

두만강류역습지생태계의 생태안정성평가

박금혁, 박성철, 김정철

습지는 산림, 바다와 함께 3대생태계류형의 하나로서 기후조절, 물조절, 생물지구화학적순환 등 각이한 생태기능을 가지고있으며 전지구적인 생태평형을 유지하는데서 중요한 작용을 한다.[1]

1990년대 세계 여러 나라들에서 파괴된 습지의 회복과 보호, 습지생물다양성의 유지 보호 등과 관련한 문제들에 대하여 연구되었으며 여러가지 문제들을 제기하였다.[2] 그러나 습지생태계의 생태안정성연구에서 생태안정성동태평가와 예측에 대한 연구는 비교적 적게 진행되었다.

본문에서는 두만강류역습지생태계의 지난 40년간(1976년—2015년) 생태안정성평가를 진행하고 그 원인에 대하여 서술하였다.

1. 습지생태계의 생태안정성평가를 위한 연구지역

두만강은 량강도 삼지연군 백두산남동쪽에 있는 무두봉의 북동쪽기슭에서 시작하여 북동방향으로 흐르다가 온성부근에서 흐름방향을 남동방향으로 바꾸어 조선동해에로 흘러든다. 강의 전체 길이는 547.8km, 류역면적은 32 920km²이며 우리 나라 령역에 속하는 류역면적은 10 565.0km²로서 전체 류역면적의 약 32%이다.

우리 나라에서의 두만강류역은 백두산줄기와 함경산줄기에 의해 경계지어진다. 두만강류역에는 길이가 5km이상 되는 하천이 280여개나 있으며 대표적인 지류로는 서두수, 연면수, 성천수, 오룡천 등이 있다.

두만강류역은 우리 나라에서 강수량이 적은 지역의 하나로서 류역년평균강수량은 641.5mm정도이며 강수의 대부분은 7~8월에 내린다. 류역년평균증발량은 241.5mm이다.

2. 습지생태계의 생태안정성평가를 위한 연구방법

두만강류역습지분류에 대한 선행연구[2]들에 기초하여 연구지역의 습지류형을 크게 자연습지와 인공습지로 설정하였다. 자연습지로는 강하천, 자연호, 늪을 설정하였고 인공습지로는 논과 인공호를 설정하였다.

먼저 선행연구들[1, 3]에 기초하여 지표체계를 표 1과 같이 세우고 지표들의 무게값들을 결정하였다.

평가지표들은 다음과 같이 계산한다.

① 인구밀도(A)

$$A=a/K$$

여기서 a 는 연구지역의 인구수, K 는 연구지역의 총면적이다.

표 1. 지표체계 및 무게값[2]

지표체계		무게값
P(압력)	인구밀도	0.069
	간접지수	0.139
	경관다양성 지수	0.048
	륵곽평균면적	0.166
S(상태)	수문조절지수	0.025
	산림피복률	0.243
	생태탄성도 지수	0.125
	균일도지수	0.054
R(반응)	분산도지수	0.033
	습지퇴화지수	0.098

② 간접지수

론문에서는 건설용지, 주민지, 공업용지 등의 면적값을 리용하였다.

③ 경관다양성지수(SHDI)

$$SHDI = \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

여기서 P_i 는 i 류형 습지생태계가 전체 습지생태계에서 차지하는 면적비율, n 은 연구지역에서 습지류형의 개수이다.

④ 륵곽평균면적(MPS)

$$MPS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{N_i}$$

여기서 K_i 는 i 류형 습지의 면적, N_i 는 i 류형 습지의 개수, n 은 연구지역에서 습지류형의 개수이다.

⑤ 수문조절지수(B)

$$B=R/G$$

여기서 R 는 하천의 총면적, G 는 습지의 총면적이다.

⑥ 산림피복률(L)

$$L=W_d/K$$

여기서 W_d 는 산림의 총면적, K 는 연구지역의 총면적이다.

⑦ 생태탄성도지수(F)

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{K_i F_i}{K}$$

여기서 K_i 는 i 류형 습지의 면적, F_i 는 i 류형 습지의 탄성도값(하천인 경우 0.8, 호수인 경우 0.7, 늪인 경우 0.6, 논인 경우 0.5, 인공호인 경우 0.4[2]), K 는 연구지역의 총면적, n 은 연구지역에서 습지류형의 개수이다.

⑧ 균일도지수(SHEI)

$$SHEI = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i}{\log_2 n}$$

여기서 P_i 는 i 류형 습지생태계가 전체 습지생태계에서 차지하는 면적비율, n 은 연구지역에서 습지류형의 개수이다.

⑨ 분산도지수(C)

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

여기서 N_i 는 i 류형 습지의 개수, A_i 는 i 류형 습지의 면적, n 은 연구지역에서 습지류형의 개수이다.

⑩ 습지퇴화지수(D)

$$D=e/G$$

여기서 e 는 줄어든 습지면적, G 는 본래습지의 총면적이다.

다음 지표값들에 대한 표준화를 진행하였다. 습지생태계의 생태안정성에 미치는 매개 지표들의 영향정도가 차이나므로 지표값의 증가에 따라 생태안정성이 증가하는 부류의 지표와 감소하는 부류의 지표로 나누는데 생태안정성이 증가하는 부류의 지표에는 립박 평균면적, 수문조절지수, 산림피복률, 생태탄성도지수가 속하며 감소하는 부류의 지표에는 인구밀도, 간섭지수, 경관다양성지수, 균일도지수, 분산도지수, 습지퇴화지수가 속한다.

관측값들에 대한 표준화를 다음의 두가지 경우로 갈라 진행하였다.

첫째로, 1976년-2014년에 생태안정성이 증가하는 부류에 속하는 지표들에 대하여 최대값이 측정되었을 때 습지생태안정에 미치는 영향에서 가장 좋은 경우 관측값을 1로 보고 다음식을 리용하여 매개 관측년도의 관측값이 습지생태안정에 미치는 영향정도를 고려하였다.

$$P_i = x_i / x_{i, \max}$$

여기서 P_i 는 i 류형 습지생태계에 대한 표준화값, x_i 는 i 류형 습지생태계에 대한 관측값, $x_{i, \max}$ 는 연구기간 i 류형 습지생태계에 대한 최대관측값이다.

둘째로, 1976년-2014년에 생태안정성이 감소하는 부류에 속하는 지표들에 대하여 최대값이 측정되었을 때 습지생태안정에 미치는 영향에서 가장 나쁜 경우의 관측값을 0으로 보고 다음식을 리용하여 매개 관측년도의 관측값이 습지생태안정에 미치는 영향정도를 고려하였다.

$$P_i = 1 - \frac{x_i}{x_{i, \max}}$$

다음 지표값들에 대한 표준화를 진행한데 기초하여 습지생태계의 생태안정성평가를 다음식을 리용하여 진행하였다.

$$I = \sum_{i=1}^n W_i P_i$$

여기서 I 는 연구지역 습지생태계의 생태안정성평가지수, W_i 는 매개 평가지표의 무게값, P_i 는 표준화한 값, n 은 연구지역에서 습지류형의 개수이다.

3. 결과 및 분석

론문에서는 1976, 1986, 1995, 2006, 2014년의 두만강류역에 대한 위성화상자료에 기초하여 습지류형들의 면적에 대한 정보를 추출하고 습지생태계의 생태안정성평가를 위한 지표값과 생태안정성평가지수값을 결정하였다.(표 2, 3)

표 3에서 보는바와 같이 1976년-2014년기간 두만강류역습지생태안정성평가값은 점차 작아진다.

1976년-2014년에 두만강류역습지생태안정성평가값이 점차 작아진 원인은 다음과 같다.

우선 연구지역에서의 강수량변화와 밀접히 관련된다. 연구기간 두만강류역의 강수량

변화를 보면 1995년까지는 약간 증가하며 그 이후부터는 감소하는 경향성을 띠고있다.(그림)

두만강류역에서 강수량의 이와 같은 변화는 자연습지류형인 하천면적을 감소시키게 한 주요한 요인으로 된다.

표 2. 두만강류역습지생태계의 생태안정성평가를 위한 지표값

지표	1976년	1986년	1995년	2006년	2014년
인구밀도/(명·km ⁻²)	85.266	88.397	98.71	95.85	99.245
간접지수/km ²	50.5	58.41	74.91	82.57	84.58
경관다양성지수	1.545 1	1.672 2	1.784	1.778 4	1.765 6
툰곽평균면적/km ²	0.770 1	0.608 6	0.598	0.520 5	0.504 1
수문조절지수	0.595 4	0.515 2	0.439	0.382	0.379 2
산림피복률/%	0.797 4	0.765 1	0.726 9	0.629 8	0.566 3
생태탄성도지수	0.697 4	0.670 36	0.647	0.632 3	0.594
균일도지수	0.665 4	0.720 2	0.768	0.765 9	0.759
분산도지수	1.298 5	1.643 2	1.673	1.921 2	1.983 6
습지퇴화지수	0.035 7	0.008 8	0.000 3	0.087 9	0.018 9

표 3. 두만강류역습지생태계의 생태안정성평가지수값

지표	W_i	P				
		1976년	1986년	1995년	2006년	2014년
인구밀도	0.069	0.140 9	0.109 3	0.005 4	0.034 2	0
간접지수	0.139	0.402 9	0.309 4	0.114 3	0.023 8	0
경관다양성지수	0.048	0.133 9	0.062 7	0	0.003 1	0.010 3
툰곽평균면적	0.166	1	0.790 3	0.776 5	0.675 9	0.654 6
수문조절지수	0.025	1	0.865 3	0.737 3	0.641 6	0.636 9
산림피복률	0.243	1	0.959 5	0.911 6	0.789 8	0.710 2
생태탄성도지수	0.125	1	0.961 2	0.927 7	0.906 7	0.851 7
균일도지수	0.054	0.133 6	0.062 2	0	0.002 7	0.011 7
분산도지수	0.033	0.345 4	0.171 6	0.156 6	0.031 5	0
습지퇴화지수	0.098	0.593 9	0.899 9	0.996 6	0	0.785
생태안정성평가지수값		0.708	0.656 9	0.603 9	0.440 5	0.481 7

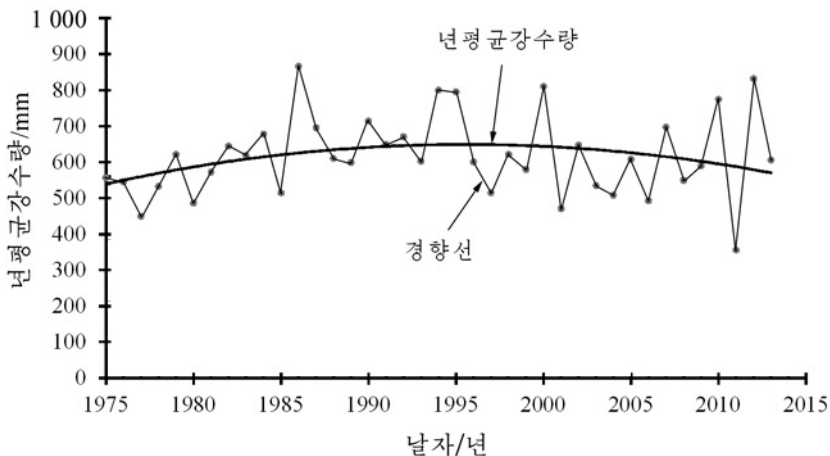


그림. 1976년—2014년의 강수량변화

또한 산림피복률이 낮아지면서(표 3) 산림의 수원함양기능이 약화된것과도 관련된다. 이러한 원인으로 하여 1976~2014년에 두만강류역에서 습지류형들의 면적변화를 보면 자연습지인 강하천과 늪의 면적은 1976년에 비하여 2014년에 각각 43.48, 35.89% 감소하였으며 인공호의 면적은 76.52% 증가하였다. 그리고 이 기간 인공습지류형인 논면적이 지속적으로 증가(49.76%)하였으며 자연습지류형인 자연호의 면적은 약간 감소(2.36%)하였다.

이와 같은 결과는 두만강류역에서 파괴된 산림생태계를 회복하여 습지생태계에 대한 물공급능력을 높여 습지생태계의 생태안정성을 높여나가야 한다는것을 보여준다.

맺 는 말

PSR모형에 기초하여 지난 40년간 두만강류역습지생태계의 생태안정성평가를 진행하고 그 변화원인을 밝혔다.

지난 40년간 두만강류역에서 습지생태계의 생태안정성은 크게 감소하였다. 그 원인은 연구지역에서 강수량과 산림피복면적이 줄어든데 있다. 그러므로 연구지역에서 습지생태계의 생태안정성을 회복하기 위하여서는 산림생태계를 회복하여 수원함양기능을 높여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Ping Zuo et al.; Estuaries and Coasts, 36, 390, 2013.
- [2] 王治良 等; 中国生态农业学报, 15, 6, 152, 2007.
- [3] 户超 等; 水资源保护, 28, 4, 24, 2012.

주체107(2018)년 4월 5일 원고접수

The Ecological Stability Evaluation of the Wetland Ecosystem in the Tuman River Basin

Pak Kum Hyok, Pak Song Chol and Kil Jong Chol

The wetland ecosystem, like the forest and the ocean, is one of three major branches of the global ecosystem and plays an important role in global ecological equilibrium.

By using PSR model, we have evaluated the ecological stability in the wetland ecosystem and elucidated its variation reason in the Tuman River basin.

To recover the ecological stability of the wetland ecosystem, we should increase the watershed protective ability of forest by recovering its surface.

Key words: ecological stability, wetland ecosystem, Tuman river basin