

서낙동강 수질의 이화학적 특성과 수생관속식물의 분포

윤해순[†] · 김구연* · 김승환** · 이원화** · 이기철**

동아대학교 생물학과, 부산대학교 생물학과*, 동아대학교 조경학과**

적 요: 서낙동강의 물과 저토의 이화학적인 환경을 측정하고, 수생관속식물의 식생을 조사하였다. 수질은 수소이온농도, 용존산소, 엽록소 a, 총질소 그리고 총인에 의하면 부영양화 상태이었으나 여름에는 지소에 따라 과영양 상태이었다. 수중 저토는 약산성 이었으며, 모래의 함량이 높았으나 SI는 점토, SU는 미사의 비율이 컸다. 수생식물 분포는 총 16과 26종 1변종으로 총 27분류군이었다. 지소별 우점종은 DU, GA 그리고 SU에서는 마름(*Trapa japonica*)이 우점하였고, DA에서는 노랑어리연꽃(*Nymphoides peltata*), SI에는 자라풀(*Hydrocharis dubia*)이 우점하였다. SI와 SU에서 종다양도, 균등성이 높았으며, 우점도는 DA에서 높았다. 6월에 유입된 외래종 물상추(*Pistia stratiotes*)와 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)이 수역 전체에 확산되어 서낙동강 전체의 우점종이 되었다. 낙동강 하구둑 축조 당시와 비교하여 서낙동강에서 소멸된 종은 민나자스말(*Najas marina*), 툽나자스말(*Najas minor*), 이삭물수세미(*Myriophyllum spicatum*), 어리연꽃(*Nymphoides indica*)이었다. 수생식물의 최대 현존량은 10월에 DU에서 가장 높았다(445g · DW/m²). 하구둑 축조당시인 1985년에 비하여 DU와 GA지소의 총현존량은 33.5%로 감소하였으며, 우점종 마름의 감소율이 56.7% 이었다. 종 수와 유사도 지수를 근거로 집괴분석한 결과에 따르면 GA-SU-DU, DA와 SI의 3집단으로 구분되어졌다. 외래종의 유입으로 인한 수생식물군락의 교란은 SI와 SU에 분포하는 가시연꽃(*Euryale ferox*)과 감소추세 중 자라풀을 포함하여 수역 전체의 자생종들 특히 수금류의 먹이식물로 이용되는 마름, 나사말, 말즘 등의 감소를 초래하였다.

검색어: 서낙동강, 수생관속식물, 물상추, 부레옥잠, 가시연꽃

서 론

수생관속식물은 습지생태계의 1차생산자로서, 습지의 토양을 안정화시키고 침식을 방지하며, 수중 부유물질의 침전 촉진과 영양염류와 유해물질을 흡수한다. 또한 수중과 저토에 산소를 공급하여 부유식물의 근계와 저토에 서식하는 미생물의 분해효율을 높이고, 차광에 의한 식물플랑크톤의 억제 등을 통하여 수질을 정화한다. 뿐만 아니라 물새와 어류, 저서생물 등의 먹이로 직접 이용되기도 하고, 부착생물의 착생부위로서, 수서생물 군집의 산란장, 양육장 및 은신처로서의 생태적 기능을 담당한다. 자원공급의 면에서도 수생식물은 가축의 사료, 비료 및 생활용품의 재료를 공급하고, 수변의 경관 형성으로 심미적 가치를 높인다 (Botto and Patrick 1978, Goldmann and Horne 1983, Hutchinson 1967, Moshiri 1993, Wetzel 1983, Kang 1996, 박 등 2000). 이러한 기능을 갖는 습지식물군락은 다른 식물군락에 비하여 생활력이 약하며, 다습하거나 기수와 같은 가혹한 자연환경에 적응하여 살고 있다. 이러한 혹심한 자연환경에는 내성이 있지만 인위적인 환경변화에는 민감하여 쉽게 파괴되기 쉽다(藤原一繪 1972).

서낙동강의 수생식물은 낙동강하구에 도래하는 초식성 수금류의 먹이식물로서 이용되며 (NEDECO 1986, 윤 1987), 하구둑 축조 후 먹이식물의 현존량이 심하게 감소되었다(윤 1993). 하구

둑 축조 후 낙동강 수위의 변동과 수질의 변화 및 오염물질의 부하가 높아졌으며(주 1995) 이러한 낙동강 본류수를 유입하는 낙동강 하류의 파천인 서낙동강은 서부산권의 개발과 함께 집수역인 부산 강서구와 김해시의 인구증가 및 각종 산업체의 생산활동으로 인하여 매년 극심한 수화현상(water bloom)으로 농업용수로도 사용하지 못하게 되어 수질개선이 요청되어왔다. 최근 김해 하수처리장의 가동(1999년 5월)과 강동하수처리장이 계획(2011년)되어있으며 수문조절과 저질의 준설 등 수질개선을 위한 방안과 하안 정비 사업이 진행되고 있어서(건설교통부 부산지방 국토관리청 2001) 수생식물의 변화가 예상된다. 따라서 본 연구에서는 높은 개발압을 받고 있으며, 수질오염이 심각하여 수질개선을 위한 노력이 다방면에서 이루어지고 있는 서낙동강에서 수생식물의 종구성과 저토와 물 환경에 따른 분포현황을 파악하고, 수질의 부영양화로 인한 종조성의 변화, 현존량의 증감을 비교하여, 서낙동강의 수계관리를 위한 기초자료와 서식지의 감소와 파괴로 소멸되어 가는 수생식물과 습지생태계 보전을 위한 자료를 얻고자 한다.

조사지 개황

서낙동강은 낙동강 본류로부터 분기된(동경 128° 59', 북위 35° 13' 지점) 연장 18.55 km의 파천으로, 부산광역시 강서구와 경상

이 논문은 (2000-2001)년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

[†] Author for correspondence; Tel : 051-200-7266, 011-878-6045, E-mail : hsyoon@daunet.donga.ac.kr

남도 김해시 일원에 위치한다. 서낙동강은 1934년에 농업용수의 이용과 치수를 위하여 대저수문과 녹산배수갑문이 설치된 이후 호소형 하천의 수문특성을 나타낸다. 서낙동강은 상부의 일부를 제외한 거의 전체 하천이 낙동강 철새도래지(천연기념물, 국가지정문화재 제 179호)에 포함되는 수역으로 상부에 운하천(대감천), 예안천, 주중천, 신어천이 유입되고, 하부에 조만강과 지사천이 유입된다. 유역면적은 303.09 km²이며, 평균 수면적 7.8 km², 저수량 1,840만 m³이며 년중 대부분의 기간동안 수위가 정체되어있다(박 2002). 서낙동강의 주변은 농경지와 양액재배 화훼단지 등으로 이용되고 있으며, 김해 하수처리장이 1999년부터 가동되었고 강동하수처리장이 계획(2011년)되어 있으나 부산시 강서구일대에서 발생하는 하수는 아직 미처리 상태로 유입되고 있고, 김해 하수처리장에서 고도처리가 되지 않기 때문에 N, P의 영양염류는 그대로 방류된다. 더욱이 처리효율을 높이기 위하여 분뇨의 합병처리로 하수처리 전 보다 N과 P의 함량이 더 높은 방류수가 서낙동강에 유입되고 있다. 또한 서낙동강의 하상 저질이나 내수면 양식장에서 발생하는 내부 발생원의 부하량도 수질오염에 크게 작용한다(조 2002). 수변의 갈대군락은 친수공간의 선호로 각종 개발이 이루어지면서 개인 선착장과 축대 쌓기 등으로 거의 파괴되었고 생활하수와 농경지로부터의 오수가 바로 유입되어 수질의 부영양화에 따른 수생식물의 변화가 큰 지역이다.

조사지소는 수생관속식물군락이 형성되어 있으며, 서낙동강의 생태환경을 잘 반영하는 대저수문의 유입부(DA), 예안천의 합류지점에 형성된 신안치등(SI), 주중천 합류지점의 수안치등상부(SU), 서낙동강고 상부 수중에 형성된 가락치등(GA)과 조만강과 서낙동강이 합류하며 형성된 둔치도 상단(DU)의 5지소를 선정하였다(Fig. 1).

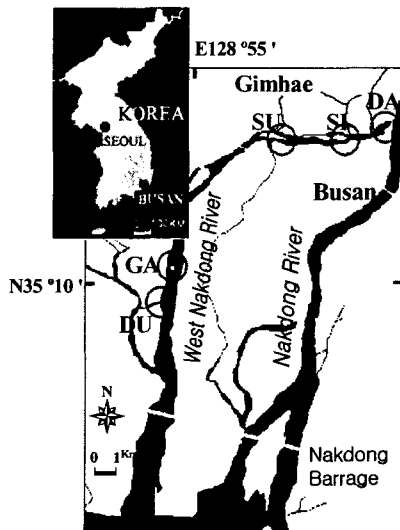


Fig. 1. Map showing the study sites in the West Nakdong River. Open circles are study sites. DA; Daedong, DU; Dunchido, GA; Garak chideung, SI; Sinan chideung, SU; Suan chideung.

연구 방법

물환경의 각 항목은 현장에서의 측정(수온, pH, 염도, 전기전도도, DO 등)과 실험실로 운반한 채수 시료의 영양염류 분석 실험으로 이루어졌다(환경처 1991, APHA 1992). 토양환경요인은 수중의 저토를 원형 채니기(Core Sampler)로 채취하여 표층토를 제거하고 음건시켜 2 mm체로 통과시킨 토양시료를 증류수와 1:5(W/W)로 혼합하여 30분간 진탕시키고 2시간 동안 방치한 후 상등액의 pH, 전기전도도 및 염도를 측정하였다. 저토의 유기물 함량은 작열 감량으로 산출하였으며, 토성(Soil texture)은 체분석(KS F-2309, ASTM D422-63)과 비중계분석(KS F-2302, ASTM D422-63)을 병행하였다.

수생관속식물의 식물상은 2000년 3월부터 2001년 10월까지 출현종을 동정하였으며(이 1989, Makino 1961, Osada 1983), 수생관속식물의 적용 범위는 양치식물 이상과 유관속이 있는 초본성 수생관속식물((Muenscher 1944, Sculthorpe 1967)로 한정하였으며, 생활형(life form)은 Sculthorpe의 분류에 따랐다(최 1986).

수생식물의 생산성 및 군집분석을 위하여 수중 방형구(1 m × 1 m, n=3)내의 식물을 채취하여 건중량을 측정하였다. 수생관속식물의 각 종별 현존량을 기초로 하여 자연대수에 의한 종다양도(Shannon-Weaver 1949), 종풍부도(Menhinick 1964), 균등도(Pielou 1975)를 구하였으며(Ludwig and Reynolds 1998), 출현한 수생식물의 종수와 현존량을 기초로 집괴 분석(cluster analysis)을 실시하여 수지도(dendrogram)를 작성하였다(SPSS 10.1 for Window).

결과 및 고찰

물 환경의 이화학적 특성

조사기간에 측정된 물의 각 항목별 결과는 Fig. 2 에서와 같이 수온, DO, pH는 계절적 특성을 나타내었으며 DO(2.63~14.20 mg/l)와 pH(6.74~9.94)는 각 지소별 변동 폭이 컸다. 탁도는 강수량이 많은 여름부터 증가하기 시작하여 9월에 높게 나타났으며, 아시안 게임 조정경기장 조성공사가 진행 중인 GA지소에서 가장 높았다. 전기전도도는 밀물 때 해수의 영향을 받는 서낙동강 하부의 녹산갑문과 근접한 DU와 GA지소가 다른 지소 보다 높았으며, 계절적으로 갈수기인 겨울 동안에 해수의 영향이 더욱 큰 것을 알 수 있었다. 부유물질(SS)은 수화현상이 일어나는 여름보다 9~10월에 높게 나타났는데, 이러한 결과는 여름 동안 번성하였던 수생식물의 분해에 따른 영향으로 추정된다. 이러한 수질의 물리적 특성은 서낙동강과 조만강에서 이루어진 조(2002)의 결과와 낙동강 본류에서의 결과(박 1988)와 유사한 경향성을 보였다.

수생식물의 생육기간(4월~10월)에 측정된 물의 암모니아(NH₄-N), 아질산(NO₂-N), 질산(NO₃-N), 반응성 인산(PO₄-P), 총인(T-P) 및 총질소(T-N) 함량의 계절적 변화는 Table 1에서와 같다.

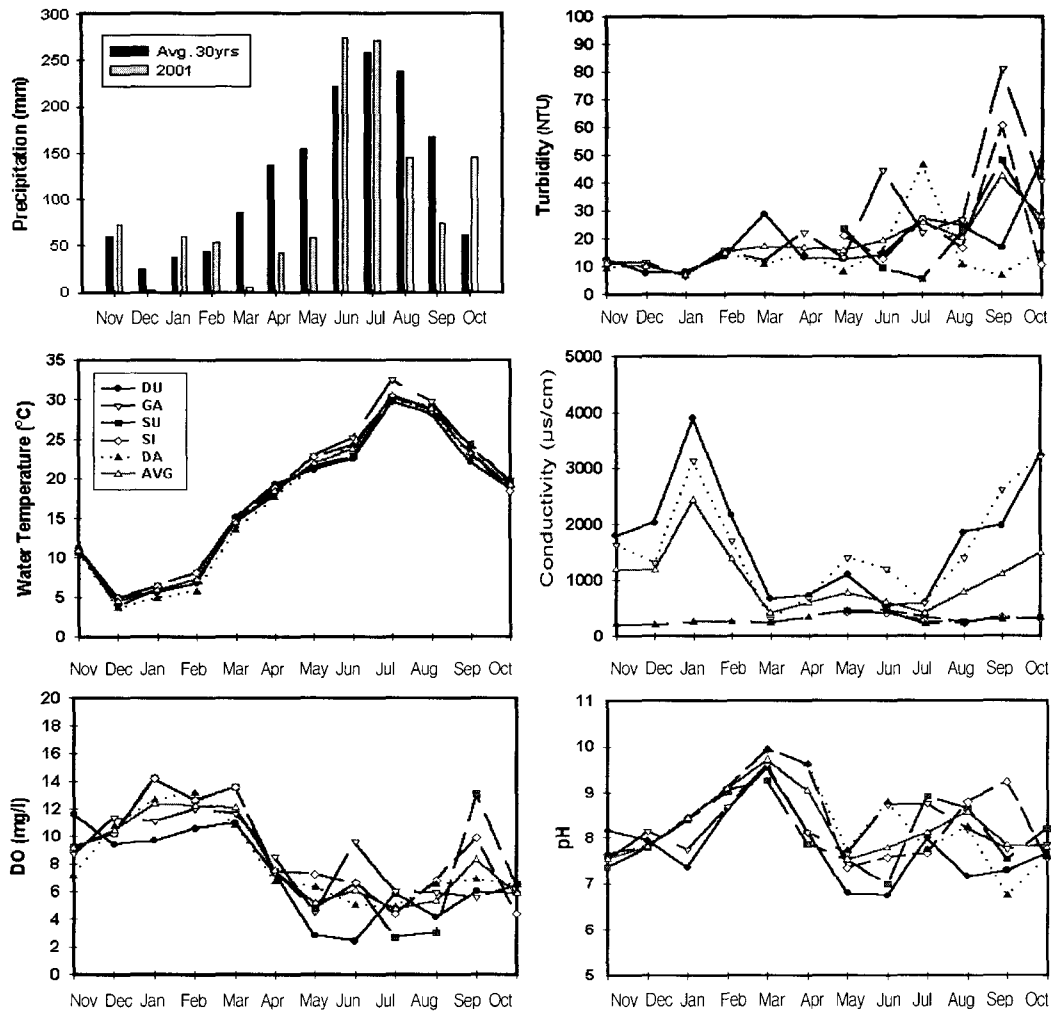


Fig. 2. Seasonal changes of precipitation, temperature, turbidity, dissolved oxygen, pH, electric conductivity and chl-a of water from Nov. 2000 through Oct. 2001.

Table 1. Concentrations of ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, T-N, T-P and chlorophyll-a in water(mean \pm SD, n=3)

SITE	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	T-N	T-P	Chl.a (mg/m ³)
DA	0.40 (\pm 0.25)	0.10 (\pm 0.09)	3.50 (\pm 2.26)	0.17 (\pm 0.15)	4.35 (\pm 1.99)	0.29 (\pm 0.17)	15.8 (\pm 6.52)
SU	0.40 (\pm 0.32)	0.12 (\pm 0.13)	2.99 (\pm 1.88)	0.16 (\pm 0.12)	4.19 (\pm 2.43)	0.32 (\pm 0.09)	19.5 (\pm 19.27)
SI	0.27 (\pm 0.15)	0.18 (\pm 0.23)	3.70 (\pm 2.79)	0.15 (\pm 0.12)	4.30 (\pm 2.73)	0.30 (\pm 0.14)	13.6 (\pm 7.44)
GA	0.48 (\pm 0.34)	0.11 (\pm 0.02)	1.93 (\pm 0.56)	0.11 (\pm 0.02)	3.32 (\pm 0.72)	0.28 (\pm 0.07)	22.6 (\pm 20.98)
DU	0.86 (\pm 0.70)	0.16 (\pm 0.07)	3.40 (\pm 1.10)	0.19 (\pm 0.11)	4.97 (\pm 1.14)	0.35 (\pm 0.09)	23.2 (\pm 14.14)
Average	0.48	0.13	3.10	0.16	4.23	0.31	18.9

서낙동강의 T-N에 의한 수질은 우리나라 호소 수질등급 5급 수 기준의 약 3배에 해당하였으며, T-P는 2배를 초과하였다. Chl. a는 수생식물 생육기간(4월~10월) 평균 18.9 µg/l로 부영양 기준(U.S.EPA 1976)의 약 2배 상태였으나 여름에는 조사 지점에 따라 과영양 기준치(25 µg/l)를 초과하기도 하였다.

수질 환경의 각 항목을 Pearson 상관분석한 결과 TN-NO₂, NO₃-PO₄, NO₃-NO₂, NO₂-PO₄ 사이에 매우 강한 양의 상관성이 있고, 통계적으로 매우 유의하였다. 수온과 Chlorophyll a 간에도 매우 강한 관련성이 있으며, 통계적으로 매우 유의하였다. 지소별로는 DU지소에서 T-N, T-P, PO₄-P, NH₄-N이 가장 높았으며, NO₂-N과 NO₃-N은 SI지소에서 가장 높았다.

토양 환경 특성

조사지역 저토의 평균 pH는 5.5~6.0의 범위로 약산성을 띄었으며, 저토의 유기물 함량은 SI지소에서 6.98%로 가장 높았으며 DU, DA, SU 순으로 낮아져 GA지소(1.77%)에서 가장 낮았다. 저토의 염도는 물에서와 마찬가지로 DU에서 0.44%로 가장 높았다. 전기전도도는 151 µs~614 µs의 범위로 나타났으며, 염도와 같은 경향성을 보였다. 저토의 토양 입도 분포는 DU, GA 및 SU에서는 모래함량이 높았으며, SI에서는 미사, DA에서는 점토의 비율이 높았다. 이 결과로 분류한 토성은 DU지소에서는 양토(loam), GA는 사질양토(loamy sand), SU는 사양토(sandy loam), SI지소는 식양토(clay loam) 그리고 DA는 식토(clay)로 분류되었다(Table 2). 이러한 결과는 박(2002)의 하상퇴적물 입도분포에서 점토의 비율이 59~76%인 것과 차이가 있으나 본 조사에서는 표층토를 제거하였으므로 이에 따른 차이로 판단된다. 조사지소에 따른 전기전도도, 모래의 비율 및 유기물과의 사이에서도 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다.

수생관속식물의 분포

서낙동강에 분포하고 있는 수생식물은 16과 26종 1변종으로 총 27종류이었으며, 생활형 별로 정수식물 7종(30%), 부엽식물 5종(22%), 침수식물 6종(26%), 부유식물 5종(22%) 이었다. 각 지소별 소산종은 DU에서 11과 12종, GA에서 10과 13종, SU에서 12과 17종, SI에서 13과 19종, DA에서 11과 16종으로 SI지소에

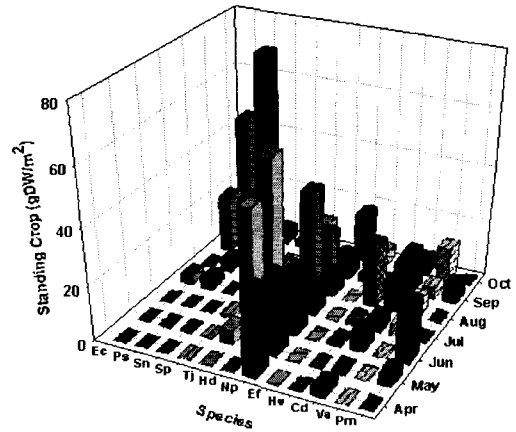


Fig. 3. Seasonal variations of standing crop (g · DW/m²) of each species in vascular hydrophytes.

- Cd; *Ceratophyllum demersum*
- Ec; *Eichhornia crassipes*
- Ef; *Euryale ferox*
- Hd; *Hydrocharis dubia*
- Hv; *Hydrilla verticillata*
- Np; *Nymphoides peltata*
- Pm; *Potamogeton malaiamus*(80%), *P. cristatus*(10%), *P. crispus*(5%) and *P. bertholdii*(5%)
- Ps; *Pistia stratiotes*
- Sn; *Salvinia natans*
- Sp; *Spirodela polyrhiza*
- Tj; *Trapa japonica*
- Va; *Vallisneria asiatica*

서 가장 많은 종이 출현하였다(Table 3).

서낙동강의 지소별 우점종은 계절적 소장(消長)에 따라 차이가 있으나(Fig. 3), 연평균 현존량과 피도에 따르면, DU지소에는 마름(*Trapa japonica*)이 우점하였고, 노랑어리연꽃(*Nymphoides peltata*)이 아우점종이었으며, GA와 SU에서는 마름이, DA지소에서는 노랑어리연꽃이 각각 우점하였다. SI지소에는 자라풀(*Hydrocharis dubia*)이 우점종이었고, 검정말이 아우점종이었다.

Table 2. Summary of sediment properties and soil texture in the West Nakdong River

SITE	pH	Sal. (%)	Con. (µs/cm)	OM (%)	Soil Texture			Classification*
					Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	
DU	5.7	0.44	614	3.05	51.5	31.2	17.3	L
GA	5.5	0.20	446	1.77	80.3	15.6	4.1	LS
SU	5.9	0.07	151	2.90	73.3	14.6	12.1	SL
SI	5.8	0.13	321	6.98	22.9	48.1	29.0	CL
DA	6.0	0.10	161	4.58	11.2	30.5	58.3	C

Sal.; salinity, Con.; conductivity, OM; organic matter.

* L; Loam, LS; Loamy sand, SL; Sandy loam, CL; Clay loam, C; Clay.

Table 3. Flora list and life-form of the vascular hydrophytes in the West Nakdong River

Family name	Scientific name	Korean name	2001	1985*	Life form**
Salviniaceae	<i>Salvinia natans</i>	생이가래	○	○	Ff
Nymphaeaceae	<i>Euryale ferox</i>	가시연꽃	○	○	Fl
	<i>Nelumbo nucifera</i>	연꽃	○	○	Fl
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i>	붕어마름	○	○	S
Hydrocaryaceae	<i>Trapa japonica</i>	마름	○	○	Fl
Halorrhagaceae	<i>Myriophyllum spicatum</i>	이삭물수세미	×	○	S
Gentianaceae	<i>Nymphoides peltata</i>	노랑어리연꽃	○	○	Fl
	<i>N. indica</i>	어리연꽃	×	○	Fl
Lobeliaceae	<i>Lobelia chinensis</i>	수염가래꽃	○	○	E
Najadaceae	<i>Najas marina</i>	민나자스말	×	○	S
	<i>N. minor</i>	툭니다자스말	×	○	S
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton cristatus</i>	가는가래	○	○	Fl
	<i>P. malaiamus</i>	대가래	○	○	S
	<i>P. crispus</i>	말즘	○	○	S
	<i>P. berchtoldii</i>	실말	○	○	S
Alismataceae	<i>Sagittaria pygmaea</i>	울미	○	○	E
	<i>S. trifolia</i>	벚풀	○	○	E
	<i>S. aginashi</i>	보풀	○	○	E
Hydrocharitaceae	<i>Vallisneria asiatica</i>	나사말	○	○	S
	<i>Hydrilla verticillata</i>	검정말	○	○	S
	<i>Hydrocharis dubia</i>	자라풀	○	○	Ff
Pontederiaceae	<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>	물닭개비	○	○	E
	<i>Eichhornia crassipes</i>	부레옥잠	○	×	Ff
Gramineae	<i>Zizania latifolia</i>	줄	○	○	E
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i>	물상추	○	×	Ff
Lemnaceae	<i>Spirodela polyrhiza</i>	개구리밥	○	○	Ff
Typhaceae	<i>Typha angustata</i>	애기부들	○	○	E

* Data from Yoon (1987)

** Life form E; emergent hydrophytes, Ff; free floating hydrophytes, Fl; floating leaf hydrophytes, S; submerged hydrophytes.

그러나 외래종인 물상추(*Pistia stratiotes*)와 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)이 유역의 지천으로부터 서낙동강으로 유입되었으며, 그 이후 증식되어 10월에는 서낙동강 전체에 확산되었다. 외래종 번성 이후 10월에는 DU에서의 우점종이 물상추로 바뀌었고, GA에서는 물상추와 부레옥잠이 우점종과 아우점종이 되었으며, SU에서는 부레옥잠과 나사말이 각각 우점종과 아우점종으로, SI에서는 물상추로 우점종이 바뀌었다. DA지소는 외래종 번성 전과 후 모두 노랑어리연꽃이 우점하였다. DA지소는 외래종의 유입천으로 예상되는 예안천 보다 북쪽에 위치하여 부유식물들이 역으로 확산되지 못하다가 10월에 강한 역풍이 불고 난 이후 DA지소에서 출현하였다. 이러한 변화는 계절적 천이라기 보다는 전년도까지 분포하지 않았던 외래종 물상추와 부레

옥잠의 인위적인 유입 이후 빠른 증식에 따른 교란으로 자생종인 자라풀과 개구리밥, 생이가래의 현저한 쇠퇴를 가져온 것으로 판단된다.

출현종의 변화를 현존량을 기초로 생활형에 따라 살펴보면 Fig. 4와 같다. 4월과 5월에는 부엽식물의 조성비율이 컸으며, 그 비율은 점차 감소하면서 침수식물의 비율이 다소 증가하였으나, 7월 이후부터는 부유식물의 비율이 점차 증가하여 10월에는 약 70%에 달하였다. 생활형별 출현종의 변화는 DU와 GA지소의 조사에서 1985년에 비하여 침수식물의 비율이 감소하고, 수질오염에 강한 반부엽식물인 대가래와 침수식물 중 비교적 수질오염에 강한 검정말과 붕어마름(國井秀伸·生嶋 功 1975)의 비율이 높아졌던 것(윤 1993)에 비하여 본 연구 결과는 부엽식물과

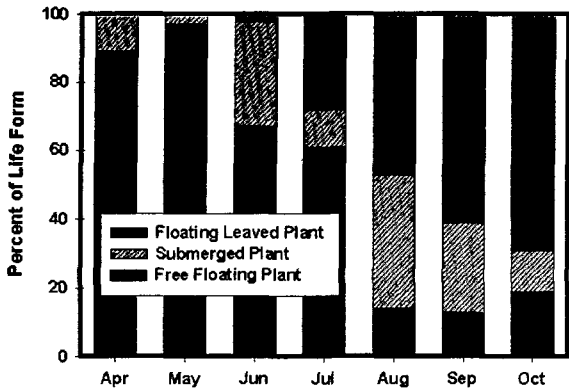


Fig. 4. Seasonal changes in proportion of life-form classes based on biomass ($g \cdot DW/m^2$) of vascular hydrophytes in the West Nakdong River.

부유식물로의 변화를 나타내었다. 또한 외래종의 유입은 1970년대에 일본 중부 이남의 평야에 있는 다수의 호소나 지소 및 고도가 높은 諏訪湖와 湯湖에서 발견되었으며, 호수들의 부영양화가 진행되어 투명도가 급격히 낮아지면서 재래의 수생식물은 쇠퇴하였으나 외래종은 증식력이 강하여 수역에 대군락을 이루어 부영양화의 지표가 되었다(生嶋 1975). 외래수초 중 이미 귀화종이 된 부레옥잠이 서낙동강에 대번성하고, 최근에 도입된 물상추가 대량 증식된 현황으로 보아 우리나라의 담수계에도 부영양화에 따른 자생종의 쇠퇴와 외래 수초의 정착화 단계에 이르렀음을 알 수 있다.

수생식물의 현존량

수생식물군락에서 각종의 평균 현존량의 변화는 Fig. 3에서와 같이 월별로 출현종과 현존량이 다르게 나타났다. 각종의 최대 현존량을 순생산으로 간주하면 최대치는 $220.76g \cdot DW/m^2$ 으로 물상추(10월, DU)이었으며, 부레옥잠 $164.69g \cdot DW/m^2$ (10월, DU), 마름이 $145.92g \cdot DW/m^2$ (6월, DU), 자라풀 $111.64g \cdot DW/m^2$ (8월, SI), 검정말 $93.86g \cdot DW/m^2$ (8월, SI), 노랑어리연꽃 $87.5g \cdot DW/m^2$ (5월, DU), 나사말 $56.57g \cdot DW/m^2$ (10월, SU), 붕어마름 $38.65g \cdot DW/m^2$ (8월, GA), 가시연 $24.86g \cdot DW/m^2$ (10월, SI) 등의 순이었다. 이들 순생산량은 오(1988)의 평균수심 150cm인 정양호에서의 결과와 비교하면 마름의 생산성이 27.5%로 아주 낮고, 침수식물종인 붕어마름과 검정말의 생산성은 4.2배에 달하였다.

각 지소별 현존량 변화는 Fig. 5에서와 같이 생육 초기에 DU와 DA지소에서 높았으나 외래종의 번성 이후 10월에는 DU지소에서 서낙동강 전체의 최대 현존량을 나타내었다. 생육기간의 지소별 총현존량은 DU지소에서 가장 높았고, SI, DA, SU, GA 순으로 낮아졌다. DU지소는 다른 지소에서 보다 영양염류의 농도가 높고(Table 1), 조만강과 연결되며, 상류로부터 유하된 개체들이 집적되는 지형으로 부유식물이 증식되어 고밀도로 되어도

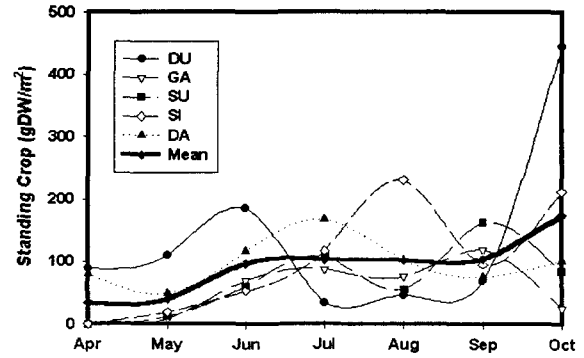


Fig. 5. Seasonal variations of standing crop ($g \cdot DW/m^2$) in vascular hydrophytes at each site.

바람이나 물의 흐름에 의해 쉽게 분산되지 않아 총현존량이 가장 높았다. 수생식물의 현존량과 수질의 각 항목간 상관관계를 분석하였으나 PO_4-P 만 상당한 상관관계(0.42)를 지니고, 통계적으로도 유의하였다($P < 0.05$). 식물성 플랑크톤의 양을 간접적으로 알 수 있는 엽록소 a의 양은 수온과 매우 높은 관련성이 있었으며, 통계적으로 매우 유의하였다(0.70, $p < 0.01$).

서낙동강 전체 수생관속식물의 평균 현존량 증가는 Fig. 5에서와 같이 4월에서 5월의 증가율이 1.2(increasing rate/month)이었고, 5월~6월의 증가율이 2.4로 가장 높았으며, 이후 6~7월에 1.1, 7~8월에 1.0이었으며, 8~9월에 1.0, 9~10월에 1.7로서 9월 이후 다시 급격한 성장을 보여 10월의 현존량은 7월의 1.7배에 달하였다. 일반적으로 수생식물군락은 7월과 8월에 최대 현존량을 나타내고 그 이후 점차 감소하게 되는데 1984년의 DU와 GA의 조사에서 10월의 현존량이 여름 최대 현존량의 44.1%, 1985년에는 17.9%로 감소하였으나(윤 1987) 본 결과에서 두 지소의 평균은 여름보다 가을에 384%로 급격히 증가하였다. 그러나 외래 유입종 2종을 제외하면 '84년의 현존량 보다는 낮지만 '85년의 10월 현존량과 거의 같았다. 따라서 2001년의 10월 현존량의 급격한 증가는 우점종 변화에서 언급한 바와 같이 외부로부터 유입된 외래종 물상추와 부레옥잠의 증식에 기인한 결과로 서낙동강 수생식물군락에 교란이 심하게 일어난 것을 알 수 있다.

지소간 특기할 사항은 SI와 SU지소에서 멸종위기에 처한 식물 가시연꽃(*Euryale ferox*)과 감소추세에 있어 특별관리식물로 지정된(한국자연보존협회 1989, 자연보호중앙협의회 1996) 자라풀(*Hydrocharis dubia*)이 출현하였다. DU와 DA 지소에서 우점하고 있는 노랑어리연꽃은 봄부터 가을까지 개화기간이 길고 꽃이 아름다워 연못 등 조경에 활용할 수 있는 자생종으로서 가치가 높다.

수질의 부영양화에 따른 수생식물의 변화

유역 도시의 개발 확장과 인구집중에 의한 수질의 부영양화에 따른 소산식물의 변화를 알기 위하여 낙동강 하구둑 축조 당시(윤 1987)와 비교한 결과 침수식물인 민나자스말(*Najas*

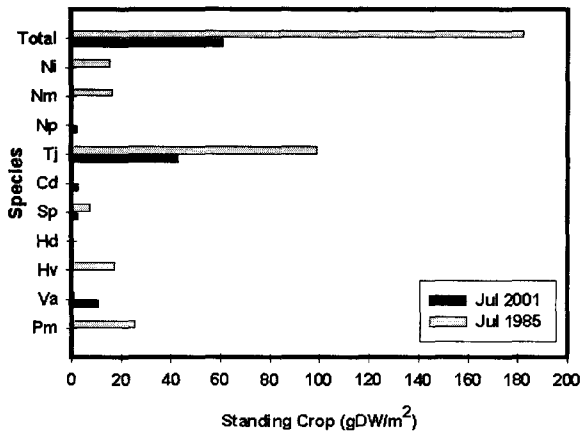


Fig. 6. Comparison of 2001 with 1985 in standing corp (g · DW/m²) of vascular hydrophytes.

Ni; *Najas minor*, Nm; *N. marina*, Np; *Nymphoides peltata*, Tj; *Trapa japonica*, Cd; *Ceratophyllum demersum*, Sp; *Spirodella polyrhiza*, Hd; *Hydrocharis dubia*, Hv; *Hydrilla verticillata*, Va; *Vallisneria asiatica*, Pm; *Potamogeton malaianus*, *P. crispus*, *P. cristatus* and *P. berchtoldii*.

*marina*과 톱니나자스말(*N. minor*), 이삭물수세미(*Myriophyllum spicatum*) 등은 1992년에 이미 소멸되었고(윤 1993) 본 조사에서는 어리연꽃(*Nymphoides indica*)까지 소멸되었다. 또한 1985년의 조사치와 비교 가능한 GA와 DU 두 지소의 최대 현존량(7월)의 평균값을 비교하면 전체 현존량은 '85년에 비해 33.5%로 크게 감소하였다. 이러한 감소는 우점종인 마름(감소율 56.7%)의 감소에 기인하였다 (Fig. 6). 이러한 종 구성의 변화와 현존량의 감소는 서낙동강의 유입원수인 낙동강 본류수 자체가 하구둑 축조 이후 부영양화 되었고, 조만강을 통하여 유입되는 김해하수 처리장 방류수도 처리전 보다도 N과 P가 더 높으며(조 등 2002), 서낙동강의 수변에 규제 없이 들어선 각종 요식업소로부터의 미처리 하수의 유입이 크게 영향을 미친 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 이제는 외부로부터의 유입 없이도 식물성 플랑크톤에 의한 자체생성 유기물과 하상 저질이나 내수면 양식장에서 발생하는 내부 발생원의 부하량(조 1997, 조 등 2002)도 수질오염에 크게 작용하였을 것으로 판단된다.

수생관속식물의 군집 분석

월별 각 지소에 출현한 종수와 평균 현존량으로부터 구한 종 다양도 및 균등도 지수와 군집유사도 지수는 Table 4에서와 같이 SI지소에서 종다양도와 균등도가 가장 높게 나타났으며, 우점도는 DA지소에서 가장 높았다.

각 지소별 출현종 수와 현존량에 의한 군집간 유사도는 GA와 SU지소에서 가장 높았으며, SU-DU, GA-DU 지소간 유사도가 높았고, SI-GA, DA-SU지소간에는 이질적 군집으로 나타났

Table 4. Indices of richness, species diversity, evenness and dominance of vascular hydrophyte community in the West Nakdong River

Site	S	d	H'	J	1-J
DU	12	11.00	1.76	0.73	0.27
GA	12	19.06	1.81	0.73	0.27
SU	13	18.45	2.06	0.81	0.19
SI	12	13.90	2.08	0.84	0.16
DA	10	11.89	1.34	0.58	0.42

S; number of species, H'; Shannon diversity, d; Menhinick richness, J; evenness, using H', 1-J; dominance using H'.

Note : In H' and J', natural logarithms(log_e) are employed.

Site DA; Daedong, DU; Dunchido, GA; Garak chideung, SI; Sinan chideung, SU; Suan chideung.

다. 집괴분석한 수지도(dendrogram)에 따르면 서낙동강의 수생관속식물군집은 DU-SI 및 GA가 같은 특성을 가진 군집으로, SU 지소와 DA지소는 각각 서로 다른 군집으로 구분되었다(Fig. 7).

수질의 부영양화와 외부 유입종인 물상추와 부레옥잠의 대변성은 서낙동강의 수질 개선에 기여하였을 것으로 기대되었으나 수치상의 개선 효과는 뚜렷하지 않았다(윤 2002). 그러나 강수량이 30년 평균 값보다도 적었음에도 2001년에는 서낙동강에 식물성 플랑크톤에 의한 수화현상이 발생하지 않은 것(조, 2002)은 부유식물의 차광 효과에 의한 Chl. a의 감소와 깊은 관계가 있을 것으로 생각된다.

이러한 유익한 효과에도 불구하고 외래종의 대변성은 동일한 생태적 지위를 갖는 자라풀이나 생이가래, 개구리밥 등과 경쟁에 의해 자생식물군집의 조성종의 변화를 초래하여 수생생태계를 교란시키고, 대량 번식한 수생식물을 적당한 시기에 제거하지 않을 경우 유기물 생성에 의해 BOD 증가의 원인이 된다. 뿐만 아니라 수역을 조정경기장과 같은 다른 용도로 이용하고자 할 때 증식된 부유식물들은 장애 요인이 되며, 또한 차광에 의한 침수식물종의 소멸이 예상된다. 특히 이 수역의 수생식물은 수급류의 먹이식물로 이용되므로 특별한 관리와 보호대책이 필요하다. 따라서 수생관속식물의 체계적이고 종합적인 조사가 지속

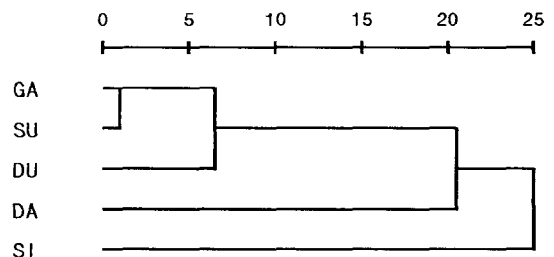


Fig. 7. Dendrogram for cluster analysis of 5 sites in the West Nakdong River, using Relative Euclidian distances.

적으로 이루어져야 할 것이며, 현재 진행되고 있는 하안 정비(서낙동강 하천 개수공사)시 환경변화에 민감한 멸종위기종인 가시연꽃과 감소추세종인 자라풀의 보호를 위한 특별 대책이 강구되어야 할 것이다.

인용문헌

- 건설교통부. 부산지방국토관리청, 2001. 서낙동강 하천 개수공사 환경영향평가서. 298 p.
- 김만덕. 2002. 서낙동강 수질개선방안 타당성 조사. 인제대학교 부설 낙동강유역환경연구센터 심포지움 논문집. 11: 153-179.
- 박수영, 윤성윤, 이기철, 김귀곤, 배덕호, 김형수. 경남발전연구원. 2000. 습지학 원론. 도서출판 은혜기획. 서울. 414 p.
- 박재현. 2002. 수문조작에 의한 서낙동강 수질 개선방안 연구. 인제대학교 부설 낙동강유역 환경연구센터 심포지움 논문집. 11: 129-141
- 오경환. 1988. 정양호의 생태계에 있어서 수생 관속식물의 군집 구조와 생산성 및 영양염류의 순환. 서울대 대학원 박사학위논문. 141 p.
- 윤혜순. 1987. 낙동강 하구에서의 수금류 식이식물의 현존량과 이용에 관한 연구. 경희대학교 박사학위논문. 133 p.
- 윤혜순. 1993. 낙동강 하구언 축조 후의 수생 관속식물의 현존량 변화에 관한 연구. 동아대학교 부설 환경문제연구소 연구보고. 16(1): 83-95.
- 윤혜순. 2002. 서낙동강 수생관속식물의 분포와 수질정화능 평가. 인제대학교 부설 낙동강유역환경연구센터 심포지움 논문집. pp. 75-104.
- 이창복. 1989. 대한식물도감. 향문사. 990 p.
- 자연보호중앙협의회. 1996. 우선 조사 생물종 및 검토 대상종 I. 1662 p.
- 조경제. 1997. 낙동강 하구둑 축조 10년을 말한다. 낙동강 하구둑 축조 10년 심포지움 경성대조류연구소. pp. 14-22.
- 조경제, 신제기, 이옥희, 정민경, 이선애. 2002. 서낙동강-조만강 수질 부영양화에 따른 오 염상과 수질개선에 대한 고찰. 인제대학교 부설 낙동강유역환경연구센터 심포지움 논문집. pp. 11:1-48.
- 주기재. 1995. 낙동강 생태연구 1957-1994. 금정. 177 p.
- 최홍근. 1986. 한국산 수생관속식물지. 서울대 박사학위논문. 258 p.
- 한국자연보존협회. 1989. 한국의 희귀 및 위기동식물 도감. 165 p.
- 國井秀伸 · 生嶋 功. 1975. 水草. In 圖說 環境汚 境汚 染과 指標生物. 松中昭一. 朝倉書店. 東京. p. 176.
- 藤原一繪 1972. 濕原の植物社會. In 佐々木好之 編. 生態學講座. 4. 植物社會學. 58-60.
- 生嶋 功. 1975. 生物指標としての水草 In 日本 生態學會 環境問題專門委員會, 環境と生物指標2(水界編). 共立出版株式會社. 東京. pp. 90-96.
- APHA, AWWA, WEF, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington D.C.
- Botto, J. G. and W. H. Patrick Jr. 1978. Role of Wetlands in the Removal of Suspended Sediments. In P.E. Greeson, J. R. Clark and J. E. Clark(eds.). Wetland Functions and Values ; The State of Our Understanding. Minesota MN., American Resources Association, Proceedings of National Symposia on Wetlands. pp. 479-489.
- Goldmann C. R. and A. J. Horne. 1983. Limnology. McGraw-Hill, New York, NY., U.S.A. 464 p.
- Hutchinson, G. E. 1975. A treatise on limnology III. Limnological botany. John Wiley and Sons. Inc. N.Y. 660 p.
- Kang, S. J. 1996. Present Conditions and Destruction State of Inland Wetlands in Korea. "Wetland, The Land of Harmony and Life". Green Korea United. pp. 9-27.
- Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds, 1998. Statistical Ecology. John Wiley and Sons. N.Y. USA. 71-103.
- NEDECO, 1986. Nakdong Estuary Barrage and Reclamation Project Environmental Projection Final Report vol. II. 48-58.
- Makino, T. 1961. Revised Makino's. New Illustrated Flora of Japan. the Horyukan Co. Tokyo, Japan. 1404 p.
- Moshiri, G. A. 1993. Constructed wetlands for water quality improvement. Lewis Publishers. pp. 349-447.
- Muenschler, W. C. 1944. Aquatic plants of the United States. Comstock Publishing Company Inc. Ithaca. 374 p.
- Osada D. 1983. Colored Illustrations of Naturalized Plants of Japan. Hoikusha Publishing Co., 425 p.
- Pielou, E. C. 1975. Ecological Diversity. Wiley-interscience, New York. 165 p.
- Sculthorpe, C. D. 1967. The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold. London. 610 p.
- Shannon, C. E. and W. Weaver, 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana. 117 p.
- Simpson, R. L. and D. F. Whigham. 1978. Seasonal patterns of nutrient movement in freshwater tidal marsh. In R.E. Good *et al.*(eds.), Freshwater wetlands : Ecological process and management potential Academic Press, N.Y. pp. 243-257.
- U.S.EPA. 1976. Water Quality Criteria Research of the U.S. Environmental Protection Agency. Proceeding of an EPA Sponsored Symposium. EPA-600 (3-76-079):185.
- Wetzel, R. G. 1983. Limnology (2nd ed.). Saunders College Pub., Philadelphia. 857 p.

(2002년 7월 12일 접수 ; 2002년 8월 2일 채택)

Physico-Chemical Characteristics of Water and Distribution of Vascular Hydrophytes in the West Nakdong River, South Korea

Yoon, Hae-Soon[†], Gu-Yeon Kim*, Seong-Hwan Kim**, Won-Hwa Lee** and Gi-Chul Yi**

Department of Biology, Dong-a University, Busan, 604-714, Korea

*Department of Biology, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea**

*Department of Landscape Architecture, Dong-a University, Busan, 604-714, Korea***

ABSTRACT : The physico-chemical characteristics of water and sediment, and structures of vegetation of the vascular hydrophytes were investigated in the West Nakdong River. Water quality was eutrophic according to the mean values and the ranges of water properties such as pH, DO, BOD, chlorophyll a, total nitrogen and phosphate, and other nutrients. A few cases were hypereutrophic for chlorophyll a level in summer. Soil reaction was weak acid. Composition of sediment was mainly sand except in SI(Sinan chideung) of which was mainly clay, and SU(Suan chideung) of which was mainly silt. Flora of vascular hydrophyte had 26 species and 1 variety comprising 16 families. *Trapa japonica* was dominant species in the sites of DU(Dunchido), GA(Garak chideung) and SU. *Nymphoides peltata* and *Hydrocharis dubia* dominated in DA and SI, respectively. Species diversity and evenness were relatively high in SI and SU but dominance was high in DA. After June, water lettuce(*Pistia stratiotes*) and water hyacinth(*Eichhornia crassipes*) were flowed from tributary to the river. Standing crop of macrohydrophytes was high in DA from April to August, but it showed maximum standing crop (445g·dw/m²) in DU after disturbance by explosive growth of exotic plants in October. In comparison with those in 1985, total productivities in DU and GA decreased to 33.5%, and the reduction ratio of dominant species, *Trapa japonica* was 56.7%. *Najas marina*, *N. minor*, *Myriophyllum spicatum* and *Nymphoides indica* have disappeared ever since the Nakdong barrage was constructed in the Nakdong river. They were divided into three groups (GA-SU-DU, DA, SI) by cluster analysis. Introduction of the exotic species in this river caused decreasing of endemic plants including endangered species *Euryale ferox* and rare species *Hydrocharis dubia*, and food plants for waterfowl such as *Trapa japonica*, *Vallisneria asiatica* and *Potamogeton crispus*.

Key words : *Eichhornia crassipes*, *Euryale ferox*, *Pistia stratiotes*, Vascular hydrophytes, West Nakdong River
