물

종이 멸종 위기에 처하는 것과 같은 변화가 일어났다.

1.2 연구 목적 및 의의

이에 따라 본 연구는 환경의 상태를 표현하는 8가지 Ecosystem Index에 기반을 둔 시간에 따른 시화호 생태계의 변화를 분석하고자 한다. 더 나아가 앞서 언급한 8가지 Ecosystem Index 중 3가지를 선택하여 근사값을 찾아내는 최적화 알고리즘 중 하나인 경사 하강법을 적용한 후, 시화호 전체적으로 다방면으로 합리적인 결과를 도출해낼 수 있는 시

* speaker

화호 환경 지수(SEI, Sihwa Ecosystem Index)를 제작하고자 한다. 이는 직접적인 환경에 대한 측정 및 정보 수집 없이 생태계의 정보만으로 환경 자체의 상태를 파악할 수 있다는 점에서 큰 가치가 있으며, 더 쉽게 구해낼 수 있기에 그 범용성이 넓다.

II. 이론적 배경

2.1 다양성 지수

다양성 지수는 어떠한 데이터에, 얼마나 다양한 종류가 있는지를 반영하는 양적 단위로, 특히 생태계에서의 종 다양성을 계산하는 데 쓰인다.

2.2 True diversity and Hill number

True diversity는 데이터 안에서, 풍부한 정도가 같지 않은 여러 가지 자료들이 균형을 이루기 위해, 더 필요한 자료의 수를 반영하는 수치이다. 이는 일반화된 평균

$$M_p(x_1, \dots, x_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

(p : 양의 실수, w_i : 가중치)

수식 1. 일반화된 평균 수

에서 역수를 취함으로써 계산할 수 있다. 이때, 각 자료는 전체 개체 수에 대한 종 각각의 개체 수 p_i 가 되고, 가중치 또한 이처럼 설정한다.

$$DLSUP_q = \frac{1}{M_{q-1}} = \left(\sum_{i=1}^R p_i^q \right)^{\frac{1}{1-q}}$$

수식 2. q 의 order를 가진 Hill number 수식

결과적으로 $DLSUP_q$ 를 q 의 order를 가진 Hill number라고 부른다. Hill number에서 극한을 적용하여 q 가 1에 가까워지면, 추후 서술할 Shannon 지수와 관련된 식이 된다.

2.3 Ecosystem Index

2.3.1 Simpson Index

Simpson Index는 Edward Simpson (1949)이 제안한 동식물의 종의 수, 종의 분포 비중을 이용하여 종의 다양성을 정량적으로 나타내는 지수이며, 종의 풍부성을 강조하는 경향이 짙다. Simpson 지수는 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$D = \frac{\sum_{i=0}^{R-1} n_i(n_i - 1)}{N(N-1)} \quad (D: \text{Simpson 지수}, R: \text{종의 수 } n_i: \text{종 } i \text{의 개체 수}, N: \text{전체 종의 개체 수})$$

수식 3. Simpson Index

2.3.2 Shannon Index

Shannon Index는 1949년 Claude Shannon이 제안한 다양성 지수로 종 간의 균등성을 강조하는 경향이 짙다. 정의는 다음과 같다.

$$H = - \sum_{i=0}^{R-1} p_i \ln p_i \quad (H: \text{Shannon 지수}, p_i: \text{전체 개체 수 중 종 } i \text{의 개체 수 비율})$$

수식 4. Shannon Index

2.3.3 Richness Index (종 풍부도 지수)

군집구조의 가장 단순한 척도는 군집에 나타나는 종수이다. 종 풍부도 지수는 조사면적에 종속되어 이에 따른 지수의 변화 추이에 차이가 있다. 종 풍부도 지수의 경향을 파악한 결과 조사면적이 증가할 때 지수가 꾸준히 증가하는 추세다. 정의는 다음과 같다.

$$RI = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad (S: \text{전체 종수}, N: \text{총 개체 수})$$

수식 5. Richness Index

2.3.4 Evenness Index (균등도 지수)

군집에서 각종 간 개체 수 백분율이 유사한 정도를 나타낸다. 균등도 지수의 분모에 해당하는 식은 출현 종수만의 함수이며, 분자는 실제의 다양도 값이다. 따라서 조사면적이 증가하면 개체수비율이 작은 희소종이 새로 추가될 때 종수의 증가율보다 다양도 지수 값의 증가율은 낮아지게 되어 균등도가 감소하게 된다. 정의는 다음과 같다.

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (S: \text{전체 종수}, H': \text{다양도 지수})$$

수식 6. Evenness Index

2.4 Gradient Descent (경사 하강법)

경사 하강법은 1차 근사값 발견용 최적화 알고리즘으로, 함수의 도함수를 구하고 절댓값이 낮은 쪽으로 계속 이동하여 극값에 이를 때까지 반복하는 것이다. 수렴 값은 지역 최적 해로, 모든 구간에서 최적 해임을 보장하지 않는다.

$x_{i+1} = x_i - \gamma_i \nabla f(x_i)$ (x_i : 현재 위치, x_{i+1} : 다음 위치, $f(x)$: 최적화 대상 함수, γ_i : 이동할 거리를 조절하는 매개변수)

수식 7. Gradient Descent

III. 조류 생태계의 변화 분석

3.1 조류 생태계 Ecosystem Index의 변화

앞서 언급한 3개의 Ecosystem Index를 비롯하여 총 8가지 Ecosystem Index 값을 2000년부터 2015년까지 중 총 8개년에 걸쳐 계산했다. 얻어낸 값을 표시하면 모두 아래와 같다.

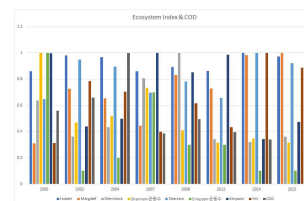


그림 1. Ecosystem Index/COD 변화 추이

8가지 Ecosystem Index는 크게 세 가지로 나눌 수 있는데, 그것은 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도이다. 우리가 선정한 Ecosystem Index에는 2개의 종 풍부도 지표, 4개의 종 다양도 지표, 2개의 종 균등도 지표가 있다. 각 분야에서 하나의 Ecosystem Index를 선정하여 Sihwa Ecosystem Index를 제작하고자 한다.

3.2 시화호 조류 생태계의 변화

COD 수치가 최고점을 찍고 환경을 회복하여 다시 낮아진 이후, 종 풍부도 관련 지수들은 값이 증가하였으나 종 균등도와 종 다양성은 되려 감소한 것으로 나타났다.

IV. 경사 하강법을 이용한 SEI 고안

본 연구에서는 환경 오염을 나타내는 지표인 COD를 Ecosystem Index를 통해서 표현하여 생태계 분석만으로 환경 오염 정도를 파악할 수 있도록 했다. 이를 위해 COD 값을 다음과 같은 형식으로 Ecosystem Index의 결합으로 표현된다고 가정한다.

4.1 경사 하강법 시행

예측 COD 값을 x_i 로 놓으면,

$$x_i = d_1(\sigma(f_1)A_i)^{e_1} + d_2(\sigma(f_2)B_i)^{e_2} + d_3(\sigma(f_3)C_i)^{e_3}$$

$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ (A_i, B_i, C_i : 각각 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도, d_j, e_j, f_j : parameter, 경사하강법을 통해 찾고자 하는 값)

수식 8. COD 근사식

이고, 경사하강법 사용을 위해 오차를 다음과 같이 정의한다.

$$ERR(x) = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 (C_i - x_i)^2 \quad (C_i: \text{시화호 COD 수치})$$

수식 9. 오차 정의식

각각의 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도에 대해 (총 16가지 경우) 오차를 최소화하는 d_j, e_j, f_j 를 찾기 위해 다음과 같은 수식을 통해 경사 하강법을 이용해 오차가 최소가 되는 값을 탐색하였다.

$$d_j' = d_j - \alpha \frac{\partial}{\partial d_j} ERR(x)$$

$$e_j' = e_j - \alpha \frac{\partial}{\partial e_j} ERR(x)$$

$$f_j' = f_j - \alpha \frac{\partial}{\partial f_j} ERR(x) \quad (\alpha: \text{learning rate})$$

수식 10. 경사 하강법

위의 계산에서 최종 $ERR(x)$ 값이 가장 작게 나온 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도를 선택하였다.

4.2 SEI 정의

우리가 결과적으로 SEI에서 사용할 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도 지표는 각각 Margalef 지수, Simpson 지수, Simpson 균등도지수이다. 각각의 parameter의 값은 다음과 같다.

$$d_1 = -2.038, d_2 = -1.729, d_3 = 1.279$$

$$e_1 = 5.724, e_2 = 5.046, e_3 = 0.130$$

$$f_1 = 1.394, f_2 = 1.536, f_3 = 0.085$$

이때 오차는 $ERR(x) = 0.005124$ 이다.

결과적으로 예상 COD 값과 실제 COD 값을 그래프로 나타내면

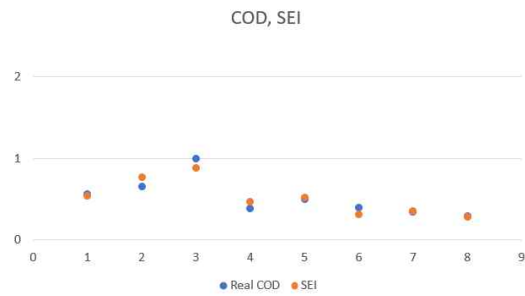


그림 2. COD와 SEI 비교와 같다.

V. 결론

5.1 시화호 조류 생태계의 변화

환경 오염 문제가 어느 정도 해결된 이후, COD 수치가 정상화된 순간 각 Ecosystem Index의 변화를 살펴보면 종 풍부도는 증가하였으나 종 균등도와 종 다양성은 되려 감소했다. 이는 결국 종의 다양성과 희귀한 종들의 개체수가 줄었다는 것을 의미하며, 비교적 흔한 생물들의 비율이 더 높아짐에 따라 단순화된 생태계가 조성되었음을 알 수 있다. 즉 시화호 복원 사업이 환경 문제를 해결했는지 몰라도, 성공적인 생태계 복원이라고 볼 수 없다.

5.2 Sihwa Ecosystem Index 고안

경사 하강법을 통하여 COD를 Margalef Index, Shannon Index, Hurbert Index의 함수로 나타내는데 성공했다. 이로써 직접적인 환경에 대한 측정 및 정보 수집 없이 생태계의 정보만으로 환경 자체의 상태를 파악할 수 있는 방법을 제시한다.

References

[1] 양덕석, “서식환경변화가 조류상에 미치는 영향 연구: 시화호를 중심으로,” 이학박사, 상명대학교 일반대학원 환경자원학과, 2016.
 [2] 천영진, 조범준, 김태형, 조력 발전소 건설사업에 의한 해양 생물상 영향 사례 고찰 n.p.: 한국환경정책-평가연구원, 2011.
 [3] 채희원, 신정엽. 수도권 도시 공간의 사회적 다양성 변화 탐색. n.p.: 한국지리학회, 2015