

서낙동강 유역 하천의 식생 분포특성과 영양염류 정화 수생식물 탐색

김춘송* · 고지연 · 이재생 · 황재복 · 박성태 · 강항원¹⁾

작물과학원 영남농업연구소, ¹⁾농촌진흥청
(2006년 6월 5일 접수, 2006년 6월 23일 수리)

Screening of Nutrient Removal Hydrophyte and Distribution Properties of Vegetation in Tributaries of the West Nakdong River

Choon-Song Kim*, Jee-Yeon Ko, Jae-Saeng Lee, Jae-Bok Hwang, Sung-Tae Park, and Hang-Won Kang¹⁾ (Yeongnam Agricultural Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang, 627-803, ¹⁾Rural Development Administration, Suwon, 441-707)

ABSTRACT: This study was conducted to investigate natural distribution of aquatic plants and to find out natural aquatic plants which highly absorb nutrient N and P. We surveyed hydrophyte vegetation within ± 2 m from streamside in 12 tributaries of the West Nakdong river watershed during May to October in 2003. Hydrophytes surveyed in tributaries of the West Nakdong river watershed were 27 families, 61 genera, 76 species, 3 varieties. Major dominance species of aquatic plants were *Z. latifolia*, *P. communis*, *P. thunbergii*, *P. arundinacea*, *P. japonica*, and *P. distichum* var. *indutum*. Aquatic plants having high production ability of biomass were *Z. latifolia*, *P. communis*, *P. arundinacea*, *P. japonica*, and *E. crus-galli* var. *echinata*. In the vertical distribution of hydrophytes within streams, dominant species were *P. thunbergii* and *P. japonica* in the upper stream, but dominant species in the downstream were *P. communis* and *Z. latifolia*. Species diversity of aquatic plants was reduced, but their biomass and nutrient (T-N and T-P) content per the natural area unit (m^2) were increased in the downstream. Nutrient N and P content of aquatic plants per the natural area unit were high at Joman river, Pyeonggangcheon, Bulam drainage canal, and Hogyecheon. Fifty-seven species of aquatic plants having high biomass were grouped into 4 categories (I~IV) according to their nutrient content per dry weight unit. I group (T-N, $\geq 20 \text{ gkg}^{-1}$ & P_2O_5 , $\geq 7 \text{ gkg}^{-1}$) was comprised of 3 submerged plants (*H. verticillata*, *P. crispus*, and *C. demersum*), 3 emergent plants (*O. javanica*, *P. distichum* var. *indutum*, and *R. sceleratus*), 1 suspended plant (*T. japonica*), and 1 riparian plant (*A. lobatum*). Otherwise, in classification of natural hydrophytes according to their nutrient content per natural area unit, *Z. latifolia*, *P. communis*, *P. longiseta*, *P. arundinacea*, and *P. distichum* var. *indutum* possessing great biomass productivity as emergent plants were included in I group (T-N, $\geq 1 \text{ gm}^{-2}$ & P_2O_5 , $\geq 0.7 \text{ gm}^{-2}$).

Key Words: aquatic plant, dominant species, biomass, nutrient N and P, nutrient removal, West Nakdong river

서론

우리나라는 연평균 강수량이 1,283 mm로서 세계평균의 1.3배에 달하지만 1인당 연간 강수량은 세계평균의 약 12%에 불과하고, 대부분의 강우가 여름철 장마기간에 편중되어 물 사용 가능량 기준으로 볼 때 주기적인 물 압박을 경험하는 물 부족 국가군에 포함되어 있다. 따라서 향후 수자원을 효율적으로 관리 및 보전하는 것은 비단 농업용수 확보차원

에서 뿐만 아니라, 국민의 건강을 위하여 간과해서는 안 될 문제이다. 최근 농산물의 안전성에 대한 국민의 관심이 고조되고, 수질오염에 의한 농작물의 피해가 급증하고 있는 현실을 볼 때 농업에 있어 깨끗한 농업용수의 확보도 매우 중요한 일이라 하겠다.

서낙동강은 행정구역상 김해시와 부산광역시의 경계를 이루면서 20여 개의 크고 작은 지류를 가진 전장 18.5 km, 폭 400 m, 유역면적 303.1 km^2 의 낙동강 하류 파천으로 13,000 ha의 김해평야를 가로지르고 있다. 1934년 이후 대저 취수문과 녹산 배수갑문에 의하여 준호소성의 정체성 하천이 되어 김해평야의 중요한 농업용수원 역할을 담당해 왔다. 그러나 최근에는 인근 지역의 도시화로 인하여 생활하수와 공장폐수

*연락처:

Tel: +82-55-350-1281 Fax: +82-55-353-3050
E-mail: kcs3925@rda.go.kr

등의 유입에 의하여 갈수록 오염이 심화되고 있는 실정이다. 2001년에 '서낙동강 살리기 범주민협의회'가 결성되어 다양한 방법으로 수질정화를 위한 노력이 전개되고 있으나, 아직 까지 뚜렷한 성과를 보이지 못하고 있다.

수생식물은 분류학적인 근거를 갖는 식물군이 아니라 식물들의 습성에 따라 분류된 생활형의 개념에 의하여 파악되어져 왔다. Muenscher¹⁾는 수중식물(aquatic plants)은 "정상적으로는 물에서 생육하고 있는 것으로서, 물 밖으로 나오게 되는 경우에도 그들의 생활사 중 어느 한 시기를 수중에서 생육하게 되는 종류들"이라고 정의하였고, Sculthorpe²⁾는 Muenscher의 관점에서 생활형과 성장형에 따라 수생관속식물을 고착성 수생식물(hydrophytes attached to the substrate)과 부유성 수생식물(free-floating hydrophytes)로 분류하였다. 수생식물은 습지생태계의 1차 생산자로서 습지의 토양을 안정화시키고 침식을 방지하며, 수층 부유물질의 침전촉진과 영양염류와 유해물질을 흡수한다. 또한 수중과 저도에 산소를 공급하여 수생식물의 근계와 저도에 서식하는 미생물의 분해효율을 높이고, 차광에 의한 식물플랑크톤의 발생억제 등을 통하여 수질을 정화한다. 그리고 물새와 어류, 저서생물 등의 먹이로 직접 이용되기도 하고, 부착생물의 착생부위로서 혹은 수서생물의 산란장, 양육장 및 은신처로서의 생태적 기능을 담당한다. 이 외에도 수생식물은 가축의 사료, 비료 및 생활용품의 재료로 이용되고 수변의 경관을 좋게 하는 심미적 가치를 지닌다^{3,4)}. 이와 같은 수생식물의 여러 기능 중에서 부영양화의 원인물질을 흡수·제거하는 수질정화기능은 환경 보전적 측면에서 매우 중요한 역할을 한다.

국내에서 대형 수생식물을 이용한 수질정화연구는 1980년 대 이후 시작되었으며 주로 도입 식물인 중남미 원산의 부레옥잠이 적용되어 왔다. Pyon 등⁵⁾과 Lee 등⁶⁾ 및 Kim 등⁷⁾은 부레옥잠을 이용하여 유기물과 영양염류 및 중금속 제거에 관한 연구를 수행하였고, Cho & Kim⁸⁾은 팔당호에서 대형수생식물의 분포와 건물생산성 및 영양염류 흡수능에 대하여 연구하였다.

수생식물을 이용한 수질정화기술은 환경친화적인 청정기술로서 부수적인 오염이 없으며, 비용이 적게 들 뿐만 아니라 아름다운 경관까지 창출하는 장점을 지닌다. 농촌지역이나 상수원 보호구역처럼 대도시와 같이 하수종말처리장을 적용하기 어려운 지역에서는 식물이 가지는 정화기능을 활용한 정화기술이 유용하다. 따라서 서낙동강 유역과 같이 도농이 복합되어 있고 오염이 가속화되는 지역에서는 농업용수 확보와 수질보전을 위하여 수생식물을 이용한 환경친화적 정화기술의 개발이 요구되어 진다. 이를 위한 기초연구로서 서낙동강 유역에 자생하는 수생식물의 분포특성과 부영양화물질 정화식물로서의 가능성을 탐색하였다.

재료 및 방법

본 연구는 서낙동강 본류와 12개 지천의 24지점에서 2003

년 5월부터 10월에 걸쳐 수생식물의 분포를 조사하였는데, 1차 조사는 5월과 6월에 2차 조사는 9월과 10에 수행하였다. Fig. 1과 같이 서낙동강의 상류 지류인 예산천에서부터 하류에 위치한 지사천까지 지천별로 상류, 중류, 하류의 지점을 선정하여 식생을 조사하였다. 각 지점에서 3반복으로 물가 ±2 m 내에 4 m²(2 m × 2 m)의 방형구를 설치하고 방형구 내의 출현종을 대한식물도감⁹⁾을 기준으로 동정하였고, 또한 식물종별 개체수를 측정하였다. 수생식물의 분류는 Muenscher¹⁾와 Sculthorpe²⁾의 방법을 따랐다.

수생식물의 건물생산능력을 분석하기 위하여 방형구내의 수생식물을 종별로 구분하여 채취한 후 60℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시켜 건물중을 칭량하였다. 건물중과 방형구 면적으로 수생식물 종별 단위면적당 건물생산능력을 계산하였고, 마찬가지로 방형구 면적과 체내 양분함량을 가지고 단위면적당 영양염류 흡수능력을 계산하여 수생식물 선발의 기준으로 삼았다.

서낙동강 유역 지천별 수생식물 종의 점유정도를 파악하기 위하여 식생조사에서 얻은 자료를 토대로 Curtis와 McIntosh¹⁰⁾의 방법을 응용하여 우점도(Dominance)를 산출하였다. 즉, Curtis와 McIntosh¹⁰⁾는 전체 종에 대한 각 종의 상대발생밀도, 상대발생빈도, 상대발생피도를 합하여 중요치를 산출하여 구성종의 생태적 중요도를 표현하는 객관적인 방법을 제시하였는데, 본 연구에서는 상대발생피도 대신에 각 종의 건물량을 포함시켜 중요치를 계산한 후 우점도를 구하였다. 또한 지천별 식생군락의 다양성이나 우점도 등의 분포특성을 살펴보기 위하여 Simpson¹¹⁾의 방법에 따라 우점지수와 다양화지수를 계산하였다.

$$\text{우점도(Dominance)} = (\text{상대건물중} + \text{상대발생밀도} + \text{상대발생빈도}) / 3$$

$$\text{상대건물중} : (\text{해당초종의 건물중} / \text{모든 초종의 건물중}) \times 100$$

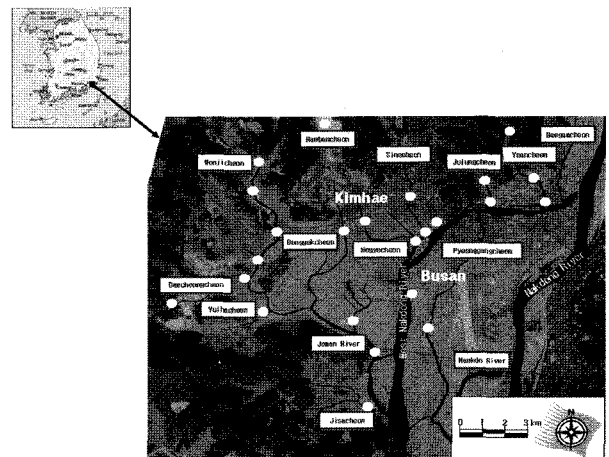


Fig. 1. Investigated sites in tributaries to the West Nakdong river.

상대발생밀도 : (해당초종의 발생분수/모든 초종의 발생 분수)×100

상대발생빈도 : (해당초종의 절대발생빈도/모든 초종의 절대발생빈도 합계)×100

절대발생빈도 : (해당초종이 발생된 Quadrat수/ Sampling quadrat 합계)×100

$$\text{Simpson 우점지수}(C) = \sum(D.V./N)^2 = \sum(D.V./100)^2$$

D.V. : 초종별 우점도, N : 전초종의 우점도 합 = 100

$$\text{다양화지수}(Ds) = 1 - C$$

수생식물의 체내 영양염류 함량분석은 습식분해법으로 분해 후 T-N은 Kjeldahl 법으로, P₂O₅는 Vanadate법으로 분석하였고, K, Ca, Mg 등은 ICP(Perkin-Elmer, OPTIMA 3300XL)를 이용하여 분석하였다. 수생식물이 자라는 하천의 토양특성을 살펴보기 위하여 수중의 저토를 원형채니기(Core sampler)로 채취하여 표층토를 제거하고 음건시킨 후 2 mm 체로 통과시킨 토양시료를 가지고 농촌진흥청 표준분석법¹²⁾에 따라 토양성분을 분석하였다. pH는 초자전극법, 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산함량은 Lancaster법으로 분석하였고, 치환성 양이온은 ICP를 이용하여 측정하였다. 수생식물이 자라는 하천의 수질을 살펴보기 위하여 pH와 EC, DO는 식생조사와 함께 현장에서 YSI(556 MPS)를 이용하여 측정하였고, 나머지 수질성분들은 식생조사 지점에서 물을 채취하여 2 L의 폴리에틸렌 용기에 담아 실험실로 옮긴 후 수질오염공정시험법¹³⁾에 따라 분석하였다. T-N과 T-P는 각각 자외선흡광법과 아스코르빈산 환원법으로 분석하였으며, K, Ca, Mg 등의 기타 성분은 ICP(Perkin-Elmer, OPTIMA 3300XL)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

수질 및 저토 화학성

서낙동강에서 수생식물이 자생하는 환경특성을 살펴보기 위하여 식생 조사시(1차: 5~6월, 2차: 9~10월)에 물시료와 저토를 함께 채취하여 분석한 후 두 시기의 평균값으로 지천별 수질특성과 저토의 화학성을 살펴보았다(Table 1, 2). 지천별 수질은 전체적으로 공장지대인 불암배수로와 생활하수 유입하천인 호계천에서 가장 나빴으며, 주중천과 대청천에서 가장 양호하여 청정수질을 나타냈다. 서낙동강 유역 하천의 pH는 6.5~7.5 범위로 차이가 적었으나, EC는 0.07~1.11 dsm⁻¹의 범위로 하천에 따라 차이가 심하였다. 불암배수로에서는 EC가 1.11 dsm⁻¹로 월등히 높아 농업용수로도 부적합할 정도였고, 호계천과 평강천도 0.5 dsm⁻¹ 이상으로 높은 수준이었다. 하천의 오염정도를 나타내는 화학적 산소요구량인 COD는 EC와 마찬가지로 불암배수로와 호계천, 평강천에서 높았고, 생물학적 산소요구량인 DO는 대청천과 주중천에서 가장 높았으며, 호계천에서 0.9 mgL⁻¹로서 현저히 낮은 값을 보였다. 부영양화 성분으로 알려진 T-N과 T-P는 각각 1.0~8.8 mgL⁻¹과 0.03~0.50 mgL⁻¹의 범위로서 대부분의 하천에서 우리나라의 농업용수 수질기준보다 높은 수준으로 오염되어 있었다. T-N은 호계천과 신어천, 김해시 하수종말처리장이 위치한 조만강에서 높았으며, T-P는 호계천에서 월등히 높았고, 조만강, 신어천, 율하천 평강천에서 높은 수준이었다. 부유물질의 함량을 의미하는 SS는 특이하게도 신어천에서 가장 높았으며, 기타 무기양이온과 음이온은 불암배수로와 호계천에서 높은 경향이었다(Table 2). 이러한 결과는 Yoon 등⁴⁾의 서낙동강 수질이 부영양화 상태라는 보고와 일치하였다.

Kim 등¹⁴⁾에 의하면 수생식물의 분포는 토양 pH의 영향

Table 1. Water quality of investigated tributaries in the West Nakdong river from May to October in 2003

Streams	pH	EC (dsm ⁻¹)	COD	DO	T-N	T-P	SS	(mgL ⁻¹)					
								SO ₄	Cl	K	Ca	Mg	Na
Daechongcheon	6.5	0.13	20.0	8.8	1.0	0.03	11.4	11.5	10.9	2.1	8.4	1.4	9.8
Bulam drainage canal	7.1	1.11	90.0	3.4	3.7	0.06	21.4	59.2	269.6	9.9	27.2	16.8	145.0
Sineocheon	7.3	0.20	49.5	6.4	4.3	0.17	25.0	12.2	25.4	3.5	9.6	1.6	32.3
Yecheon	7.1	0.10	12.7	7.8	2.5	0.08	12.2	8.7	6.8	1.7	5.8	1.6	11.3
Yulhacheon	7.3	0.19	45.0	7.9	1.9	0.17	20.4	16.5	24.4	3.9	13.6	2.7	16.6
Joman river	7.2	0.39	34.2	4.6	4.0	0.18	17.7	31.7	62.0	7.0	25.2	5.2	34.2
Jujungcheon	7.1	0.07	12.5	8.3	2.1	0.10	4.0	7.2	5.8	1.3	5.6	1.2	10.1
Jisacheon	7.0	0.25	20.0	5.3	2.0	0.05	17.0	28.9	43.9	5.6	18.4	3.7	25.7
Pyeonggangcheon	7.2	0.53	65.0	2.6	3.5	0.17	5.0	37.6	69.4	7.8	10.9	19.5	49.5
Haebancheon	7.5	0.25	28.5	6.1	2.5	0.19	7.4	26.5	30.7	4.2	24.8	3.4	20.1
Hogyechon	7.1	0.63	70.0	0.9	8.8	0.50	16.5	44.2	97.5	9.3	34.2	7.5	67.0
West Nakdong river	7.0	0.26	27.0	2.0	2.9	0.08	15.6	11.1	21.4	2.1	6.7	2.2	14.0

Table 2. Chemical properties of soil in tributaries of the West Nakdong river from May to October in 2003

Streams	pH (1:5)	EC (dSm ⁻¹)	O.M. (gkg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹)	Ex. cation(cmol ⁺ kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Na
Daecheongcheon	7.4	0.38	36.0	19.6	0.31	9.43	0.64	0.16
Bulam drainage canal	5.4	1.64	77.7	119.3	0.68	25.30	3.14	-
Sineocheon	5.8	0.58	47.2	54.2	0.22	6.03	1.27	0.12
Yecheon	6.4	0.25	18.6	45.8	0.29	9.08	1.56	0.20
Yulhacheon	6.6	0.36	28.5	35.7	0.19	6.04	1.00	0.18
Joman river	5.4	0.38	31.2	44.2	0.49	10.76	2.04	0.45
Jujungcheon	6.2	0.04	32.9	20.1	0.15	3.92	0.55	0.13
Jisacheon	3.9	1.26	61.2	55.0	0.17	14.77	3.63	1.96
Pyeonggangcheon	5.4	1.43	27.3	23.4	0.10	5.74	1.83	0.40
Haebancheon	7.0	0.44	23.5	52.8	0.23	5.78	0.66	0.17
Hogyecheon	6.3	0.38	22.9	46.9	0.20	6.57	0.87	0.19
West Nakdong river	3.2	0.85	17.4	3.3	0.06	1.74	0.84	0.16

을 크게 받으며, 교란지 식생과 습생식물은 총질소와 인산의 영향을 받는 것으로 보고되었다. 수생식물이 자라는 저토의 화학성은 수질과 마찬가지로 불암배수로에서 대부분의 측정 성분이 높았으며, 서낙동강의 하류에 위치한 지사천과 조만강, 평강천에서도 높은 특징을 보였다. 저토의 pH는 3.2~7.4의 범위로서 매우 편차가 심하였고, 서낙동강 본류와 지사천에서 낮은 특징을 나타냈다. Yoon 등⁴⁾은 서낙동강 본류의 저토가 약산성을 보인다고 하였는데, 본 연구는 지류의 저토를 중심으로 분석하여 약간의 차이가 있었으나 유사한 경향을 보였다. 저토의 EC는 0.04~1.64 dsm⁻¹의 범위로서 편차가 심하였는데 서낙동강 상류의 주중천에서 가장 낮았고, 불암배수로와 지사천, 평강천에서 1.0 dsm⁻¹ 이상으로 현저히 높았다. 지사천과 평강천은 서낙동강 하류에 위치하여 하상의 저토에 아직까지 바다의 영향이 나타나고 있는 것으로 판단된다. 유기물함량은 불암배수로와 지사천, 신어천에서 높았으며, 유효인산함량은 불암배수로에서 119 mgkg⁻¹로서 월등히 높은 특징을 보였다. 토양 양이온 중 칼륨함량은 불암배수로와 조만강에서 높았으며, 칼슘과 마그네슘함량은 불암배수로와 조만강과 더불어 지사천에서 높았고, 나트륨함량은 대부분의 지천이 0.13~0.45 cmol⁺kg⁻¹ 수준이었으나 서낙동강의 최하류에 위치하여 해수의 영향을 가장 많이 받는 지사천만 월등히 높은 1.96 cmol⁺kg⁻¹을 나타냈다(Table 2).

전체적으로 오염물질의 유입량이 많아 수질오염이 심하였던 불암배수로와 평강천, 조만강 등에서 저토의 오염도 컸으나, 생활하수가 많이 유입되었던 호계천의 경우는 수질오염은 심각하였으나 저토의 화학성은 높지 않은 특징을 보였다. 이러한 결과는 호계천이 강폭이 좁고 유속이 빨라 상대적으로 오염물질의 퇴적이 적게 이루어진 결과라 여겨진다.

수생식물상 및 우점종

수생식물은 지역의 자연환경에 적응하여 분포하고 있으므로 하천의 수질정화를 위해서는 자생 수생식물을 조사하여 활용하는 것이 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다.

우리나라에서 자생하는 수생식물은 39과 136종으로 알려져 있으며, 생활형태별로 살펴볼 때 정수식물 62종(45.6%), 부엽식물 29종(21.3%), 침수식물 39종(28.7%), 부유식물 6종(4.4%)으로 보고되었다¹⁵⁾. 서낙동강 유역 12개 하천의 물가 ±2 m 이내 식물을 조사한 결과 수생식물 25종과 습생식물 및 하원식물을 포함하여 27과 61속 76종 3변종의 총 79종이 자생하는 것으로 조사되었다. 수생식물의 생육형태별로 살펴보면 부유식물과 부엽식물이 각각 3종으로 3.8%를 차지하였고, 침수식물이 5종 6.3%, 정수식물이 14종 17.7%로 분포하였다. Lee 등¹⁶⁾은 만경강의 하리유역에서 수생식물을 조사한 결과 침수식물 13종, 부엽식물 5종, 부유식물 5종, 정수식물 26종이 분포하였다고 보고하여 본 조사보다 분포종수가 많았다. 생활형태별로 수생식물을 분류하면, 1년생과 다년생이 26종(33%)과 33종(42%)으로 대부분을 차지하였고, 월년생이 8종 10%, 2년생이 12종 15%로 분포하고 있었다(Table 3). Yoon 등⁴⁾은 서낙동강 본류에 자생하는 수생관속식물을 조사하여 16과 26종 1변종의 총 27종을 보고하여 본 연구의 결과와 큰 차이는 없었다. 또한 Chung & Choi¹⁷⁾는 낙동강 하구 습생식물과 수중식물의 분포를 조사하여 총 60종을 보고하였고 그 중 수생식물은 13종이라고 하였는데, 본 연구에서는 서낙동강의 지천을 중심으로 조사하였기 때문에 조사지점이 차이가 있었고, 생태환경도 변화하여 훨씬 많은 분포종수를 보인 것으로 판단된다.

서낙동강 유역 지천의 주요 우점식물은 고마리, 줄, 갈대, 갈풀, 달뿌리풀, 털물참새피 이었으며, 건물생산능력은 줄, 갈대, 달뿌리풀, 물피, 갈풀이 높았다. Lee 등¹⁸⁾은 인공식물섬

에 애기부들, 갈대, 줄을 식재한 결과 단위면적당 순생산량이 줄에서 가장 높다고 하였는데, 본 연구에서도 같은 결과를 얻었다. 탈물침새피는 단위면적당 발생분수가 월등히 많았으나 일부 하천에 집중되어 군락을 형성하고 있었고 한 개체당 생육량이 적어서 건물량은 높지 않은 특징을 보였다(Table 4).

서낙동강 유역 지천별 우점식물을 조사한 결과(Table 5),

대부분의 하천에서 갈대와 줄, 고마리, 갈풀이 우점순위 1~3 위 종이였으며, 하천이 정비되어 있었던 신어천에서만 개여뀌가 우점 1순위로 분포하고 있었다. 조만강과 연결되는 울하천에서는 고마리가 우점종이었고, 다음으로 개밀과 호밀풀이 우점하는 특징을 보였으며, 해반천에서는 고마리와 갈풀 다음으로 소리쟁이와 부들이 우점하였다. 주중천의 경우는

Table 3. Classification of growth and life forms of native aquatic plants in tributaries of the West Nakdong river from May to October in 2003

Growth forms	Life forms				Total(Ratio, %)
	Annual	Winter annual	Biennial	Perennial	
Free-floating	1	-	-	2	3(3.8)
Floating leaved	1	-	-	2	3(3.8)
Submerged	1	-	-	4	5(6.3)
Emergent	-	-	2	12	14(17.7)
Hydrophyte	11	2	3	2	18(22.8)
Riparian	12	6	7	11	36(45.6)
Total(Ratio, %)	26(32.9)	8(10.1)	12(15.2)	33(41.8)	79(100)

Table 4. Distribution properties and biomass of dominant vegetation in tributarie of the West Nakdong river from May to October in 2003

Aquatic plants	No. of plants (No. m ⁻²)	Biomass ^{a)} (gm ⁻²)	RDW ^{b)}	RGD ^{c)}	RGF ^{d)}	Dominance ^{e)} (%)
			----- (%) -----			
<i>Phragmites communis</i>	21.8	333.7	12.4	13.6	10.8	12.3
<i>Phalaris arundinacea</i>	24.7	95.6	6.6	13.2	7.8	9.2
<i>Agropyron tsukushiense</i>	9.9	19.8	2.7	4.7	7.0	4.8
<i>Persicaria longiseta</i>	10.8	81.7	6.3	2.9	4.9	4.7
<i>Beckmannia syzigachne</i>	13.3	7.5	0.9	5.7	4.8	3.8
<i>Persicaria thunbergii</i>	24.9	50.2	3.6	22.8	16.6	14.3
<i>Phragmites japonica</i>	30.7	158.6	16.2	4.9	2.8	6.1
<i>Echinmochola crus-galli</i>	4.7	24.9	2.1	0.7	2.5	1.8
<i>Alopecurus aequalis</i>	37.2	8.9	1.4	5.8	1.3	2.8
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	6.2	52.5	2.1	1.5	2.5	2.0
<i>Echinochloa crus-galli var. echinata</i>	20.9	113.0	9.5	1.7	1.9	4.3
<i>Oenanthe javanica</i>	4.2	6.2	0.4	1.2	2.7	1.5
<i>Bidens frondosa</i>	0.9	27.6	2.8	0.1	1.7	1.5
<i>Typha orientalis</i>	1.6	41.3	3.1	0.2	1.0	1.4
<i>Rumex crispus</i>	0.9	22.0	1.6	0.4	3.6	1.8
<i>Artemisia princeps</i>	2.8	13.3	3.2	0.6	2.1	2.0
<i>Zizania latifolia</i>	27.2	356.9	14.3	14.2	11.2	13.2
<i>Persicaria lapathifolia</i>	7.9	60.7	5.1	1.2	1.8	2.7
<i>Paspalum distichum L. var. indutum</i>	66.3	40.5	2.1	13.3	2.8	8.0
<i>Lolium perenne</i>	23.0	21.2	3.7	1.8	1.1	2.2

^{a)}Dry weight of part above ground of aquatic plants; ^{b)}RDW, Relative dry weight; ^{c)}RGD, Relative generation density;

^{d)}RGF, Relative generation frequency; ^{e)}Dominance = (RDW + RGD + RGF) / 3

Table 5. Dominant aquatic plants by tributaries of the West Nakdong river

Streams	Dominance ranking			
	1	2	3	4
Daecheongcheon	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Persicaria thunbergii</i>	<i>Agropyron tsukushiense</i>	<i>Artemisia princeps</i>
Bulam drainage canal	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Phragmites communis</i>	<i>Persicaria thunbergii</i>	<i>Beckmannia syzigachne</i>
Sineocheon	<i>Persicaria longiseta</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Phragmites communis</i>
Yeancheon	<i>Phragmites communis</i>	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Agropyron tsukushiense</i>
Yulhacheon	<i>Persicaria thunbergii</i>	<i>Agropyron tsukushiense</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Arenaria serpyllifolia</i>
Joman river	<i>Phragmites communis</i>	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Persicaria thunbergii</i>	<i>Beckmannia syzigachne</i>
Jujungcheon	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Phragmites japonica</i>	<i>Phragmites communis</i>	<i>Alopecurus aequalis</i>
Jisacheon	<i>Phragmites communis</i>	<i>Persicaria thunbergii</i>	<i>Trapa japonica</i>	<i>Persicaria sieboldii</i>
Pyeonggangcheon	<i>Phragmites communis</i>	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i>	<i>Persicaria thunbergii</i>
Haebancheon	<i>Persicaria thunbergii</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Rumex crispus</i>	<i>Typha orientalis</i>
Hogyecheon	<i>Phragmites communis</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Persicaria thunbergii</i>
West Nakdong river	<i>Phragmites communis</i>	<i>Zizania latifolia</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Persicaria thunbergii</i>

갈풀이 우점종이고 차우점종을 달뿌리풀이 차지하였고, 평강천에서는 털물참새피가 갈대와 줄 다음으로 우점하고 있었다. 서낙동강의 최하 지류인 지사천에서는 갈대와 고마리 외에 마름과 미꾸리나뎡이가 우점하고 있는 것으로 조사되었다. 서낙동강 본류에서는 갈대와 줄이 우점종이었으며, 다음으로 갈풀과 고마리가 우점하였다. 특히 수질오염과 저토의 오염이 심하였던 불암배수로에서는 자생종의 대부분이 줄과 갈대 군락으로서 환경오염에 의하여 초종이 단순화된 것으로 판단된다.

수생식물의 분포특성 및 식물체 영양염류 함량 분포

자생식물의 초종이 군락을 이루는 정도와 초종수의 많고 적음을 의미하는 심슨의 우점지수와 다양성 지수를 분석한 결과(Table 6), 5월과 6월경에 비하여 9월과 10월경에 우점지수가 증가하고 다양성지수는 감소하는 특징을 보였다. 이는 5월과 6월경에는 월년생 식물이 다수 생존하고 있었기 때문에 우점지수가 낮고 종다양성지수는 높다가 9월에서 10월이 되면 하계식물이 우점하기 때문인 것으로 생각된다. 우점지수는 수질오염이 심각하였던 불암배수로와 바닷물의 영향을 크게 받는 서낙동강 하류의 지사천에서 높았고, 율하천과 예안천에서 낮아서 다양한 초종이 분포하고 있음을 알 수 있

었다. Kang & Kwak¹⁹⁾은 생활오폐수나 공장폐수 등 인간의 간섭이 많은 오염된 하천에서 종다양성지수가 낮다고 하였는데 본 연구에서도 오염이 심하였던 불암배수로에서 종다양성지수가 낮았다.

서낙동강 유역 지천별 식생분포를 살펴보면 상류에서는 주로 고마리와 달뿌리풀이 우점종이었으며, 하류에서는 대형수생식물인 갈대와 줄이 우점하여 하류로 갈수록 식생분포가 단순해지는 경향이였다. 하천별 수생식물의 biomass량은 조만강과 평강천에서 많았으며, 모든 서낙동강 지천의 하류에서 높은 특징을 보였다. 특히 김해시 하수처리장이 위치한 무용천 하류유역의 수생식물 biomass량이 높아 하수처리장 배출수의 질소와 인산함량이 수생식물의 생육에 영향을 주었을 것으로 생각되었다(Fig. 2). 이러한 특징은 하천에서 하류로 갈수록 오염부하가 높고 하상에 양분을 포함한 퇴적물이 쌓이기 때문에, 이를 흡수하여 생육하는 갈대와 줄과 같은 다년생 수생식물의 건물량이 많은 것으로 생각된다. Kim & Yim²⁰⁾은 한강 지천의 상류 비오염지역에서 고마리가 우점종으로 조사되었다고 보고하였고, Song & Song²¹⁾은 낙동강 상류 한천에서 달뿌리풀의 군락을 보고하였는데, 본 연구도 유사한 결과를 나타냈다.

서낙동강 유역 지천에서 자생하는 수생식물의 단위면적당

Table 6. Simpson's index of dominance and diversity of vegetation by tributaries of the West Nakdong river

Streams	Simpson's index of dominance(C) ^{a)}		Simpson's index of diversity(Ds) ^{b)}	
	May~Jun.	Sep.~Oct.	May~Jun.	Sep.~Oct.
Daecheongcheon	0.26	0.46	0.74	0.54
Bulam drainage canal	0.37	0.52	0.63	0.48
Sineocheon	0.28	0.29	0.72	0.71
Yecheon	0.19	0.32	0.81	0.68
Yulhacheon	0.11	0.41	0.89	0.59
Joman river	0.25	0.34	0.75	0.66
Jujungcheon	0.21	-	0.79	-
Jisacheon	0.34	0.39	0.66	0.61
Pyeonggangcheon	0.24	0.33	0.76	0.67
Haebancheon	0.20	0.20	0.80	0.80
Hogyecheon	0.22	0.25	0.78	0.75
West Nakdong river	0.24	-	0.76	-

^{a)}Simpson's index of dominance(C) = $\sum(D.V./N)^2$, D.V.: Dominance value by plant species, N: Sum of dominance value of all plant species, ^{b)}Simpson's index of diversity(Ds) = 1 - C

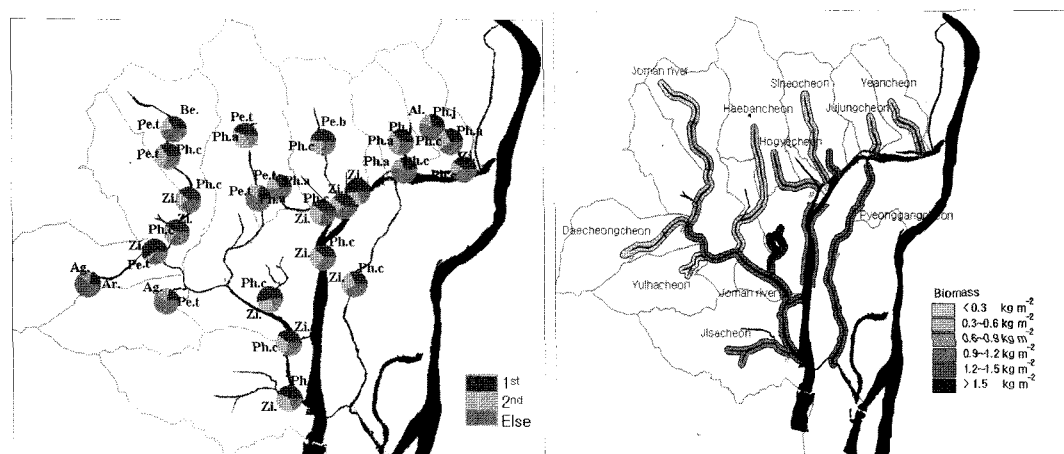


Fig. 2. Distribution of dominant vegetations (left) and production ability of dry matter (right) by tributaries in the West Nakdong river.

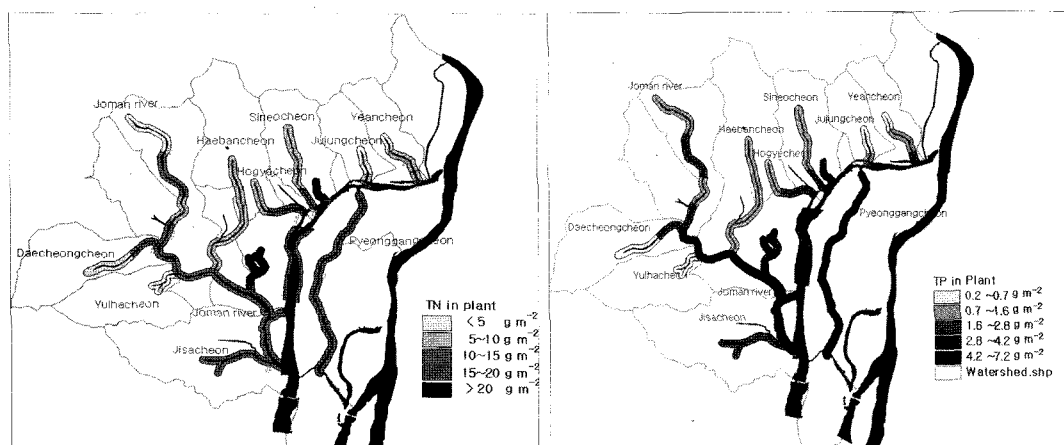
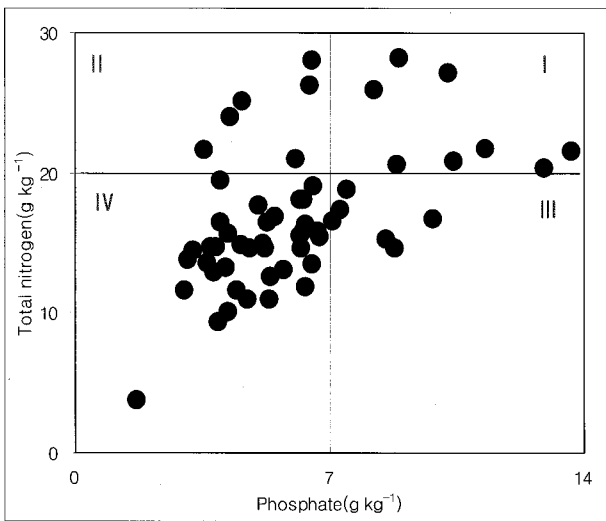


Fig. 3. Distribution of T-N content (left) and T-P content (right) in aquatic plant per area unit by tributaries in the West Nakdong river.

체내 영양염류함량을 분석하여 지천별 분포특성을 살펴보았다(Fig. 3). 수생식물들의 총질소함량은 수질오염이 심하였던 불암배수로와 조만강 하류의 무용천, 평강천, 호계천 등에서 높았으며, 총인함량도 조만강과 평강천, 불암배수로에서 높은 특징을 보였다. 서낙동강 유역의 지천내에서는 상·하류의 표고차가 적은 평강천을 제외하고는 상대적으로 수질오염이 적었던 상류에 비하여 하류로 갈수록 수생식물의 총질소와 총인함량이 모두 증가하는 경향을 보였다. 이는 수질의 오염부하가 하류로 갈수록 증가됨에 따라 수생식물의 영양염류 흡수량 또한 증가된 결과로 생각된다.

영양염류의 체내함량별 자생 수생식물의 분류

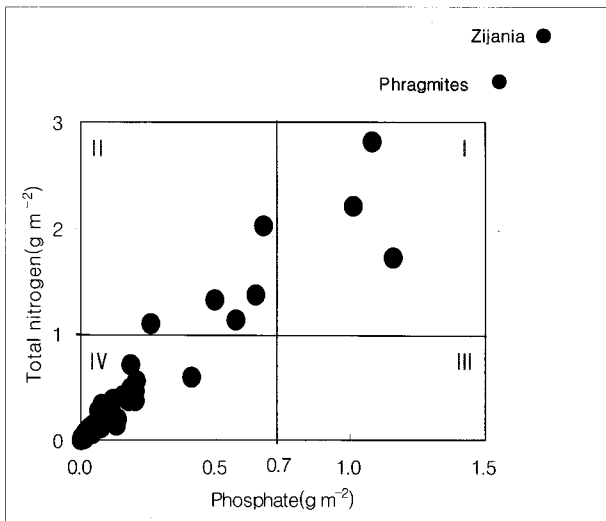
수생식물의 여러 기능 중에서 부영양화성분인 영양염류(질소와 인)를 흡수하여 수질을 정화하는 기능은 환경친화적 매력 때문에 연구관심의 대상이었다. 그러나 대부분의 연구들이 제한된 종의 수생식물을 대상으로 수행되었으며, 자생하는 수생식물을 대상으로 수질정화 식물을 탐색한 연구는 적은 편이다. 또한 자생 수생식물의 질소와 인 흡수량을 분석하여 각 성분별 흡수 능력이 높은 수생식물을 선발한 연구^{22,23)}가 수행되었을 뿐이고, 수질정화식물이라고 하는 수생식물의 영양염류 체내함량 분류기준도 확립되어 있지 않으며, 체내 질소와 인 함량을 동시에 평가하여 수질정화 수생식물을 탐색하고 선발



Group ^{a)}	Scientific name
I	<i>Hydrilla verticillata</i> , <i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> , <i>Potamogeton crispus</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Trapa japonica</i> , <i>Oenanthe javanica</i> , <i>Actinostemma obatum</i> , <i>Ranunculus sceleratus</i>
II	<i>Persicaria sieboldii</i> , <i>Persicaria hydropiper</i> , <i>Persicaria longiseta</i> , <i>Bidens frondosa</i> , <i>Persicaria senticosa</i> , <i>Lepidium apetalum</i>
III	<i>Zizania latifolia</i> , <i>Persicaria thunbergii</i> , <i>Scirpus planiculmis</i> , <i>Rorippa indica</i> , <i>Torilis japonica</i> , <i>Galium spurium</i>
IV	<i>Beckmannia syzigachne</i> , <i>Stellaria aquatica</i> , <i>Oenothera odorata</i> , and so on, total thirty-seven species

Fig. 4. Grouping of aquatic plants by nutrient content per dry weight unit.

^{a)}I : T-N, $\geq 20 \text{ gkg}^{-1}$ & P_2O_5 , $\geq 7 \text{ gkg}^{-1}$, II : T-N, $\geq 20 \text{ gkg}^{-1}$ & P_2O_5 , $< 7 \text{ gkg}^{-1}$
 III : T-N, $< 20 \text{ gkg}^{-1}$ & P_2O_5 , $\geq 7 \text{ gkg}^{-1}$, IV : T-N, $< 20 \text{ gkg}^{-1}$ & P_2O_5 , $< 7 \text{ gkg}^{-1}$



Group ^{a)}	Scientific name
I	<i>Zizania latifolia</i> , <i>Phragmites communis</i> , <i>Persicaria longiseta</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i>
II	<i>Persicaria thunbergii</i> , <i>Phragmites japonica</i> , <i>Typha orientalis</i> , <i>Bromus catharticus</i> , <i>Rumex crispus</i>
III	-
IV	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> , <i>Scirpus planiculmis</i> , <i>Persicaria sieboldii</i> , <i>Lolium perenne</i> , and so on, total forty-seven species

Fig. 5. Grouping of aquatic plants by nutrient content per the natural area unit.

^{a)}I : T-N, $\geq 1 \text{ gm}^{-2}$ & P_2O_5 , $\geq 0.7 \text{ gm}^{-2}$, II : T-N, $\geq 1 \text{ gm}^{-2}$ & P_2O_5 , $< 0.7 \text{ gm}^{-2}$,
 III : T-N, $< 1 \text{ gm}^{-2}$ & P_2O_5 , $\geq 0.7 \text{ gm}^{-2}$, IV : T-N, $< 1 \text{ gm}^{-2}$ & P_2O_5 , $< 0.7 \text{ gm}^{-2}$

한 예도 드문 실정이다. 따라서 본 연구에서는 부영양화성분인 질소와 인의 수생식물 체내함량을 분석하여 상위 25%의 수생식물이 속하는 질소와 인 체내함량을 기준으로 수생식물을 분류하였다(Fig. 4, 5). 자생하는 수생식물 57종의 단위면적당 체내 총질소와 인산함량을 분석한 결과 총질소함량 20 gkg^{-1} 이상이고 인산함량이 7 gkg^{-1} 이상인 I군의 수생식물은 주로 침수식물인 검정말, 말즘, 붕어마름이었고, 그 외에 정수식물인 미나리, 털물참새피, 개구리자리, 부엽식물인 마름, 습생식물인 뚜껍덩굴이었다. 총질소의 함량은 높으나 인산함량이 낮은 II군에는 습생식물인 여뀌류와 미꾸리늪시, 미국가막사리 등이 속하였으며, 인산함량은 높으나 상대적으로 총질소함량이 낮은 III군에는 줄과 고마리 등이 속하였다. 총질소와 인산함량이 모두 낮은 IV군에는 개피와 쇠별꽃 등 대부분의 수생식물이 포함되었다(Fig. 4).

서낙동강유역 자연식생의 우점도와 건물생산능력에 따른 부영양화물질 정화능(자생 면적당 부영양화물질 함량)을 살펴본 결과(Fig. 5), I군에는 건물량이 많은 줄과 갈대, 털물참새피, 갈풀, 개여뀌 등의 정수식물이 속하였다. 총질소 함량은 1 gm^{-2} 이상으로 높으나, 인산함량이 상대적으로 낮은 II군에는 고마리, 달뿌리풀, 부들, 개보리, 소리쟁이가 속하였다. Kim 등²²⁾의 아산호 습지에서 관속식물의 영양염류 흡수량을 분석한 결과에 의하면 줄과 갈대, 부들이 단위면적당 질소와 인의 흡수량이 많다고 보고되었는데, 본 연구에서도 같은 경향이었으며, Lee 등²³⁾ 또한 만경강 유역 수생식물의 영양염류 흡수량을 조사하여, 정수식물인 갈대와 줄, 부들이 우수한 흡수능을 지닌다고 보고하였다. 총질소와 인산함량이 각각 1 gm^{-2} 와 0.7 gm^{-2} 미만인 IV군에는 개피, 새섬매자기 등 대부분의 수생식물이 속하였다. 전체적으로 Fig. 4와 Fig. 5의 결과 Fig. 4에서 I군에 속한 수생식물들은 건물량을 증가시킬 수 있다면 수질정화식물로서의 가능성이 충분하다고 볼 수 있으며, Fig. 5에서 I, II군에 속한 수생식물들은 부영양화 물질의 체내함량과 건물생산능력이라는 두 가지 측면을 충족시키는 식물들이므로 자연하천에서 수질정화 잠재능이 매우 클 것으로 기대된다. 따라서 향후 이들 수생식물의 부영양화물질 축적과 제거능력에 관한 보다 정밀한 연구가 수행되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 서낙동강의 수질정화를 위하여 영양염류 고흡수식물을 선별하고자 서낙동강 유역 하천에 자생하고 있는 식물의 분포특성과 자연 상태에서의 건물생산능력 및 체내 영양염류함량을 분석하였다. 서낙동강 유역 12개 하천의 물속과 물가 2 m 이내 식물을 조사한 결과 27과 61속 76종 3변종의 총 79종이 자생하는 것으로 조사되었으며, 주요 우점식생은 고마리, 줄, 갈대, 갈풀, 달뿌리풀, 털물참새피 이었고, 건물생산능력은 줄, 갈대, 달뿌리풀, 물피, 갈풀이 높았다. 지

천의 상류에서는 주로 고마리와 달뿌리풀이 우점종이었으며, 하류에서는 대형수생식물인 갈대와 줄이 우점하였다. 수생식물의 초종은 상류에 비하여 하류로 갈수록 단순해지는 경향이었으나 biomass량은 오히려 증가하였다. 하천별 수생식물의 자생 단위면적당 체내 총질소 및 총인함량은 하류로 갈수록 증가하였고, 조만강과 평강천, 불암배수로, 호계천에서 높은 특징을 보였다. 79종의 자생식물 중에서 biomass가 큰 57종의 수생식물을 영양염류 함량별로 분류한 결과, 단위면적당 영양염류(총질소, 인산)의 함량이 높은 식물군은 검정말이나 말즘과 같은 침수식물이었던 반면, 자연식생의 영양염류 흡수능을 의미하는 단위면적당 영양염류의 체내함량이 높았던 식물군은 줄이나 갈대와 같은 정수식물이었으며, 털물참새피는 두 분류 모두에서 높은 함량을 보였다.

참고문헌

- Muenschler, W. C. (1944) Aquatic plants of the United States, Comstock Publishing Company, Inc., Ithaca.
- Sculthorpe, C. D. (1967) The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold Publishers Ltd., London.
- Yoon, H. S. (1991) A study on vascular hydrophytes of intertidal area in Nakdong estuary. - Productivity of intertidal vascular hydrophytes before and after the construction of Nakdong barrage, Korean J. Ecol. 14(1), 63-73.
- Yoon, H. S., Kim, G. Y., Kim, S. H., Lee, W. H., and Yi, G. C. (2002) Physio-chemical characteristics of water and distribution of vascular hydrophytes in the West Nakdong river, south Korea, Korean J. Ecol. 25(3), 165-173.
- Pyon, J. Y., Lee, K. S., and Lee, J. S. (1985) Studies on removal of water pollutants by aquatic plants., I. Removal of organic matter by water hyacinth and factors affecting its growth, Kor. J. Weed Sci. 5(2), 143-148.
- Lee, K. S., Kim, M. K., Pyon, J. Y., and Lee, J. S. (1985) Studies on removal of water pollutants by aquatic plants., II. Removal of water polluted nutrients and heavy metals by water hyacinth, Kor. J. Weed Sci. 5(2), 149-154.
- Kim, B. Y., Lee, J. S., and Kim, J. H. (1998) Survey on nutrient removal potential and growth state of water hyacinth (Eichhornia crassipes) at Seo-Ho, Kor. J. Environ. Agri. 17(2), 145-149.
- Cho, K. H. and Kim, J. H. (1994) Distribution of

- aquatic macrophytes in the littoral zone of lake Paltangho, Korea, *Korean J. Ecol.* 17(4), 435-442.
9. Lee, T. B. (2003) Coloured flora of Korea, *Hwangmunsa*.
 10. Curtis J. T. and McIntosh R. P. (1951) An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32, 476-496.
 11. Simpson, E. H. (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163, p.688.
 12. National Institute of Agricultural Science & Technology (1988) Soil chemical analysis method, *Rural Development Administration*.
 13. Korea Environmental Protection Agency (2000) Standard methods for the examination of water contamination, *KEPA*.
 14. Kim, Y. S., Kim, C. H., and Lee, K. B. (2002) Canonical correspondence analysis of riparian vegetation in Mankyeong river, Jeollabuk-do, *J. Environ. Sci.* 11(10), 1031-1037.
 15. 金秀南, 金熙仁 (2001) 韓國産 水生植物을 活용한 室内園藝에 關한 研究, 第47回 全國科學展覽會. 科學技術部.
 16. Lee, K. B., Kim, C. H., Lee, D. B., Kim, J. G., Park, C. W., and Na, S. Y. (2003) Assessment of water purification plant vegetation for enhancement of natural purification in Mankyeong river, *Kor. J. Environ. Agri.* 22(2), 100-110.
 17. Chung, Y. H. and Choi, H. K. (1983) Flora and distribution of vascular hygro- and hydrophytes from the estuary of Nakdong river, *Korean. J. Bot.* 26(4), 197-206.
 18. Lee, K. S., Jang, J. R., Kim, Y. K., and Park, B. H. (1999) A study on the floating island for water quality improvement of a reservoir, *Kor. J. Environ. Agri.* 18(1), 77-82.
 19. Kang, S. J. and Kwak, A. K. (1998) Changes of riparian vegetation in relation to disturbance of Musim-chon stream, Cheongju, *Korean J. Ecol.* 21(5-1), 435-448.
 20. Kim, Y. B. and Yim, Y. J. (1990) Environmental factor and the distribution of aquatic macrophytes community in Tanchon, *Korean J. Ecol.* 13(4), 297-309.
 21. Song, J. S. and Song, S. D. (1996) A phytosociological study on the riverside vegetation around Hanchon, an upper stream of Nakdong river, *Korean J. Ecol.* 19(5), 431-451.
 22. Kim, C. S., Son, S. G., Lee, J. H., and Oh, K. H. (2000) Community structure, productivity, and nutrient uptake of the vascular plants in the wetlands of the Asan lake, *Korean J. Ecol.* 23(3), 201-209.
 23. Lee, K. B., Kim, C. H., Lee, D. B., Kim, J. G., Park, C. W., and Na, S. Y. (2003) Species diversity of riparian vegetation by soil chemical properties and water quality in the upper stream of Mankyeong river, *Kor. J. Environ. Agri.* 22(2), 153-165.