한국환경농학회지 제22권 제2호 (2003)
Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 22, No. 2, pp. 100-110

만경강 상류 수질 및 식생분포와 토양환경에 따른 하천식생의 종 다양성

이경보* · 김창환[1] · 이덕배 · 김종구 · 박찬원 · 나승용
호남농업시험장 식물환경과*, 익산대학 녹지조경학과[1]
(2003년 1월 17일 접수, 2003년 4월 22일 수리)

Species Diversity of Riparian Vegetation by Soil Chemical Properties and Water Quality in the Upper Stream of Mankyeong River

Kyeong-Bo Lee*, Chang-Hwan Kim[1], Deog-Bae Lee, Jong-Gu Kim, Chan-Won Park and Seoung-Yong Na (National Honam Agricultural Exp. Station RDA, Iksan 570-080, Korea, [1]Department of Forest Landscape Architecture, Iksan National College, Iksan 570-752, Korea)

ABSTRACT : This study was conducted to evaluate influence of chemical properties in the riparian on the species diversity and to get plant information for enhancement of natural purification in Mankyeong River. The concentration of total nitrogen was high in Jeonju and Sam stream, while that of total nitrogen showed the highest peak in Winter. Concentrations of NH_4-N was 0.01~0.06 mg/L in Gosan and Soyang stream. The water quality of upstream along with Mankyeong River was suitable for the irrigation source. The riparian vegetation was investigated by Zurich-Montpellier school's method from June, 2001 to September, 2002. The number of riparian plants were 59 families, 129 genera, 165 species, 20 varieties in Gosancheon, on the while 53 families, 111 genera, 141 species, 19 varieties in Soyangcheon. The number of riparian plants in Hari basin was higher than that of other sites namely, 73 families, 134 genera, 218 species, 33 varieties. Riparian vegetation was consisted of 12 plant communities.The contents of organic matter, total nitrogen and electrical conductivity had negative relationship with species diversity (Species richness index, Heterogeneity index, Species evenness index, Species number). On the while, species diversity had positive relationship with soil pH. Species diversity of the plant communities were affected by topography and disturbance.

Key words: riparian vegetation, soil factor, species diversity, Mankyeong river.

서 론

하천은 옛부터 인간들에게 매우 친숙한 공간이었고 또한 인간들의 일상생활에 수많은 혜택을 부여해준 자연자원의 보고로서 잠재력을 지니고 있는 하나의 생태계로서의 위치를 점하여 왔다. 하천이 갖는 환경적 특징은 물이 흐르고 있다는 점인데 이렇게 특수한 환경으로 인하여 하천 환경이 갖는 절대적인 가치를 무시하면서 인간들의 생활이나 자신을 보존하기 위한 치수, 이수를 지향하는데 최대한의 노력을 경주해 왔다. 하천은 인간을 위한 특정한 장소가 아니라 다양한 생물이 서식하는 장소로서의 하나의 특별한 생태계이다. 하천이 하나의 생태계라는 점에서 하천 환경의 보전은 하천을 서식의 장소로 하는 수많은 생물들에게는 하천생태계를 보전의 차원에서 관리해 주는 것은 매우 중요한 일이라 하겠다. 현재 대부분 하천에서는 도시의 확대와 보의 건설로 인하여 유량과 유속의 변화가 가속화되어 하천의 자연스러운 흐름이 제약받고 있으며 특히 오염된 오수들의 유입이 늘어나고 있다. 이들 오수의 유입은 토양오염을 가중시켜 하천 생태계를 변화시키고 나아가서는 생물의 서식환경을 위협하고 있어 사회적 문제를 야기 시키기도 한다[1,2].

최근에 하천에 대한 사회적 관심이 집중되면서 하천의 특성과 생태계의 구조, 하천의 생태적 위치, 하천 생물의 다양성등이 문제로 대두되고 있다. 오늘날 인간간섭 및 생태계 교란이 집중되는 하천은 생물 종 다양성 감소와 생태계 기능교란 및 구조 변형이 매우 심각하게 진행되고 있다[3]. 하천이라는 하나의 지형적 특성과 환경변수에 따른 종의 다양성 변화는 하천 생태계의 구조와 기능에 관련된 고유특성에 대한 통합된 결과로서 생태계의 다양성을 조사하고 다양성의 차이에 영향을 미치는 요인을 결정하는 것은 하천생태계의 특징을 알수 있는 중요한 일이다[4].

하천 식물의 종 다양성과 하천식생에 영향을 미치는 요인

*연락저자:
Tel: +82-63-840-2262 Fax: +82-63-840-2118
E-mail: lee1214@rda.go.kr

으로는 수심 등의 물리성이나 pH, 염분함량, 부영양화의 화학성이 직접적으로 관계하며 유수의 변동, 유속 등도 하천 식생 및 식물 종 다양성에 영향을 미친다[5]. 또 다른 환경요인으로서 토양의 특성은 식물군락의 종 다양성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며[4,6-9], 또한 토양 요인이 식물 다양성에 미치는 요인을 파악하기 위해서는 보다 많은 연구가 요구되나, 국내하천에서의 식물 종 다양성에 관련된 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 전라북도 만경강 일대에서 하천 식생의 종다양성을 연구하기 위하여 4종류의 다양성지수[종의 풍부도지수(SR), 종의 이질성지수(H'), 종의 균등도지수(J'), 종수(SN)]를 산출하였으며, 토양요인, 군락 우점종의 종류에 따른 종다양성의 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

조사지 개황

연구대상지역(Fig. 1)은 전라북도 만경강 일부 지역으로 하천 대부분은 개수사업에 의하여 정비되어진 곳이다. 소양천, 고산천은 행정구역상으로 완주군에 위치한 곳이며, 만경강 하리 일대는 인공하천 식생에서 서서히 자연하천 식생유형으로 천이되고 있는 곳이며 전주천, 삼천은 전주시를 관통하는 하천이다.

만경강 유역 일대의 지형적 특성은 해발고도 100 m 이하가 총 유역면적 면적의 62.8%이며, 유역의 유출에 영향을 주는 유역의 경사는 10%이하가 53.5%로 완만하다. 최근 10년간의 기상적 특성을 보면 만경강 상류지역의 연평균 기온은 14.6℃, 연평균 강수량은 1,573 mm로 대부분의 연 강우는 6월~9월의 4개월에 집중되는 하계 다우형에 속한다. 연평균 습도는 70~78%, 증발량은 1,053~1,181 mm 이며 겨울에는 북서풍, 여름에는 남서풍이 불며 강수일수는 평균 121일, 결빙일수는 평균 104일, 적설일수는 평균 23일로 나타났다. 하천의 수질, 토양, 식생 등에 영향을 미치는 상류지역 및 지류일대의 평균 인구밀도는 679.24(명/km^2)로 전라북도 평균의 2.7배로 조사대상지역에 인구가 집중적으로 분포하고 있음을 알 수 있다.

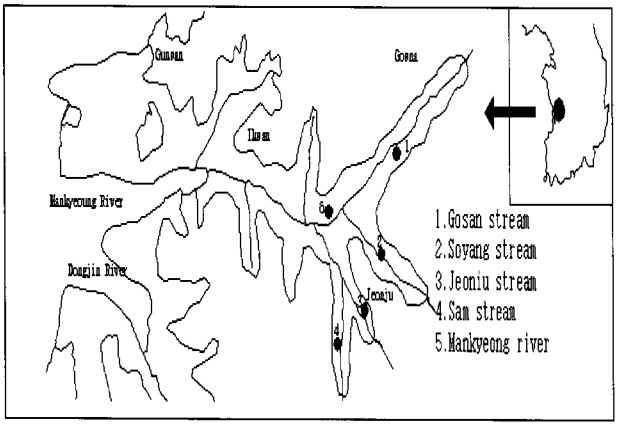

Fig. 1. Location map of sampling sites in Mankyeong river.

조사지점 및 수질분석 방법

2001년 6월부터 2002년 9월 사이에 전라북도 소재 만경강 하천 식생에 대하여 5개 조사지역을 선정하여 조사하였다(Fig. 1). 수질시료는 계절별로 수면으로부터 약 15 cm 밑에서 1 L 용량의 폴리에틸렌 채수통에 시료를 채취한 후 얼음 상자에 넣어 운반하였다. 수질분석 방법은 환경부 수질오염공정 시험법에 의하여 실시하였으며, pH는 초자전극법(Orion EA940), EC는 Conductivity meter(YSI 132), Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}등 양이온은 ICP(Varian Liverty 110)를 이용하여 분석하였고 T-N과 T-P는 흡광도법으로, NH_4-N은 Indophenol, NO_3-N은 혼합산성 시약법, Cl^{-}은 티오시안산 제 2수은법, SO_4^{2-}는 $BaCl_2$ 비탁법, BOD_5는 윙클라-아지드화 나트륨변법으로 측정하였다[10,11].

식생 조사 및 토양분석

식생조사는 국립지리원 발행 1:25,000 지형도와 1:5,000의 지형도를 참고하여 조사 대상지 전지역에 방형구를 무작위적으로 2×2 m, 5×5 m의 크기로 설치한 후 Braun-Blanquet[12]의 우점도와 군도에 의한 전추정법에 의하여 식생을 조사하였다. 식생조사자료를 이용하여 식물군락을 분류하였으며, 조사지역에 대한 현존식생도를 작성하였다. 식물군락을 식물사회학적 방법[12]에 따라 분류한 후 각 식물 군락에서 식물 종 다양성을 분석하였다. 각 식물 종에 대한 우점도 값을 산출한 후 Margalef[13]의 종 풍부도지수(SR), Shannon & Wiener[14]의 종 이질성지수(H'), 종 균등도 지수(J)와 같은 3종류의 다양성 지수를 분석하였다. 한편 종수(SN)는 각 조사구에서 출현한 종의 수로 계산하였다[2].

토양분석을 위해 각 조사지점에서 식생군락의 토양을 채취한 후 음건하여 2 mm체를 통과한 시료를 분석에 사용하였으며, 토양 pH는 초자전극법, 양이온은 1 N-NH_4OAC (pH 7.0)으로 추출하여 ICP로, 유기물 함량은 Tyurin법, T-N은 Kjeldahl 법, 인산은 Lancaster법으로 분석하였다[10].

결과 및 고찰

계절별 수질변화

Table 1은 만경강 상류유역의 계절별 수질 오염성분 함량 변화를 나타낸 것이다. pH는 6.75~8.45 범위로 계절별로 커다란 차이를 보이고 있다. 특히 pH변화는 여름철에 가장 커다란 변화를 보였는데 이는 강우에 의한 영향이 컸던 것으로 생각된다. 지점별 T-N의 농도는 전주천과 삼천에서 높았으며, 겨울철에 전주천에서 7.45 mg/L로 가장 높았다. 이는 농업용수 수질기준인 1 mg/L을 초과한 농도로 이와 같은 원인은 도시생활하수 영향이 컸던 것으로 해석되며, Lee 등[15]이 제시한 결과와도 일치한 경향이었다.

무기태 질소 성분별 함량은 NH_4-N 경우 고산천과 소양천 유역은 0.01~0.06 mg/L 범위로 계절별 커다란 차이가 없는 낮은 농도를 나타냈으나, 생활하수가 유입되는 전주천과 삼천에서는 0.77~3.01 mg/L로 계절별로 큰 차이를 보였다. 이 지

Table 1. Seasonal variations of water quality from upstream along with Mankyeong River

Season	Sites	pH	EC (μs/cm)	BOD	T-N	T-P	NH_4-N	NO_3-N	SO_4
				mg/L					
Spring	Gosan stream	7.52	89	0.92	2.50	0.05	0.09	1.85	12.12
	Soyang stream	7.33	335	2.01	4.71	0.02	0.05	4.13	20.91
	Jeonju stream	7.56	194	2.98	4.02	0.22	1.47	0.22	21.27
	Sam stream	7.43	272	7.65	4.77	0.32	2.02	0.32	26.64
	M.R. upstream	7.45	179	0.95	0.87	0.05	0.05	0.83	19.21
Summer	Gosan stream	6.75	67	1.26	2.51	0.03	0.08	2.00	6.49
	Soyang stream	6.78	250	0.90	5.56	0.03	0.12	3.90	41.58
	Jeonju stream	7.79	208	2.78	5.35	0.27	0.77	3.24	25.97
	Sam stream	8.45	193	2.07	6.27	0.37	1.11	2.23	21.25
	M.R. upstream	7.19	149	1.40	3.20	0.04	0.11	2.16	17.14
Autumn	Gosan stream	7.56	105	1.39	3.89	0.06	0.01	0.88	7.82
	Soyang stream	7.32	331	1.89	3.54	0.08	0.01	0.53	21.03
	Jeonju stream	7.18	374	3.92	6.24	0.89	3.01	1.40	42.08
	Sam stream	7.89	274	2.01	5.49	0.07	0.61	1.88	17.35
	M.R. upstream	7.42	213	2.02	4.37	0.01	0.12	3.24	24.71
Winter	Gosan stream	6.96	89	2.14	1.19	0.01	0.26	1.42	9.93
	Soyang stream	6.70	362	1.72	3.89	0.01	0.02	3.54	47.67
	Jeonju stream	7.63	469	2.32	7.45	0.63	1.96	3.07	43.62
	Sam stream	7.52	449	5.40	5.68	0.29	0.25	3.24	28.99
	M.R. upstream	6.99	448	2.57	4.04	0.32	0.09	3.44	26.48

M.R. upstream : Confluent site of Soyang and Gosan stream.

역에서 NH_4-N의 농도가 계절별로 차이가 컸던 원인은 생활하수의 영향이 컸던 것으로 생각된다. 계절별 NO_3-N 농도변화도 NH_4-N과 비슷한 양상을 나타내었다.

T-P의 농도는 계절별로 비슷하였으나 전주천에서 겨울철에 0.89 mg/L로 가장 높았다. 한편 계절별 BOD의 농도는 고산천과 소양천 유역에서 0.92~2.14 mg/L로 Ⅰ~Ⅱ급수 수질를 나타내었으나 생활하수가 유입되는 유역에서는 2.01~7.65 mg/L범위를 보였다.

SO_4^{2-}의 농도는 농업용수 수질기준인 50 mg/L를 초과하는 지역은 없었으며 소양천에서 다소 높았다.

식물군락

만경강 고산천 일대의 식생분포

만경강의 상류에 해당하는 고산천 일대 하천환경의 특징은 유속이 다소 빠른 지역으로서 반자연 또는 자연에 가까운 하천 형태로서 여름철 집중호우와 봄·가을의 갈수기의 뚜렷한 계절적 현상으로 인하여 유로의 형태와 하천의 생태계가 자주 바뀌는 양상을 보이고 있었다. 이지역의 하천식생은 하천 유역에 광범위하게 발달된 추수식물인 달뿌리풀군락에 의해 우점되어 있으나 일부 하안에 고마리군락이나 경작 주변의 나대지에는 교란지 식생도 분포하고 있었다.

달뿌리풀군락은 이 지역에 광범위하게 군락을 형성하고 있었으며 이곳의 달뿌리풀군락은 하천식생의 순군락을 이루고 있을 정도로 넓게 퍼져 있었다. 달뿌리풀군락의 수반종은

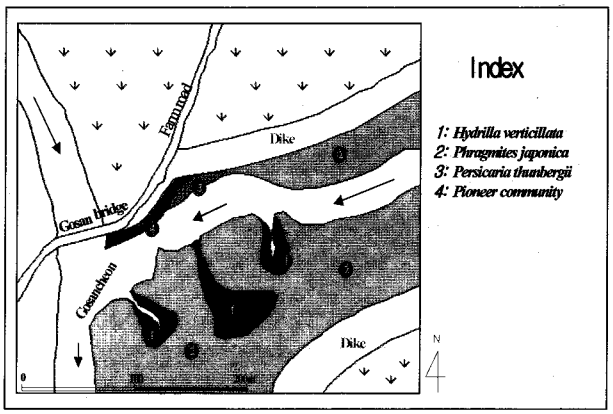

Fig. 2. A map of plants vegetation in the Gosancheon basin.

고마리, 며느리배꼽, 쑥, 삿갓사초, 개발나물, 미국가막사리 등이나 매우 적은 개체가 군락의 가장자리에서 출현하고 있는 정도였다. 고마리군락은 유속이 비교적 빠른 유로의 가장자리에서 군락을 형성하고 있었으며, 이 군락의 종조성적 특징은 고마리를 우점종으로 하여 습생식물인 미꾸리낚시, 조개풀, 기장대풀 등이 관찰되었다. 수생침수식물인 검정말군락은 하안의 침식에 의해 만곡된 곳과 비교적 유속이 빠르지 않은 하안에서 군락을 형성하고 있었다. 한편 이지역 일대에서 조사된 경작지 및 나대지의 식물상을 보면 바랭이, 강아지풀, 차풀, 환삼덩굴, 매듭풀, 애기땅빈대, 왕바랭이, 명아주, 방동사니, 망초, 개망초, 돼지풀, 달맞이꽃, 미국개기장, 쑥, 석류풀

Table 2. Classification of life form of the vegetation in Gosancheon basin

Life form		Family	Genera	Species	Sub-species	Variety	Total
Aquatic plant	Submerged	5	5	9	·	·	9
	Floating leaf	3	3	4	·	·	4
	Suspended	1	2	2	·	·	2
	Emerged	7	11	15	·	3	18
Hydrophyte		11	23	34	·	·	34
Waterside		32	84	101	·	17	118
Total		59	129	165	·	20	185

Table 3. Classification of life form of the vegetation in Soyangcheon basin

Life form		Family	Genera	Species	Sub-species	Variety	Total
Aquatic plant	Submerged	·	·	·	·	·	·
	Floating leaf	·	·	·	·	·	·
	Suspended	1	1	1	·	·	1
	Emerged	4	8	8	·	·	8
Hydrophyte		11	17	22	·	1	23
Waterside		37	85	110	·	18	128
Total		53	111	141	·	19	160

등 식생천이의 선구식물들과 교란지식생 종들도 출현하고 있었다. 이 곳의 하천식생의 현존식생도는 Fig. 2와 같다.

만경강 지류인 고산천에서는 59과 129속 165종 20변종으로 총 185종류의 식물이 조사되었다. 식물의 생활형에 따라 분류하면 Table 2와 같이 침수식물이 9종, 부엽식물이 4종, 부유식물이 2종, 추수식물이 18, 습생식물이 34종류가 조사되어 전체 조사된 185종 중 수생식물과 습생식물은 67종류, 36.2%가 조사되었다.

만경강 소양천 일대의 식생분포

소양천은 만경강의 상류하천으로서 비교적 반자연하천에 근접한 하천이다. 이곳의 하천 환경은 하천의 수심이 깊지 않으나 유속이 빨라 하천생태계는 유수작용에 의해 영향을 받고 있으며 여름철 강우시 침식에 의해서 형성된 자갈과 모래에 의하여 퇴적된 곳에서 비교적 넓게 식물이 군락을 이루고 있었다. 이 지역 일대의 하천식생의 식물군락은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 달뿌리풀군락에 의하여 우점된 곳이 많으나 교란지와 도로, 농경지 부근에서는 환삼덩굴군락이 분포하며 호안을 따라 고마리군락이 patch상으로 군락을 이루고 있었다.

이지역 습생지 대부분은 달뿌리풀군락에 의하여 우점되어 있었으며 수반종은 고마리, 갯버들, 왕씀바귀, 돼지풀, 쑥, 유채, 소리쟁이, 미국가막사리, 달맞이꽃 등이 매우 낮은 우점도를 보이며 자라고 있었다. 고마리군락은 유수의 흐름이 있는 호안의 가장자리와 습생지역 일대에서 순군락을 형성하고 있었으며, 고마리군락의 배후 군락구성종은 달뿌리풀, 환삼덩굴, 소리쟁이, 미국가막사리, 왕버들, 버드나무, 개갓냉이, 여뀌, 바랭이, 닭의장풀, 며느리배꼽 등이었다. 환삼덩굴군락은 자갈이

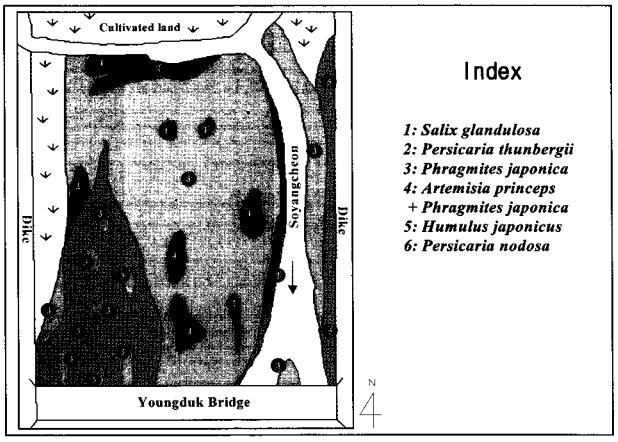

Fig. 3. A map of plants vegetation in the Soyangcheon basin.

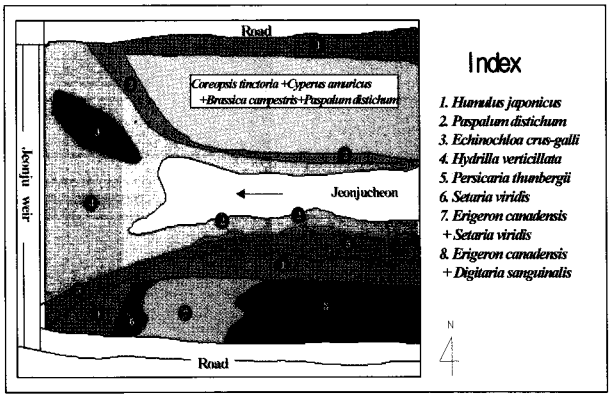

Fig. 4. A map of plants vegetation in the Jeonjucheon basin.

쌓인 교란지, 도로부근, 경작지, 제방사면에서 군락을 이루고 있었다. 결과적으로 이지역 일대는 하천 호안 가장자리의 고마리군락, 하천의 습생지 및 저니토가 형성된 곳의 달뿌리풀군락, 교란지의 환삼덩굴, 나대지의 강아지풀군락으로 크게 대별되어졌다.

만경강 상류인 소양천에서 조사된 식물은 53과 111속 141종 19변종으로 총 160종이었다. 식물 생활형에 따라 분류하면 부유식물이 1종, 추수식물이 8종, 습생식물이 23종, 수변식물이 128종이었다(Table 3).

만경강 전주천 일대의 식생분포

조사지점은 전주천 하류로서 전형적인 인공직강하천이다. 이 지역의 하천식생은 고수부지의 교란지 식생인 망초, 환삼덩굴군락과 습생지 및 인공호안의 저니토가 퇴적된 곳에서 서식하는 고마리, 털물참새피, 물피군락, 침수식물인 검정말군락 그리고 고수부지의 습한 곳의 방동사니군락으로 총 7개군락으로 구분되어졌다.

검정말군락은 저니토가 형성된 호안 주변과 보가 만들어진 바로 위쪽의 유속이 정체된 천수대에서 주로 발견되었다. 고마리군락은 호안 가장자리의 습생지에서 털물참새피군락은 호안을 따라 저니토가 형성된 곳에서 파상으로 자라고 있었다. 물피군락은 소규모의 군락을 이루고 있었으며, 방동사니

군락은 고수부지의 저습한 곳에서 군락을 이루고 있었다. 망초군락은 고수부지와 경작지주변의 교란지에서 군락을 이루고 있었고 환삼덩굴군락 경작지와 제방 사면에서 집중적으로 군락을 이루고 있었다. 전주천 조사지역 일대는 전형적인 도시인공직강하천으로서 식생은 단조로우며 교란지 식생이 비교적 풍부하게 발달하고 있었으며, 현존 식생도는 Fig. 4와 같다. 전주천 하류에서 조사된 식물은 37과 68속 86종 15변종으로 총 103종이었으며, 식물의 생활형에 따라 분류하면 침수식물이 4종, 추수식물이 6종, 수생식물이 10종, 습생식물이 14종 조사되었다.

만경강 삼천 일대의 식생분포

이 지역은 인공적으로 조성된 도시직강하천으로서 하천생태계는 대부분이 나대지 식생의 식물군락과 교란지식생의 식물군락으로 분포되어 있었다. 조사된 식물군락은 털물참새피군락, 강아지풀군락, 자귀풀-망초군락 등 3개군락이 조사되었다. 털물참새피군락은 인공호안의 가장자리 저습지에서 주로 군락을 이루고 있었고 강아지풀군락과 자귀풀+망초군락은 고수부지상에서 patch상으로 군락을 이루고 있었다. 조사지역 일대의 현존식생도는 Fig. 5와 같으며, 조사된 식물은 32과 92속 110종 18변종으로 총 128종류가 조사되었다.

만경강 하리유역 식생분포

이지역은 고산천과 소양천 합류지점으로 조사지역중 가장 하천식생이 발달한 곳이었다. 이곳의 하천환경은 하천유역이 넓고 하천 수역내에 유거된 토사가 수면위로 노출되어 있는 삼각주 형태의 지점들이 많아 습생지 식물, 수생식물, 나대지 식물 등 많은 식물종과 다양한 식물군락이 분포하고 있었다. 하천식생의 식물군락은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 나사말군락, 나사말-노랑어리연꽃군락, 검정말군락, 마름군락, 마름+어리연꽃군락, 어리연꽃군락, 송이고랭이군락, 부들군락, 부들-고마리군락, 고마리군락, 갈대군락, 털물참새피군락 등 총 12개 군락이 관찰되었다.

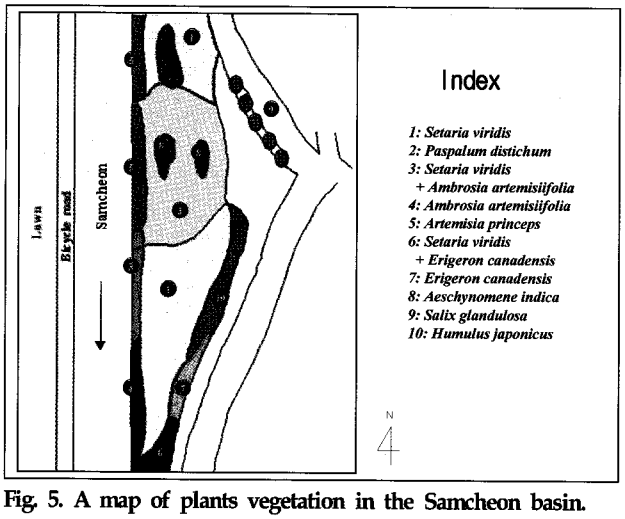

Fig. 5. A map of plants vegetation in the Samcheon basin.

나사말군락은 수생식물중 침수식물로서 이지역에서는 하안 부근의 천수대와 수역내 식생에 의하여 하천의 형태가 변형된 수로에서 집중적으로 군락을 이루고 있었고, 나사말-노랑어리연꽃군락은 물의 흐름이 매우 느린 곳에서 군락을 형성하고 있거나 추수식물인 갈대, 부들, 줄 등에 의하여 주변이 둘러싸여 있는 곳에서 분포하고 있었다. 검정말군락은 수심이 얕은 수로와 유속이 완만하거나 정체된 곳에서 주로 서식하고 있었고, 마름군락은 노랑어리연꽃, 왜개연꽃, 어리연꽃 등과 혼생하여 자라고 있었다. 어리연꽃군락은 물의 유속이 정체된 곳과 하안의 가장자리에서 주로 군락을 이루며, 이 지역 일대의 우점도가 매우 높은 종 중의 하나였다. 송이고랭이군락은 줄, 부들, 갈대등이 혼생하는 곳의 저니토가 형성된 하안과 하도(河島)의 가장자리에서 산재되어 군락을 이루고 있었고, 부들군락은 하도(河島)와 저니토층이 퇴적된 곳 등 비교적 여러곳에서 산재하고 있었다. 고마리군락은 하안의 습지와 수역의 천수대에 형성된 저니토가 발달한 지역에서 주로 군락을 이루며 배후에는 줄, 갈대군락이 분포하고 있었다. 갈대군락은 육역의 저지대습지, 저니토가 퇴적된곳, 수역에 형성된 하도(河島)등에 광범위하게 분포하고 있었으며, 털물참새피군락은 귀화식물군락으로서 저습지, 천수대등 매우 광범위하게 군락을 형성하고 있는 대표적인 이지역 하천식물군락중 하나였다. 이 지역 일대의 하천 식생은 하천유역 면적과 하천형태 등이 하천식생 발달을 유도하여 매우 다양한 하천식물종의 서식과 군락발달을 형성시켜 다양한 식생대를 만들어 만경강 전 지역에서 가장 훌륭한 하천 생태계를 유지하고 있다고 생각된다.

만경강 본류인 하리유역에서 조사된 식물은 73과 134속 218종 33변종으로 총 251종류가 조사되었다. 식물의 생활형에 따라 분류하면 Table 4와 같이 침수식물이 13종, 부엽식물이 5종, 부유식물이 2종, 추수식물이 26종, 수생식물이 46종, 습생식물이 47종류가 조사되어 전체 조사된 251종류 중 수생식물과 습생식물은 93종류, 37.0%가 조사되었다.

토양환경에 따른 종 다양성

식생은 토양을 토대로 생활의 터를 넓혀 나가며 토양의

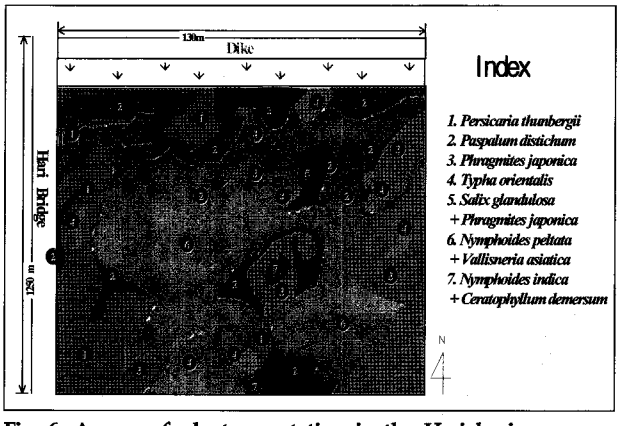

Fig. 6. A map of plants vegetation in the Hari basin.

Table 4. Classification of life form of the vegetation in Hari basin

Life form		Family	Genera	Species	Sub-species	Variety	Total
Aquatic plant	Submerged	6	7	12	·	1	13
	Floating leaf	3	4	5	·	·	5
	Suspended	1	2	2	·	·	2
	Emerged	8	16	20	·	6	26
Hydrophyte		13	29	45	·	2	47
Waterside		42	105	134	·	24	158
Total		73	134	218	·	33	251

특성에 따라 종 조성과 분포도 그리고 종 다양성이 달라지고 주변 환경도 바뀌게 된다. 특히 하천 토양은 기후, 지형, 식생, 시간, 수질, 인위적 간섭 등의 총체적인 산물로서 구성된 것이기 때문에 토양환경을 조사하면 그 지역의 식생의 특성을 이해할 수 있다. 하천 토양요인에 따른 종 다양성 분석을 위해 pH, EC, 유기물 함량, T-N, P_2O_5 등의 성분을 이용하였다.

Fig. 7은 pH와 4종류의 종 다양성 지수인 종수(SN), 종의 풍부도지수(SR), 종의 이질성 지수(H'), 종의 균등도지수(J')와의 관계를 나타낸 것이다. pH가 높을수록 4종류의 종 다양성 지수는 높아서 정의 상관관계를 나타내고 있다.

하천의 수질 및 식생에 큰 영향을 미치고 있는 EC의 경우 pH와는 반대로 EC가 높을수록 종수(SN), 종의 풍부도지수(SR), 종의 이질성지수(H'), 종의 균등도지수(J')가 낮은 값을 나타내고 있어 부의 상관관계를 보이고 있다. 또한 유기물 함량(OM)과 전질소(T-N)의 경우도 4종류의 다양성지수와의 관계에서 부의 상관관계를 나타내고 있어 EC와 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나 EC의 경우 조사된 군락들이 비교적 낮은 값에서 집중되어 있으며, 전 질소(T-N)의 경우도 종 다양성의 차이가 뚜렷하게 증가하거나 감소하지 않았다. 한편 인산(P_2O_5)은 4종류의 다양성 지수의 변화에 별다른 영향을 미치지 못했다(Fig. 8~11).

일반적으로 토양의 산성화 및 토양의 양분함량 등 토양의 화학적 성질의 변화 및 특성의 차이는 식물 종 다양성에 영향을 주며[16-18], pH가 5이하로 떨어지는 산성 상태에서는 식물이 적응하기 힘든 상태가 되어[19], 종 다양성을 떨어뜨릴 수가 있다. 또한 하천의 자정작용에 pH가 크게 관련되어 있기 때문에[20], 하천 식생의 종 분포에 pH가 큰 영향을 줄 것으로 보인다. 오대산 삼림 식생[21]과 장안산의 삼림식생[2] 조사에서

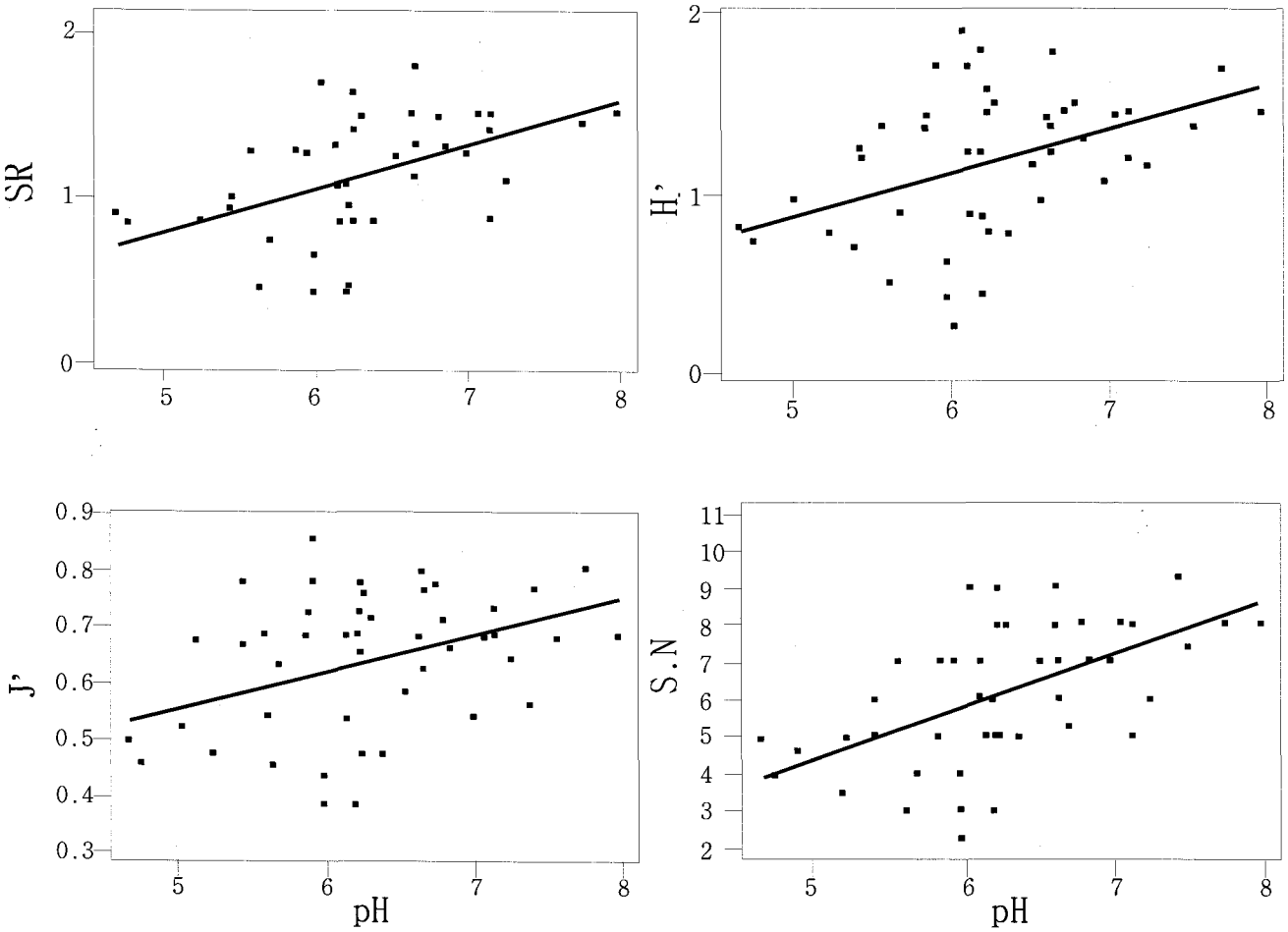

Fig 7. Relationship between species diversity and soil pH in Mankyeong river. SR=-0.561183+0.270010 pH(r=0.208**), H'=-0.306262 +0.237446 pH(r=0.157**), J'=0.223273+0.0672778 pH (r=0.106*), S.N =-2.74301+1.419383 pH(r=0.237**).

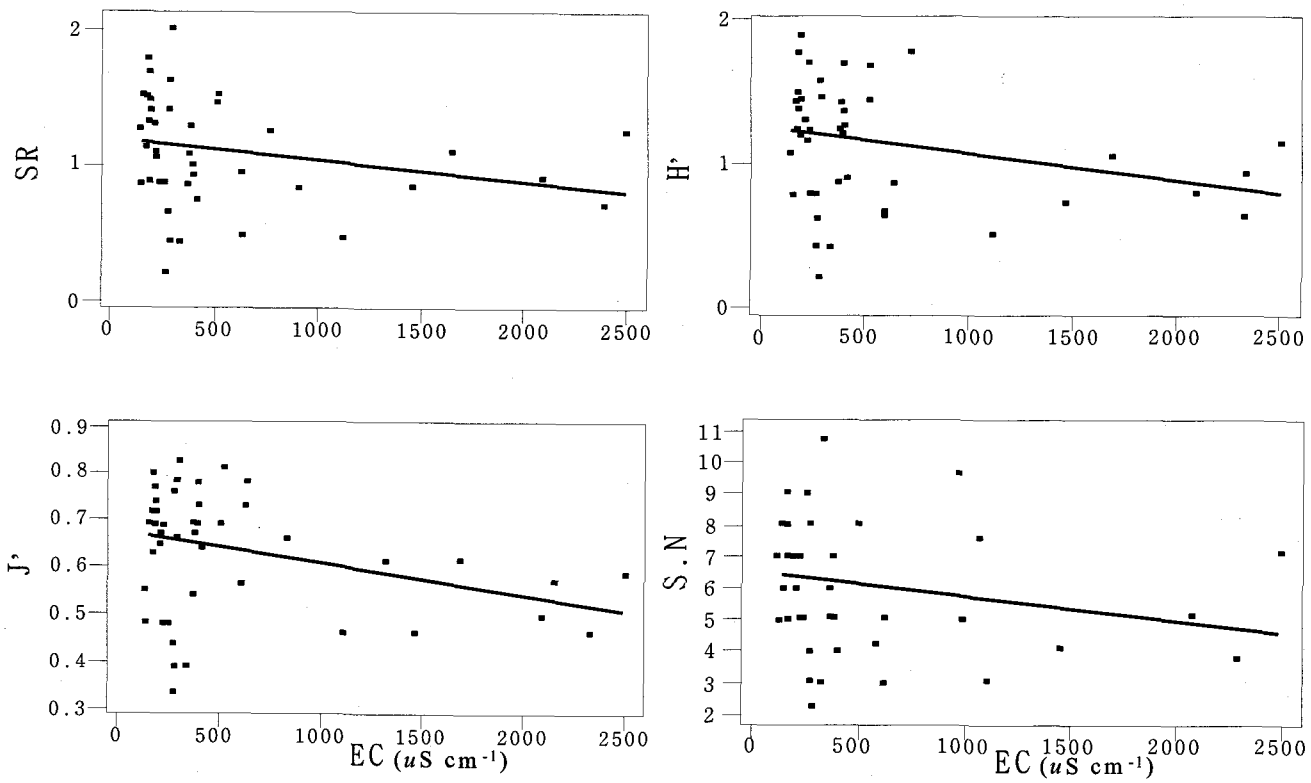

Fig. 8. Relationship between species diversity and soil EC in Mankyeong river. SR=1.19753-0.0001531 EC(r=0.033), H'=1.25940-0.0001793 EC(r=0.044), J'=0.673007-0.0000652 EC(r=0.049), S.N =6.50947-0.0008219 EC(r=0.039).

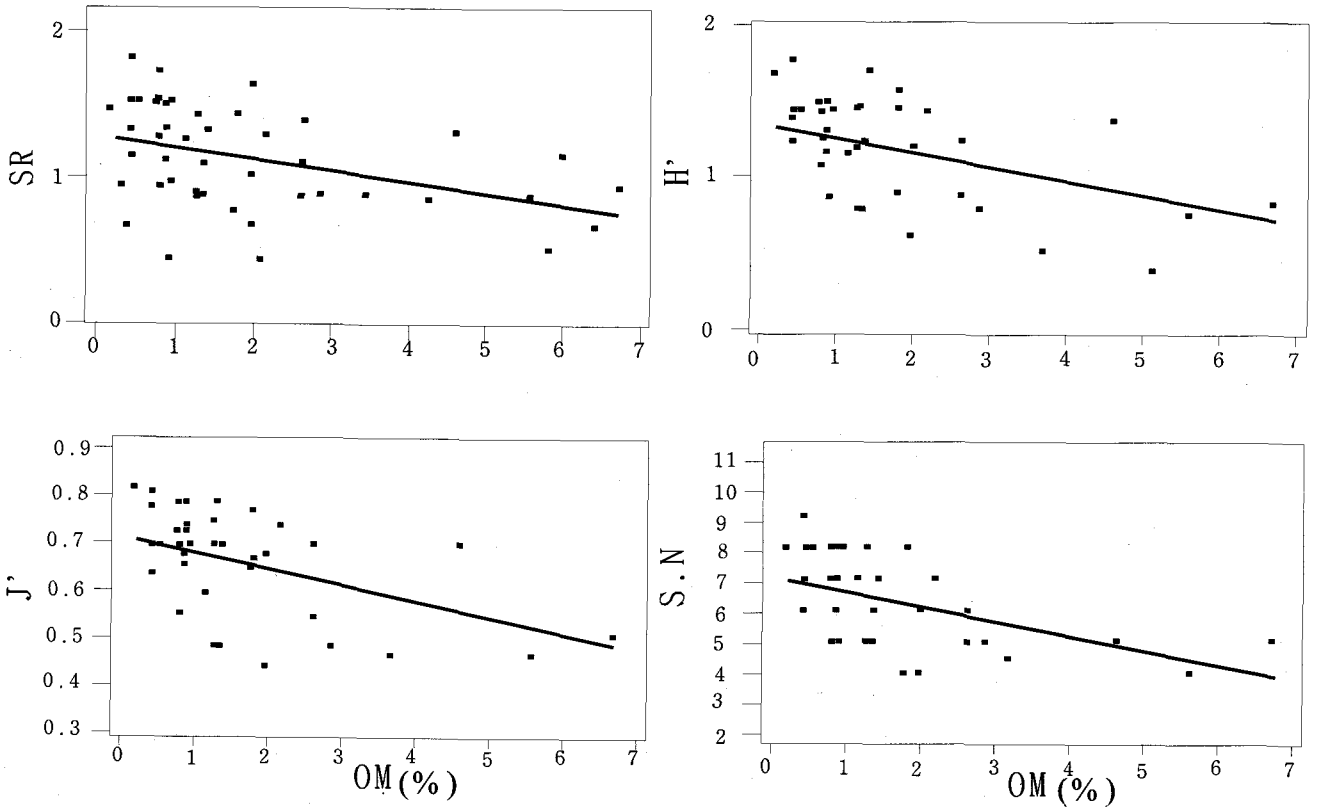

Fig. 9. Relationship between species diversity and soil OM in Mankyeong river. SR=1.26905-0.0779438 OM(r=0.073), H'=1.34788-0.0939857 OM(r=0.103*), J'=0.703792-0.0333744 OM(r=0.110*), S.N =6.98234-0.469149 OM(r=0.108*).

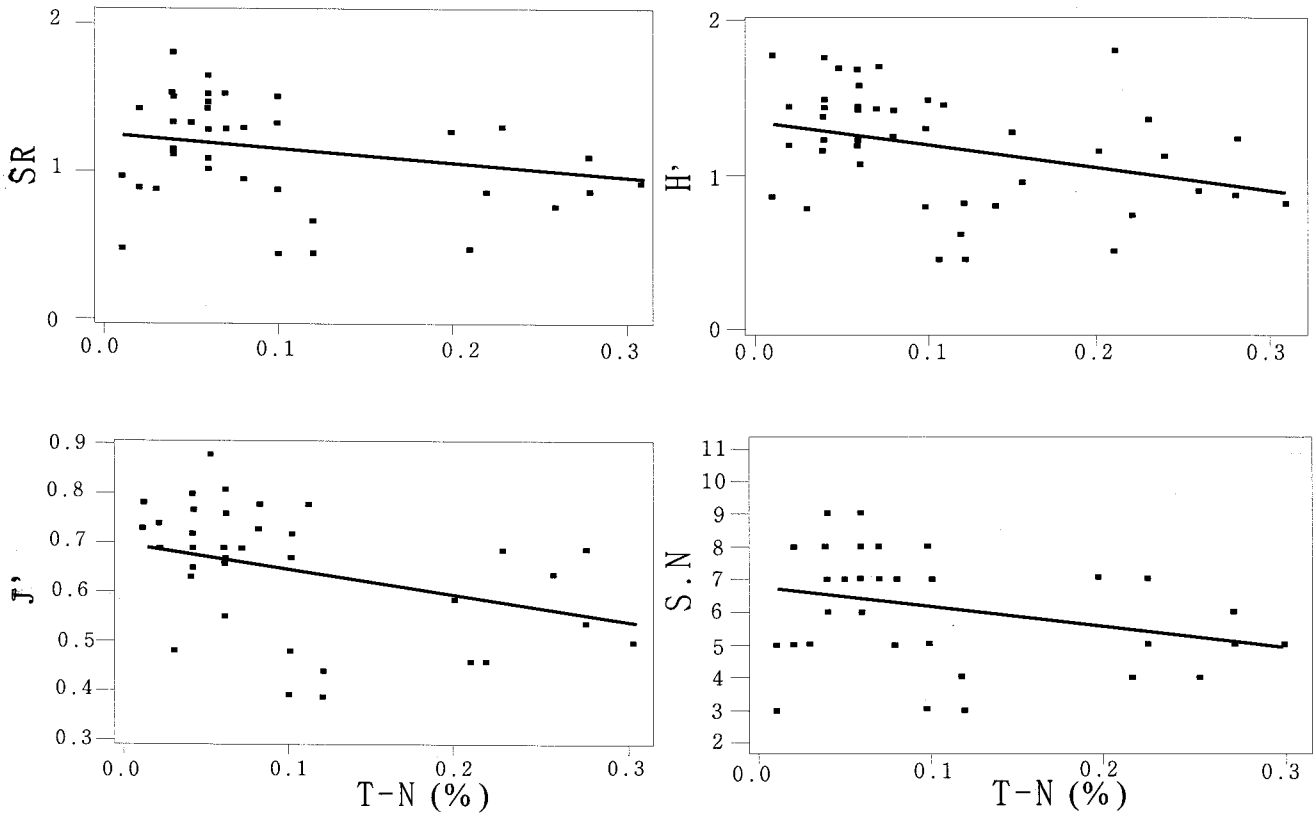

Fig. 10. Relationship between species diversity and soil T-N in Mankyeong river. SR=1.23542-0.986606 T-N(r=0.04), H'=1.33734-1.47671 T-N(r=0.088), J'=0.697038-0.495577 T-N(r=0.084), S.N =6.78582-5.99480 T-N(r=0.061)

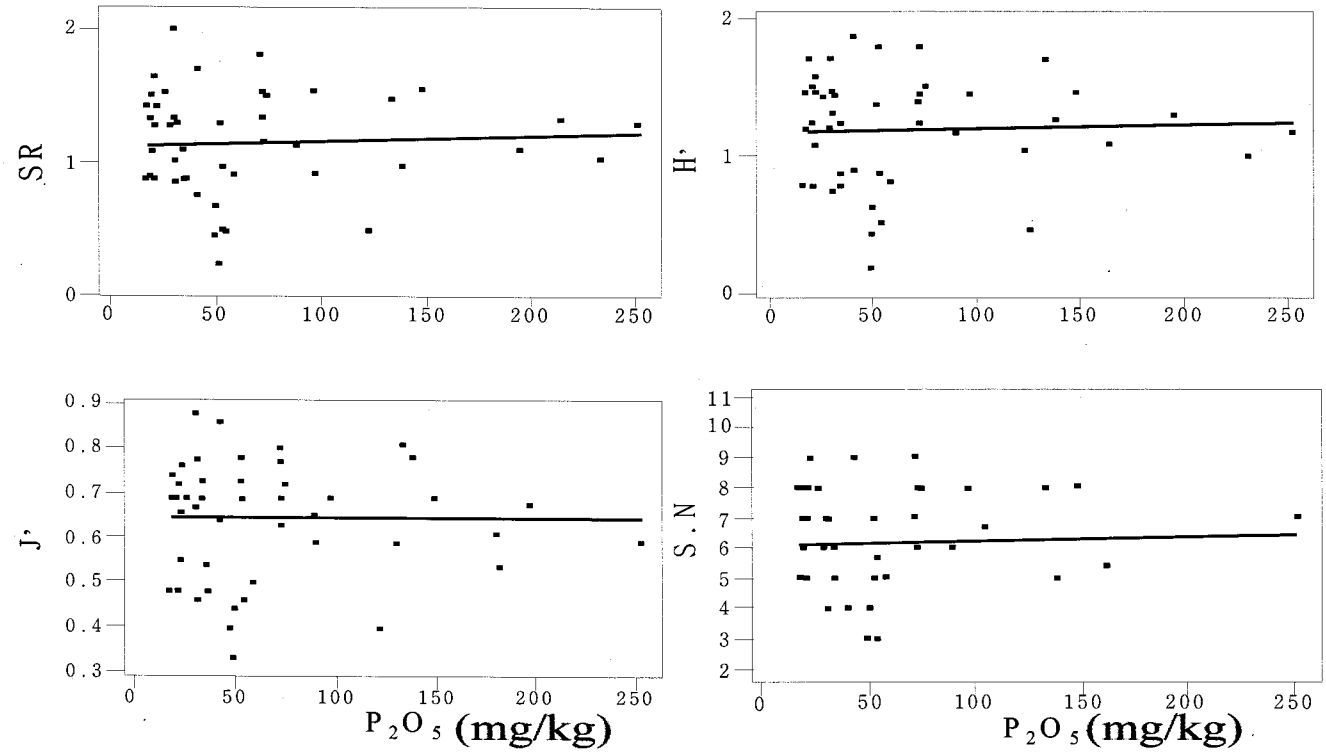

Fig. 11. Relationship between species diversity and soil P_2O_5 in Mankyeong river. SR=1.11501+0.0003053 P_2O_5(r=0.001), H'=1.17346+0.0001678 P_2O_5(r=0.001), J'=0.645494-0.0000047 P_2O_5(r=0.001), S.N =6.09117+0.0012011 P_2O_5(r=0.001)

pH가 높을수록 종의 풍부도지수, 종의 이질성지수, 종의 균등도지수가 증가한다고 하였는데 이러한 연구 결과도 하천식생의 pH에 따른 종 다양성의 상관관계에 대한 결과와 일치한다. 그러나 질소함량과 유기물 함량의 증가는 식물 종 다양성을 감소시키는 반면, 생물량은 증가시키기 때문에 특정 종에 대한 우점도는 증가하며 종의 다양성은 떨어진다는 선행연구[22,23]와 같은 경향이었다.

식물 군락에 따른 종다양성

식물 군락에 따른 종다양성을 조사하기 위해 대표군락인 추수식물 6개 군락, 침수식물 2개 군락, 부엽식물 2개 군락 등 수생식물 10개 군락과 고마리 군락, 환삼덩굴군락 등 습생식물 2개 군락 총12개 군락을 선정 평가하였다. 12개 군락별 다양성 지수를 Table 5에서 보는바와 같이 종의 풍부도지수(SR), 종의 이질성지수(H′), 종수(SN)는 어리연꽃-노랑어리연꽃군락, 나사말군락, 갈대군락, 부들군락, 물피군락 순으로 높았으며, 검정말군락, 줄군락, 달뿌리풀군락이 낮았다. 고마리군락, 환삼덩굴군락, 마름군락, 털물참새피군락은 중간 값의 지수를 보였다.

종의 균등성지수 역시 다른 다양성 지수와 거의 같은 경향을 보여 어리연꽃-노랑어리연꽃군락, 나사말군락, 부들군락에서 높았으며, 줄군락, 달뿌리풀군락, 물피군락에서 낮았다. 조사지역에서 검정말군락, 줄군락, 달뿌리풀군락의 종다양성 지수가 낮게 나타난 것은 이들 군락이 Patch상의 소규모 총상으로 군락을 형성하고 있거나 지하경이 발달하여 주변 다른 식물들의 침입을 허용하지 않아 극히 소수의 종으로 군락을 이루고 있기 때문인 것으로 생각된다. 털물참새피군락, 마름군락은 이들 우점종에 의하여 매우 강하게 군락을 이루고 있으나 군락의 가장자리에서 소수의 다른 종들이 군락의 동반종으로서 종 조성을 이루고 있어 종의 다양도 지수가 다소 높게 나타났으며, 습생식물 군락인 고마리군락은 하천식생에서 수생식물군락과 수변식물군락의 경계부에서 주로 분포하여 종의 다양성지수가 다소 높게 나타난 것으로 보인다. 교란지 군락인 환삼덩굴군락은 교란에 의한 다른 종의 침입으로

Table 5. Species diversity of the 12 vegetation communities

Items	A (5)	B (5)	C (4)	D (3)	E (2)	F (5)	G (5)	H (3)	I (5)	J (3)	K (5)	L (5)
SR	1.29±0.23	0.80±0.50	0.88±0.04	1.29±0.05	1.26±0	1.05±0.32	0.80±0.36	1.42±0.28	1.08±0.15	1.64±0.32	1.17±0.51	1.15±0.27
H′	1.36±0.12	0.73±0.44	0.78±0.05	1.43±0.09	1.15±0	1.06±0.34	1.15±0.56	1.45±0.31	1.23±0.20	1.45±0.28	1.18±0.58	1.18±0.24
J′	0.69±0.03	0.47±0.13	0.48±0.03	0.73±0.04	0.59±0	0.61±0.15	0.70±0.16	0.69±0.20	0.69±0.05	0.66±0.14	0.62±0.2	0.64±0.07
S.N	6±1.41	4.67±2.34	4.5±0.71	7±0	7±0	5.75±1.50	4.40±1.67	8±1.50	6±1.00	9±0.50	6.4±2.41	6.25±1.26

Note: SR=Species richness index, H′=Shannon Wiener diversity index, J′=Evenness index, S.N=Species Number.
Communities: A, *Phragmites communis;* B, *Phragmites japonica;* C, *Zizania latifolia;* D, *Typha orientalis;* E, *Echinochloa crus-galli;* F, *Pasplum distichum* var. *indutum;* G, *Hydrilla verticillata;* H, *Vallisneria asiatica;* I, *Trapa japonica;* J, *Nymphoides indica-Nymphoides peltata;* K: *Persicaria thunbergii;* L, *Humulus japonicus.*
( ) : No of vegetation communities.

Table 6. Species diversity of vegetation on soil chemical properties in the 12 communities

Items	A (5)	B (5)	C (4)	D (3)	E (2)	F (5)	G (5)	H (3)	I (5)	J (3)	K (5)	L (5)
pH	5.70±0.21	6.24±0.44	4.71±0.06	5.85±0	6.51±0.50	6.49±1.06	5.96±0.29	7.12±0.50	6.12±0.30	6.72±0.03	6.21±0.66	6.65±0.57
EC	392±213	2500±350	1777±449	393±0	237±64	320±161	598±334	184±19	218±45	280±51	231±62	278±110
OM	4.63±0	1.58±0.60	6.17±0.79	2.18±0	1.16±0.38	0.98±0.42	1.74±1.15	1.28±0.52	1.38±0.40	1.81±0.05	1.43±0.89	1.77±0.99
T-N	0.23±0	0.10±0.03	0.27±0.06	0.08±0	0.20±0.05	0.05±0.02	0.11±0.12	0.02±0.00	0.06±0.20	0.06±0	0.11±0.06	0.12±0.13
P_2O_5	52.8±0	41.3±13.0	45.3±19.3	32.4±0	253.1±25.0	81.6±72.1	44.6±14.7	18.7±5.50	21.1±2.30	23.0±0	51.2±41.9	64.1±34.0

Communities: A, *Phragmites communis;* B, *Phragmites japonica;* C, *Zizania latifolia;* D, *Typha orientalis;* E, *Echinochloa crus-galli;* F, *Pasplum distichum* var. *indutum;* G, *Hydrilla verticillata;* H, *Vallisneria asiatica;* I, *Trapa japonica;* J, *Nymphoides indica-Nymphoides peltata;* K,*Persicaria thunbergii;* L, *Humulus japonicu.*
( ) : No of vegetation communities.

종 다양성이 비교적 높았다. 어리연꽃+노랑어리연꽃군락과 나사말군락은 마름군락 등 다른 부엽식물군락 보다 개체 분포 밀도가 낮고 수심이 낮은 곳에서 주로 군락을 이루고 있는 결과로 인하여 다소 종다양성 지수가 높게 나타난 것으로 추정된다.

Table 6은 하천토양의 화학적 특성에 따라 종 다양성을 나타낸 표로서 나사말군락, 어리연꽃+노랑어리연꽃군락지 토양은 pH가 높고 유기물함량(OM), 전질소(T-N), 인산(P_2O_5)등이 낮아 대체적으로 다양성지수가 높아지게 영향을 미친 것으로 보인다. 일반적으로 토양중 질소, 인산, 유기물 함량이 높아지면 식물 종 다양성을 감소시키는 반면 생물량은 증가시켜 특정종에 대한 우점도가 크게 높아진다[22,23].

또한 EC가 다른 군락에 비해 높게 나타난 달뿌리풀군락과 줄군락이 가장 낮은 종 다양성 지수를 보이고 있어 EC가 종 다양성에 어느 정도 영향을 미친 것으로 해석되며, 이들 지역에서의 식물 군락의 종 다양성은 식물의 분포 양상, 지형적 특성, 교란의 정도, 토양의 화학적 성질이 영향을 미친 것으로 보인다.

요 약

만경강 상류유역 수질 및 하천식생 군락 변화를 조사 분석하여 수질에 따른 하천식생의 종 다양성 및 토양요인에 따른 종 다양성의 변화를 평가하기 위하여 2001년 6월부터 2002년 9월까지 만경강 상류유역 5개 조사지점을 선정한 후 조사를 실시하였다.

수질중 T-N의 농도는 전주천과 삼천에서 높았으며, 겨울철에 전주천에서 7.45 mg/L로 가장 높았다. 무기태 질소 성분별 함량은 NH_4-N 경우 고산천과 소양천 유역은 0.01~0.06 mg/L 범위로 계절별 커다란 차이가 없는 낮은 농도를 나타냈으나, 생활하수가 유입되는 전주천과 삼천에서는 0.77~3.01 mg/L로 계절별로 큰 차이를 보였다. T-P의 농도는 계절별로 비슷하였으나 전주천에서 겨울철에 0.89 mg/L로 가장 높았다. 계절별 BOD의 농도는 고산천과 소양천 유역에서 0.92~2.14 mg/L를 나타내었으나 생활하수가 유입되는 유역에서는 2.01~7.65 mg/L범위를 보였다. SO_4^{2-}의 농도는 농업용수 수질기준인 50 mg/L를 초과하는 지역은 없었으며 소양천에서 다소 높았다.

만경강 지류인 고산천에서 조사된 식물은 59과 129속 165종 20변종으로 총 185종류가 조사되었으며, 소양천에서 조사된 식물은 53과 111속 141종 19변종으로 총 160종이었고, 전주천 하류에서 조사된 식물은 37과 68속 86종 15변종으로 총 103종이었다. 그리고 삼천에서 조사된 식물은 32과 92속 110종 18변종으로 총 128종류가 조사되었으며, 만경강 본류인 하리유역에서 조사된 식물은 73과 134속 218종 33변종으로 총 251종류가 조사되었는데 식물의 생활형에 따라 분류하면 침수식물이 13종, 부엽식물이 5종, 부유식물이 2종, 추수식물이 26종, 수생식물이 46종, 습생식물이 47종으로 조사지점중 이 지역의 식생이 가장 다양하였다.

식물사회학적 방법에 따라 분류된 하천식생의 식물군락은 10개의 수생식물 군락과 2개의 습생 및 수변식물 군락으로 대별되어졌다. 이들 군락들에 대한 4종류(종수, 종의 풍부도지수, 종의 이질성지수, 종의 균등도지수)의 종 다양성과 토양요인(pH, EC, 유기물 함량, 전질소, 인산)과의 관계를 분석한 결과 pH가 높을수록 4종류의 종 다양성 지수는 높아 졌으며, EC는 값이 높을수록 종수(SN), 종의 풍부도지수(SR), 종의 이질성지수(H'), 종의 균등도지수(J')가 낮아 졌다.또한 유기물 함량(OM)과 전질소(T-N)의 경우도 4종류의 다양성지수와는 부의 상관관계를 나타내었다. 인산(P_2O_5)은 4종류의 다양성 지수의 변화에 영향을 미치지 않았다.

참 고 문 헌

1. Kim, C. H. and Kil B. S. (1996) Species diversity of forest vegetation in Togyusan national park, Korea, *Kor. J. Eco. Soc.* 19, 223-230.
2. Kim, C. H., Myung H. and Shin B. C. (1999) The species diversity of forest vegetation in Mt. Jangan, *Kor. J. Eco. Soc.* 13, 271-289.
3. Primack, R. B. (1995) A primer biology, Sunder land, Massachusetts, U.S.A.
4. Rey Benayas, J. M. and Scheiner S. M. (1993) Diversity pattern of wet meadows along geochemical gradients in central Spain, *J. Veg. Sci.* 1, 103-108.
5. Institute of Stream Mana. (1995) The survey method of stream vegetation for stream management, *Cor. of Stream Environ Mana. Japan* 519p.
6. Monk, C. D. (1967) Tree species Diversity in the eastern deciduous forest with particularity to north central Florida, *Am.* 101, 173-187.
7. Proctor, J. (1971) The plant ecology of serpentine, *J. Ecol.* 59, 827-842.
8. Wilson, J. B., Lee W. G. and Mark A. F. (1990) Species diversity in relation to ultramafic substrate and to altitude in southwestern New Zealand, *Vegetation* 86, 15-20.
9. Yim, Y. J and Lee J. H. (1991) On the dominance diversity in the forest vegetation of Mt. Halla national park, *Kor. J. Eco. Soc.* 3, 257-271.
10. Institute of Agri. Tech. (1988) The analysis method of soil chemistry, *RDA.*
11. Ministry of Environ. (2000) The standard method of water analysis.
12. Braun-Blanquet, J. (1964) Pflanzensoziologie, *Springer-Verlag*, Wien, 865p.

13. Margalef, P. R. (1972) An upper limit to diversity in Evelyn Hutchinson, *Trans. Connet. Acad. Arts Sci.* 83, 97-110.
14. Shannon, C. E. and Wiener, W. (1949) The Mathematical Theory of Communication, Illinois Univ. Press, *Urbana.* 117p.
15. Lee K. B., Lee D. B., Lee S. B. and Kim J. D. (1999) Change in agricultural irrigation water quality in Mankyeong River, *Kor. J. Environ. Agri.* 18(1), 6-10.
16. Bell, N. (1994) The ecological effects of increased aerial deposition of reserve sulfur and soluble sulfates in soil, *Proc. of Soil Sci. Soci. of Am.* 24, 265-268.
17. Jakucs, P. (1991) Eutrophication in forest ecosystems, In G. Esser and D. Overdieck(eds.), Modern ecology: basic and applied aspects, *Elsevier, New York.* 9, 571-578.
18. Nagy, M. and Nagy J. (1981) Diversity of help layer of black locust forest, *Acta Biol. Debrecina.* 18, 15-20.
19. Lee U. J. (1999) The effects of water purification of aquatic plants in a waterway, A thesis for the degree of Master, Hanyang university, Seoul, Korea. p.1-61.
20. Mo H. J. (1998) The water purification rates according to growth of aquatic plants in a waterway. A thesis for the degree of Master, Kosin university Pusan, Korea.
21. Byun D. W., Lee H. J. and Kim C. H. (1998) Vegetation pattern and successional sere in the forest of Mt. Odae, *Kor. J. Eco. Soc.* 21, 283-290.
22. Mun, H. T. and Hitford W. G. (1989) Effects of nitrogen amendment on annual plants in the desert, *Plant and Soil* 120-231.
23. Mun H. T., Pyo J. H. and Kim J. H. (1998) Chemical properties of soils in the vicinity of Yochon industrial complex, *Kor. J. Eco. Soc.* 21, 1-6.