

도시생태계건강평가의 한가지 방법

황철진, 조춘흥

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《사회가 발전하고 경제가 발전할수록 환경보호문제는 더욱더 중요한 문제로 나서게 됩니다.》(《김정일선집》 증보판 제22권 309페이지)

현시기 과학기술의 비약적인 발전으로 하여 사회경제발전속도가 빨라지고 인구가 급격히 늘어나는데 따라 여러가지 생태환경문제들이 날로 심각하게 제기되고있다.[2] 세계적으로 이러한 문제들을 해결하기 위한 시도가 많았는데 그 결과 생태환경의 새로운 연구분야인 생태계건강이라는 개념이 출현하게 되었다.[2]

본문에서는 생태환경평가에서 세계적추세로 되고있는 도시생태계건강평가방법과 연구지역의 생태건강수준에 대한 평가에 대하여 서술하였다.

1. 도시생태계건강평가방법

1) 도시생태계건강지표체계

일반적으로 생태계건강표준에는 생태계의 활력, 조직구조, 회복력, 생태계봉사기능의 유지, 선택관리, 외부류입감소와 린접계와 인간의 건강에 대한 영향 등이 있다.

본문에서는 도시생태계의 특징을 고려하여 활력, 조직구조, 회복력, 봉사기능, 인간의 건강의 5가지 요소를 가지고 도시생태계건강지표체계를 작성하였다.(표 1)

표 1. 도시생태계건강지표체계

인자	활력 (V)			조직구조 (O)			회복력 (R)			봉사기능 (S)			인간의 건강 (P)								
지표 류형	경 제 수준	경 제 효율	경 제 구조	사 회 구조	자 연 구조	정 화 력	투 자 력	생 활 질	환 경 질	인 체 건강	인 구 소질										
구 체 적 지 표	년 평 균	경 제 장 성 률	1 인 당 전 력 소 비	3 차 산 업 물 소 비	과 학 기 술 비 율	투 자 자 비 율	인 구 밀 도	로 령 인 구 비 율	식 물 피 복 률	1 인 당 평 균 도 시 면 적	생 활 오 수 치 리 른	환 경 보 호 투 자 비 율	만 명 당 병 원 침 대 수	전 화 보 급 률	대 기 오 염 지 수	수 역 환 경 구 역 평 균 값	1 인 당 평 균 수 명	전 염 병 발 생 른	만 명 당 대 학 졸 업 생 수	인 구 평 균	교 육 년 한
지 표 번 호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		

2) 주성분분석에 의한 무계결정

주성분분석에 의한 무계결수는 다음과 같이 결정한다.

$$W_i = \sum \left(L_{i,j} \cdot \beta_j / \sum_{j=1}^m \beta_j \right) \quad (1)$$

여기서 i 는 지표개수, m 은 주성분개수, W 는 무게, L 은 고유벡토르, β 는 주성분기여율이다. 얻어진 무게를 표준화한다.

$$\sum (W_i)^2 = 1 \quad (2)$$

3) 모호확률방법에 의한 평가

도시생태계건강평가에는 사회와 경제 등 많은 지표들이 리용되고 등급설정과 자료수집에서 모호성과 우연성이 존재하는데 우리는 모호확률에 기초한 평가방법을 리용하여 도시생태계건강상태에 대한 종합평가를 진행하였다. 즉 평가지표를 하나의 우연변량으로 보고 확률론적방법으로 통계를 진행하고 종속도를 리용하여 건강등급을 묘사하였으며 모호론리추리를 통하여 종합평가를 진행하였다.

먼저 매 건강성지표들이 각이한 건강등급에 놓이는 확률 $P'_{i,j}$ 와 각이한 건강등급에서의 평가지표의 평균값 $z_{i,j}$ 를 계산한다. 건강등급표준값 $A_{i,j}$ 가 이미 알려져있고 x_i 가 $A_{i,j-1}$ 과 $A_{i,j}$ 사이에 놓이는 관측값이 $L_{i,j}$ 개 있다면

$$L_{i,j} = \begin{cases} l_{i,1}(x_{i,k} \leq A_{i,1}) & (j=1) \\ l_{i,j}(A_{i,j-1} < x_{i,k} \leq A_{i,j}) & (j=2, 3, 4, k=1, 2, \dots, L) \\ l_{i,5}(x_{i,k} > A_{i,4}) & (j=5) \end{cases} \quad (3)$$

인데 이때 지표 i 가 $A_{i,j-1}$ 부터 $A_{i,j}$ 사이에 놓이는 관측값의 발생확률은

$$P'_{i,j} = L_{i,j} / L \quad (i=1, 2, \dots, 19, j=1, 2, \dots, 5) \quad (4)$$

다음 평균값이 매 건강등급에 예측되는 종속도 $r_{i,j}$ 를 계산한다.

지표 i 가 $A_{i,j-1}$ 부터 $A_{i,j}$ 사이에 놓이는 $L_{i,j}$ 개 관측값의 평균값이 $z_{i,j}$ 라면

$$z_{i,j} = \left(\sum_{k=1}^{L_{i,j}} x_{i,k} \right) \frac{1}{L_{i,j}} \quad (5)$$

여기서 $x_{i,k}$ 는 지표 i 가 $A_{i,j-1}$ 부터 $A_{i,j}$ 사이에 놓이는 $L_{i,j}$ 개 관측값의 k 번째 값이다.

따라서 지표 i 에 대해 $z_{i,j}$ 는 각각 $j-1, j, j+1$ 번째 등급의 건강성정도에 속한다. 즉 $z_{i,j}$ 의 $j-1, j, j+1$ 번째 건강등급에 대한 종속도는 다음과 같다.

$$\begin{cases} r_{i,j} = 1 & (0 < z_{i,j} \leq A_{i,j} \vee z_{i,j} \geq A_{i,j}) \\ r_{i,j+1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-(A_{i,j} - z_{i,j})^2/2) & (0 < z_{i,j} \leq A_{i,j} \vee z_{i,j} \geq A_{i,j}), (j=1) \\ r_{i,j} = r_{i,j+1} = 0 & (z_{i,j} = 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} r_{i,j-1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-(A_{i,j-1} - z_{i,j})^2/2) \\ r_{i,j} = 1 & (A_{i,j-1} < z_{i,j} \leq A_{i,j} \vee z_{i,j} \geq A_{i,j}), (j=2, 3, 4) \\ r_{i,j+1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-(A_{i,j} - z_{i,j})^2/2) \\ r_{i,j-1} = r_{i,j} = r_{i,j+1} = 0 & (z_{i,j} = 0) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} r_{i,j} = 1 & (0 < z_{i,j} \leq A_{i,j-1} \vee z_{i,j} \geq A_{i,j-1}) \\ r_{i,j-1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-(A_{i,j} - z_{i,j})^2/2) & (0 < z_{i,j} \leq A_{i,j-1} \vee z_{i,j} \geq A_{i,j-1}), (j=5) \\ r_{i,j} = r_{i,j-1} = 0 & (z_{i,j} = 0) \end{cases} \quad (8)$$

끝으로 모호확률론적방법으로 지표들에 대한 평가를 진행한다.

단순지표모호확률의 평가 우의 방법에 따라 지표 j 의 $z_{i,j}$ 들을 각각 구하고 $j-1, j, j+1$ 번째 등급건강의 종속도 $r_{i,j-1}, r_{i,j}, r_{i,j+1}$ 와 $A_{i,j-1}$ 부터 $A_{i,j}$ 사이에 놓이는 관측값들의 발생통계확률 $P'_{i,j}$ 를 얻어내면 모호확률적으로 지표 i 에 대한 단순지표평가를 진행할수 있다. 지표 i 의 매 등급건강발생모호확률은 다음과 같다.

$$\begin{cases} P_{i,j} = r_{i,j}P'_{i,j} + r_{i,j+1}P'_{i,j+1} & (i=1, 2, \dots, 19, j=1) \\ P_{i,j} = r_{i,j-1}P'_{i,j-1} + r_{i,j}P'_{i,j} + r_{i,j+1}P'_{i,j+1} & (i=1, 2, \dots, 19, j=2, 3, 4) \\ P_{i,j} = r_{i,j}P'_{i,j} + r_{i,j-1}P'_{i,j-1} & (i=1, 2, \dots, 19, j=5) \end{cases} \quad (9)$$

지표 i 가 각각 5개 등급건강을 발생시킬 확률은

$$P(i) = (P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,5}) \quad (10)$$

19개 평가지표의 단순지표모호확률평가행렬은

$$P_{19 \times 5} = \{P(i)\} = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,5} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,5} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{19,1} & P_{19,2} & \dots & P_{19,5} \end{bmatrix} \quad (11)$$

다중지표모호확률의 종합평가 이미 알려진 무게행렬 $A_{1 \times 19}$ 와 모호확률평가행렬 $P_{19 \times 5}$ 에 근거하여 19개 평가지표에 대한 종합평가를 진행하여 다중지표모호확률종합평가행렬을 얻는다.

$$P_{1 \times 5} = A_{1 \times 19} P_{19 \times 5} = \{P_1, P_2, \dots, P_5\} \quad (12)$$

2. 연구지역 생태계건강종합평가

본문에서는 국가환경기준값과 선행연구들[1-4]에서 리용한 국제적인 표준값들을 참고하여 5개 등급의 표준을 작성하였다.

단순지표모호확률평가결과는 표 2와 같다.

지표별 모호확률평가결과가 서로 일치하지 않으므로 다중지표평가방법으로 종합분석을 진행하였다.

연구지역의 건강상태에 대한 매 지표들의 영향수준을 객관적으로 반영하기 위하여 주성분분석(PCA)방법으로 지표들의 무게를 확정하고 식 (12)에 기초하여 다중지표모호확률종합평가를 진행하였는데 결과는 $P_{1 \times 5} = \{0.0009, 0.177, 0.453, 0.413, 0.149\}$ 이다.

표 2. 연구지역 건강상태에 대한 단순지표모호확률평가결과

등급지표	I	II	III	IV	V
년평균경제성장률	0.00	0.00	0.41	0.69	0.28
1인당전력소비	0.00	0.00	0.47	0.85	0.35
1인당물소비	0.00	0.03	0.31	0.59	0.07
3차산업비율	0.00	0.30	0.41	0.21	0.10
과학기술투자비율	0.00	0.17	0.28	0.45	0.17
인구밀도	0.00	0.12	0.32	0.54	0.59
로령인구비율	0.00	0.27	0.61	0.61	0.00
식물피복률	0.00	0.38	0.24	0.21	0.17
1인당평균도시면적	0.00	0.21	0.24	0.17	0.38
생활오수처리율	0.00	0.17	0.48	0.34	0.00
환경보호투자비율	0.00	0.39	0.64	0.44	0.00
만명당병원침대수	0.00	0.00	0.69	0.21	0.10
전화보급률	0.00	0.31	0.48	0.20	0.03
대기오염지수	0.12	0.19	0.45	0.59	0.34
구역환경소음평균값	0.00	0.17	0.38	0.34	0.21
1인당 평균수명	0.00	0.00	0.62	0.29	0.16
전염병리병률	0.00	0.00	0.35	0.49	0.59
만명당 대학졸업생수	0.00	0.00	0.14	0.76	0.10
인구평균교육년한	0.00	0.00	0.00	0.68	0.63

맺 는 말

연구지역은 병상태가 0.1%, 준병상태가 17.7%, 준건강상태가 45.3%, 건강상태가 41.3%, 14.9%로서 비교적 건강한 수준에 있다고 볼수 있다.

연구지역의 생태계건강평가결과를 통하여 전체 지역의 건강상태와 매 지표들의 건강상태를 구체적으로 파악할수 있으며 그에 의거하여 합리적인 도시생태환경을 조성할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 류호춘 등; 자연에서 건강을 찾자, 인민보건사, 12~56, 주체98(2009).
- [2] Fan Lu et al.; Ecological Modelling, 14, 3, 23, 2013.
- [3] 杨春周 等; 作战效能评估指标权重的确定, 北京国防大学出版社, 18~46, 2013.
- [4] 张远 等; 水资源保护, 17, 6, 34, 2012.

주체105(2016)년 9월 5일 원고접수

A Method for the Urban Ecosystem Health Assessment

Hwang Chol Jin, Jo Chun Hung

We proposed assessment model combining with the principal components analysis and fuzzy-probability method in order to avoid the subjective judgment and approach to the objective reality in the urban ecosystem health assessment and applied in the studying region.

Key words: ecosystem health, the principal components analysis, fuzzy-probability