

서낙동강 본류 및 낙동강 둔치 습지의 수생식물 생물량 분포

김구연* · 김지윤¹

부산대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹부산대학교 자연과학대학 생명시스템학과

Standing Crop Distribution of Aquatic Plants in the West Nakdong River and Riparian Wetlands in the Nakdong River. Kim, Gu-Yeon* and Ji Yoon Kim¹ (Department of Biological Sciences, College of Natural Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea; ¹Department of Integrated Biological Science, College of Natural Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea)

Abstract Standing crop distribution of aquatic plants in the West Nakdong River and riparian wetlands in the Nakdong River were surveyed in May, July and September, 2010. Total 25 aquatic macrophyte species (submerged: 9, leaf-floating: 3, free-floating: 5, emergent: 8) were observed during the survey periods. Distribution area of aquatic plants and proportion of submerged communities were highest in Garakchi-deung (212,032 m², 72.7%). The distribution area of aquatic plants was highest in *Phragmites australis* community (421,584 m²), followed by *Hydrilla verticillata*-*Vallisneria natans* community (181,511 m²), *Potamogeton wrightii*-*Vallisneria natans* community (61,604 m²), and *Hydrocharis dubia* community (49,709 m²). Garakchi-deung (212,032 kg) also had the highest aquatic plant production, followed by Suanchi-deung (15,546 kg), Daedong (5,813 kg), Dunchi-do (3,963 kg), Maekdo (1,463 kg), Yeommak (571 kg), Jungsa-do (530 kg), and Shinan (300 kg). Average standing crop of the study area were 147.8±20.8 g DW · m⁻² in 1988, 96.1±20.0 g DW · m⁻² in 2000, and 172.6±76.1 g DW · m⁻² in 2010. For a sustainable management of river habitat and food source, aquatic plant should concurrently be surveyed with river environmental variables (i.e. sediment, nutrient, flow).

Key words: aquatic plant, standing crop, vegetation, West Nakdong river, Nakdong river

서 론

수생식물은 하천 및 습지생태계의 1차 생산자로서 수생태계의 기능과 구조를 유지하는 다양한 역할들이 강조되어왔다 (Carpenter and Lodge, 1986). 하도와 습지에 발달한 수생식물 군락은 그 분포와 생물량에 따라 수체의 흐름 (Sand-Jensen and Pedersen, 1999; Dodds and

Biggs, 2002), 퇴적 과정 (Clark and Wharton, 2001), 빛 투과 (Titus and Adams, 1979; Yeh *et al.*, 2011), 용존산소량 변화와 영양염순환 (Desmet *et al.*, 2011) 등에 영향을 주며 수생태계의 다양한 생물분류군과 직·간접적으로 연계되어있어 이들의 시공간적 변화 특성은 생태계 관리에 중요한 의미를 가진다.

서낙동강은 과거 낙동강 본류에 속했으나 1934년 상류부에 대저수문과 하류부의 녹산수문 설치 본류와 분리되어 정체되는 특성을 보여 수생식물 번성 군락이 계절별로 번성하고 있다. 서낙동강 권역에는 낙동강하구권역에 도래하는 조류 169종 중 96종이 도래하여 수계 생물서식처로서도 중요성이 높은 지역이다 (Busan metro-

Manuscript received 2 July 2013, revised 22 July 2013, revision accepted 10 January 2014
* Corresponding author: Tel: +82-51-510-3617, Fax: +82-51-583-0172, E-mail: kimguyeon@pusan.ac.kr

politan city, 2011). 1980~1990년대 전후로 인근지역의 도시화와 유역농경지의 용수원으로서 수요가 증가하면서 하천 및 수변부의 개발이 진행되어왔으며 1990~2000년대에는 부영양화에 따른 식물플랑크톤(Choi *et al.*, 2002) 및 수생식물의 대변성이 발생하기도 하였다(Yoon *et al.*, 2002). 낙동강 하류는 1987년 하구둑 건설을 전후로 기수역에서 담수화가 진행되었고, 1990년대 전후 도시주변 녹지조성을 위해 수변부 둔치체육공원, 야생화단지, 생태공원 등의 조성으로 농경지 이전 등이 진행되어 기존 수변환경에 변화가 발생하였다.

서낙동강과 낙동강하구 둔치습지에 관한 연구는 강의 부영양화 상태와 정체수역 특성으로 인해 수질의 동태(Kim, 1986; Park *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2007), 중금속 분포(Park *et al.*, 1994; Hwang *et al.*, 1997; We *et al.*, 2012), 플랑크톤의 대변성(Jeon and Cho, 2004), 수급류 도래(Hahm and Kang, 1997; Hahm and Kim, 1999), 수질, 조류 장기 모니터링(Kim *et al.*, 2011) 등에 대한 주제별 연구가 진행되어져 왔다. 수생식물 분포 또는 생물량 특성에 대해서는 서낙동강과 낙동강 본류 생물량을 조사한 Chung *et al.* (1989)과 낙동강의 수질특성과 수생식물 생체량을 비교한 Yoon *et al.* (2002)의 연구가 있다. Kim *et al.* (2005)는 서낙동강과 낙동강 본류의 수생식물 분포와 하구갯벌의 수생식물 생물량 특성을 연구하였고, Kim *et al.* (2006)은 서낙동강 지류의 식생을 조사하였다. 본 연구는 강 유입부와 하류에 건설된 수문으로 인해 수환경에 인위적 변화가 발생한 서낙동강 및 낙동강하류 둔치를 대상으로 주요정점의 수생식물 분포 및 생체량을 조사하고 문헌자료를 참고하여 지난 30년간 생물량 수준을 비교하였다. 이를 통해 현 낙동강에서 논의되고 있는 하류 수문 개방에 대한 수생식물 군집의 영향분석에 현황자료를 제공하고 장기적 수생식물 생육지 및 현존량 변화 모니터링에 있어 비교 기초자료로 활용하고자 수행되었다.

재료 및 방법

조사지점은 수생식물 군락이 발달한 서낙동강 본류(N 35°07'21" E 128°53'40"~N 35°13'57" E 128°59'37")와 낙동강 본류의 하부 둔치습지(N 35°06'40" E 128°56'00"~N 35°09'06" E 128°58'10")를 대상으로 하였다(Fig. 1). 서낙동강 본류에는 대저수문의 유입부인 대동(A), 예안천의 합류지점에 형성된 신안(B), 주중천 합류지점 수안치등(C), 신어천 합류지점 중사도(D),

강동교와 서낙동강교 구간의 가락치등(E), 조만강과 합류하여 형성된 둔치도(F) 6지역으로 구분하였다. 낙동강 본류는 맥도(G)와 염막둔치(H) 2개 지역을 선정하였다. 삼락, 화명, 강서 둔치 지역은 수변공사가 진행되어 조사지역에서 제외하였다.

과거 조사자료와 비교를 위해 참고문헌과 동일한 조사지역의 수생식물 식생도를 작성하였고, 과거 수생식물 생물량은 1989년도에 실시한 Chung *et al.* (1989)의 연구 자료를 이용하여 1990년대, 2000년대, 2010년대의 생물량 특성을 비교 분석하였다. 수생식물의 종조사는 2000년과 2010년 5월, 7월, 9월에 지점별로 5회 이상 현장에서 갈고리를 이용하여 식물을 채취 후 동정하였으며, 미동정 개체는 촬영 후 채집하고 현미경 등을 이용하여 세부기관 특징을 확인 후 동정하였다. 종 동정은 Choi (2000)와 Lee (2006)의 도감과 The Plant List (2013)을 참고하였고 수생관속식물의 적용범위는 양치식물 이상과 유관속이 있는 초본성 수생관속식물로 한정하고 본류 중심에서 수변 내에 생육하는 종을 조사하였다.

수생식물의 공간적 분포 조사를 위해 현장에서 위성항법장치(GPS Vista, Garmin)와 거리측정기(Laser 400, Nikon)를 이용하여 주요군락의 위치를 기록하고 항공사진과 국토지리정보원 1:5,000 수치지도에 표시하여 현존식생도를 제작하였다. 수생식물분포 표현은 ArcGIS 10.0 (ESRI)을 이용하여 군락의 좌표를 표기하고 군락 경계를 디지털화 하였다. 도면작업은 국토지리정보원의 기준에 따라 GRS80 타원체의 TM 중부원점(127.0°)을 이용하였다. 수생식물의 생물량 분석을 위해 현장에서 1 m×1 m 또는 50 cm×50 cm 크기의 부유 방형구를 설치하고 출현종의 피도(%)를 기록한 후 갈퀴를 이용하여 채취하였다. 생물량은 침수, 부엽, 부유식물을 대상으로 조사하였으며 채취한 식물체는 중별로 구분하고 80°C 건조기에서 48시간 건조시켜 건조중량을 기록하였다. 군락 별 총생물량은 건조량과 방형구 면적으로 수생식물 종별 단위면적당 건조량을 계산한 후, 전체 분포면적을 곱하여 지역 별 총 생물량을 추정하였다.

$$\text{지점 별 수생식물 총생물량(TW)} = \sum_{i=1}^n W_i \times A_i$$

$$W_i : i \text{ 군락의 단위면적 당 평균 생물량(g DW} \cdot \text{m}^{-2})$$

$$A_i : i \text{ 종의 군락 면적(m}^2\text{)}$$

반복 조사 분석 값은 평균±표준오차(S.E.)로 표기하였으며, 주요 조사 정점 간 유사도 분석을 위해 수생식물 출현 피도등급을 이용하여 군집 분석을 하였다(SPSS 20.0 IBM). 군집분석은 Paired group 알고리즘을 적용한 Bray-Curtis 유사도를 이용하였다. 군집의 유의성은 코페

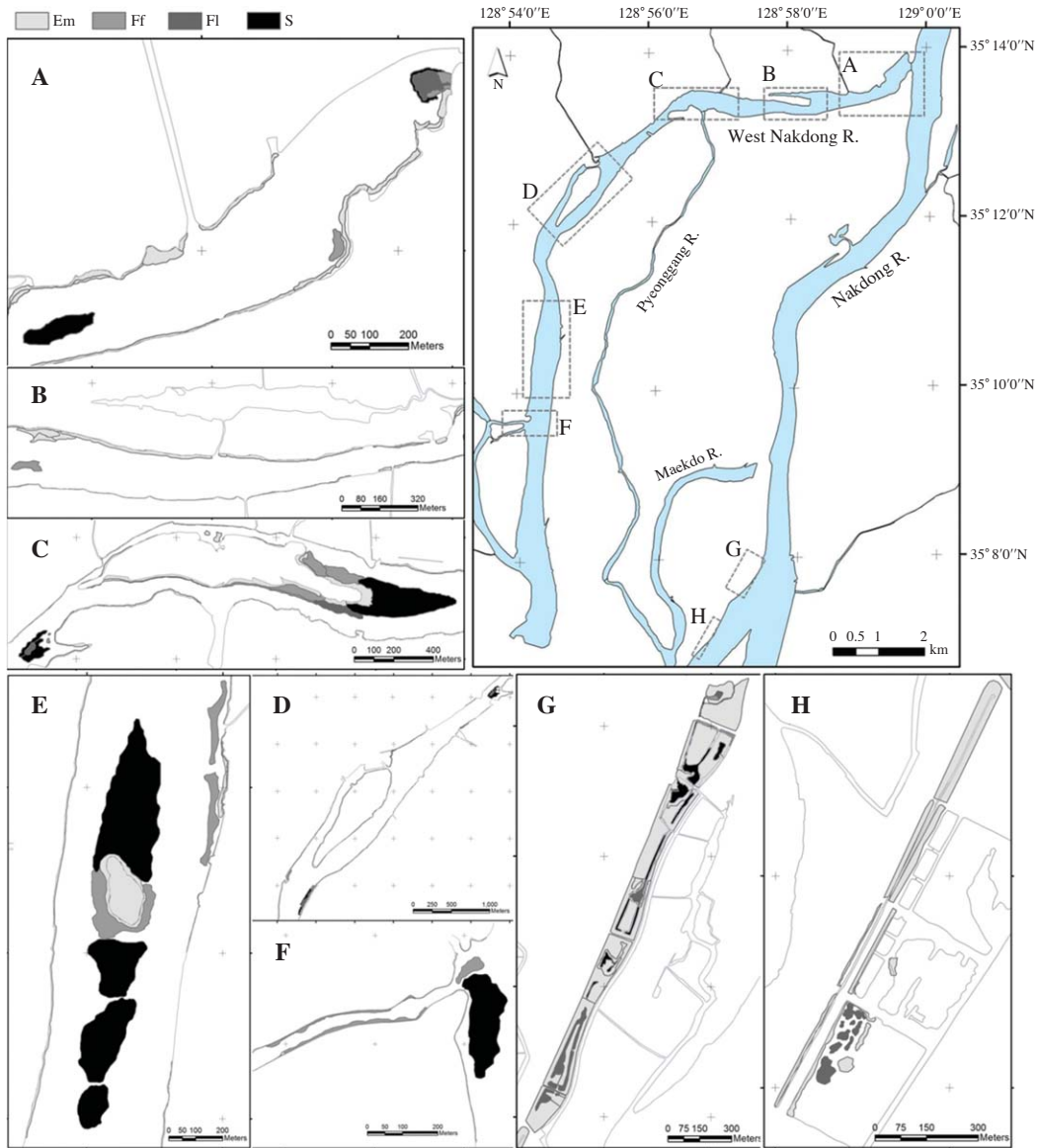


Fig. 1. Study site and distribution of aquatic plants (A: Daedong, B: Shinan, C: Suanchi-deung, D: Jungsa-do, E: Garakchi-deung, F: Dunchi-do, G: Maekdo, H: Yeommak).

네틱 상관계수(Cophenetic correlation coefficient)로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 수생식물 분포 및 생물량

본 연구 조사지역인 서낙동강, 낙동강본류 둔치에 생육하는 수생관속식물은 총 15과 22속 25종이 확인되었다(Table 1). 생육형태별로 살펴보면 침수식물은 이삭물

수세미 (*Myriophyllum spicatum*), 붕어마름 (*Ceratophyllum demersum*), 민나자스말 (*Najas marina*), 검정말 (*Hydrilla verticillata*), 나사말 (*Vallisneria spiralis*), 말즘 (*Potamogeton crispus*), 대가래 (*P. wrightii*), 실말 (*P. pusillus*), 줄말 (*Ruppia maritima*) 5과 9종 (36%), 부엽식물은 마름 (*Trapa japonica*), 가시연꽃 (*Euryale ferox*), 노랑어리연꽃 (*Nymphoides peltata*) 3과 3종 (12%), 부유식물은 생이가래 (*Salvinia natans*), 통발 (*Utricularia australis*), 자라풀 (*Hydrocharis dubia*), 줄개구리밥 (*Lemna perpusilla*), 개구리밥 (*Spirodela polyrhiza*) 4과 5종 (20%), 정수식물

Table 1. List of aquatic plants in the study sites (S: submerged, Fl: floating leaved, FF: free-floating, Em: emergent).

Family name	Scientific name	Korean name	Growth type
Pteridophyta			
Filices			
Salviniales			
Salviniaceae	<i>Salvinia natans</i> (L.) All.	생이가래	Ff
Angiospermae			
Dicotyledoneae			
Myrtiflorae			
Haloragaceae	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	이삭물수세미	S
Trapaceae	<i>Trapa japonica</i> Flerow	마름	Fl
Ranunculales			
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	붕어마름	S
Nymphaeaceae	<i>Euryale ferox</i> Salisb. <i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn.	가시연꽃 연꽃	Fl Em
Rosales			
Najadaceae	<i>Najas marina</i> L.	민나자스말	S
Sapindales			
Menyanthaceae	<i>Nymphoides peltata</i> (S.G. Gmelin) Kuntze	노랑어리연꽃	Fl
Tubiflorae			
Lentibulariaceae	<i>Utricularia australis</i> R. Br.	통발	Ff
Monocotyledoneae			
Cyperales			
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C.C. Gmel.) Palla <i>Bolboschoenus fluviatilis</i> (Torr.) Sojak	큰고랭이 매자기	Em Em
Poales			
Poaceae	<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> Shinnors <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud. <i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf	털물참새피 갈대 줄	Em Em Em
Helobiae			
Alismataceae	<i>Sagittaria trifolia</i> L.	벗풀	Em
Hydrocharitaceae	<i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle <i>Hydrocharis dubia</i> (Blume) Backer <i>Vallisneria natans</i> (Lour.) H. Hara	검정말 차라풀 나사말	S Ff S
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton crispus</i> L. <i>Potamogeton wrightii</i> Morong <i>Potamogeton pusillus</i> L. <i>Ruppia maritima</i> L.	말즘 대가래 실말 줄말	S S S S
Pandanales			
Typhaceae	<i>Typha angustifolia</i> L.	애기부들	Em
Lemnaceae	<i>Lemna perpusilla</i> Torr. <i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schleid.	좁개구리밥 개구리밥	Ff Ff

은 연꽃 (*Nelumbo nucifera*), 큰고랭이 (*Schoenoplectus tabernaemontani*), 매자기 (*Bolboschoenus fluviatilis*), 털물참새피 (*Paspalum distichum* var. *indutum*), 갈대 (*Phragmites australis*), 줄 (*Zizania latifolia*), 벗풀 (*Sagittaria trifolia*), 애기부들 (*Typha angustifolia*) 5과 8종 (32%)이었다. 녹산수문에 인접한 가락치등과 둔치도에서는 기수

역에 생육하는 민나자스말의 분포가 확인되어 서낙동강 하류 지역의 낙동강하구로부터 해수 유입영향을 확인할 수 있었다. 통발과 이삭물수세미는 조사지역 중 낙동강 둔치습지에서만 확인되었다. 가시연꽃은 염막과 하구둑 상부 13 km 지점의 낙동강횡단수관교 인근 습지에 대군락으로 분포하였으나 (Kim et al., 2005), 본 조사에서는

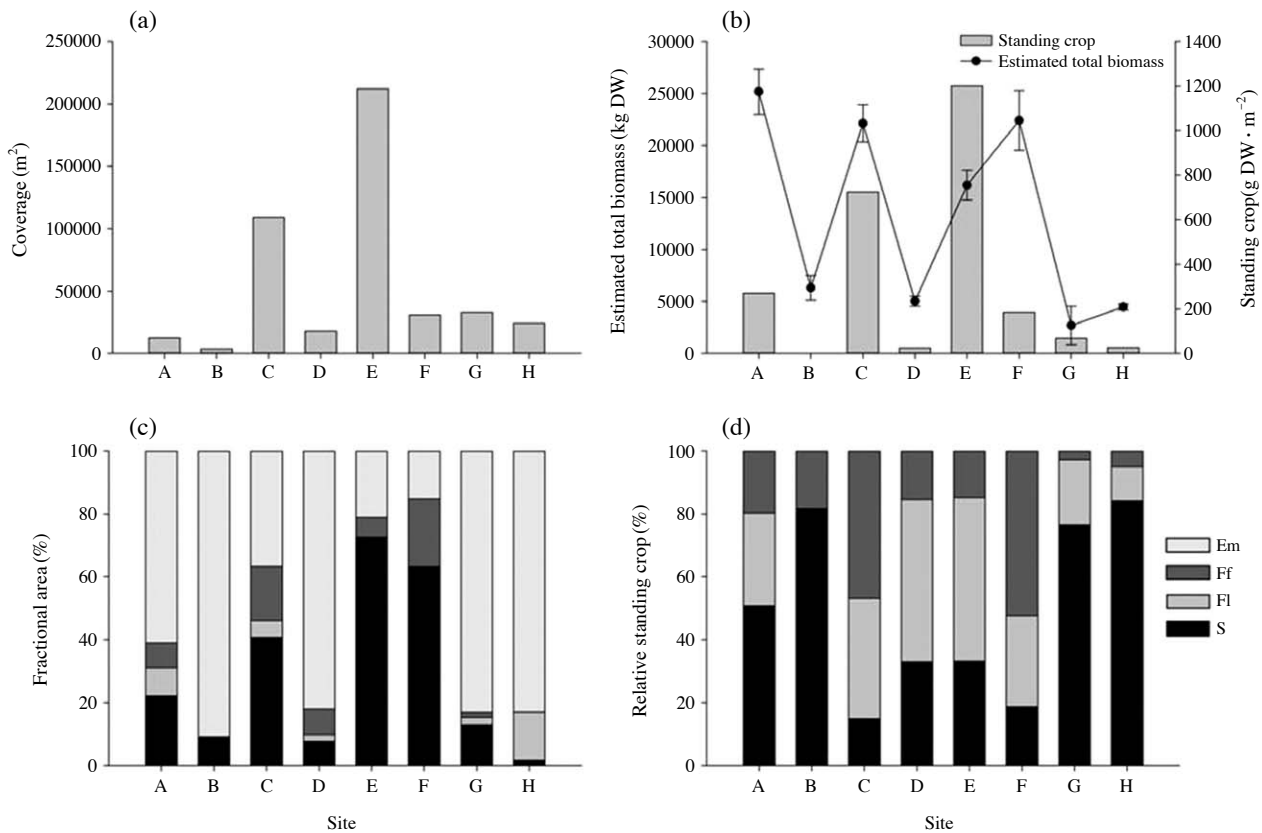


Fig. 2. Distribution and standing crop of aquatic plants (A: coverage (m²), B: estimated total biomass (kg DW), C: fractional area (%), D: relative standing crop (%)).

일부 개체만 발견되었다. 이는 습지 주변지역의 토지가 용변경으로 인해 생육지가 감소한 결과로 정비 이후 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

수생식물 분포면적은 가락치등 (212,032 m²)이 가장 넓었고 수안치등, 맥도둔치, 둔치도, 염막둔치, 중사도, 대동, 신안 순으로 분포면적의 차이가 확인되었다 (Fig. 1, 2). 수생식물 성장형별 면적비율은 지점별로 상이하였는데 가락치등과 둔치도에서 침수식물의 분포비율이 각각 72.7, 63.3%로 높았으며, 염막둔치에서 7.8%로 가장 낮았다. 이는 해당지역에 수심 2 m 내외의 수중모래등이 잘 발달하여 수생식물 군락 발달에 양호한 환경을 유지하고 있기 때문이며 (Ginn, 2011), 하중도가 넓게 발달한 수안치등, 가락치등에서는 부엽식물과 부유식물이 수변에서 높은 비율을 보였다. 수변 및 수심이 비교적 얇은 지역은 주로 정수식물이 선형으로 군락을 이루었으며, 낙동강 본류의 수심 3 m 이상 지역에서는 수생식물 군락이 관찰되지 않았다. 서낙동강 수계 가장자리와 낙동강하구 가장자리는 대부분 갈대와 퉁물참새피가 우점하였으나, 맥도와 염막을 따라 발달되어있는 수로에서는

줄, 애기부들이 우점하였다. 맥도, 염막둔치지역의 습지는 수로 지점 외에는 수심이 얇은 지역의 비율이 높아 정수식물 군락이 우점하였다.

군락 면적은 정수식물의 갈대군락 면적이 총 421,584 m²으로 가장 넓은 분포를 보였으며, 다음으로 검정말-나사말 군락 (181,511 m²), 대가래-나사말 군락 (61,604 m²), 자라풀 군락 (49,709 m²)이 서낙동강에 발달한 하중도 가장자리 및 수변에 발달해있었다. 군락 면적 순서는 기존 본류와 지류의 우점도 조사결과와 일치하였으며 (Kim *et al.*, 2006), 서낙동강 수생식물 군락 별 분포면적은 기존 연구에서 제시되지 않은 부분으로 차후 변화분석에 비교자료가 될 수 있을 것으로 보인다.

단위면적 당 수생식물 생물량 (kg DW · m⁻²)은 대동 (1,175.3 ± 101.6), 수안치등 (1,032.7 ± 84.1), 둔치도 (1,046.1 ± 134.5), 가락치등 (755.9 ± 66.5) 순으로 높으나 (Fig. 2), 지점 별 수생식물 총생물량은 가락치등 (212,032 kg)이 가장 높았고 수안치등 (15,546 kg), 둔치도 (3,963 kg), 대동 (5,813 kg), 맥도둔치 (1,463 kg), 염막둔치 (571 kg), 중사도 (530 kg) 신안 (300 kg) 순으로 높았다 (Table

Table 2. Distribution area, standing crop, and estimated total biomass of aquatic plants in the study sites.

Site	Area (m ²)	Standing crop (g DW · m ⁻²)	Estimated total biomass (kg DW)
A	12,595	461.5	5,813
B	3,471	8.6	30
C	108,918	142.7	15,546
D	17,848	29.7	530
E	212,032	121.4	25,747
F	30,722	129.0	3,963
G	32,961	44.4	1,463
H	24,137	23.7	571
Total	442,684	121.2	53,663

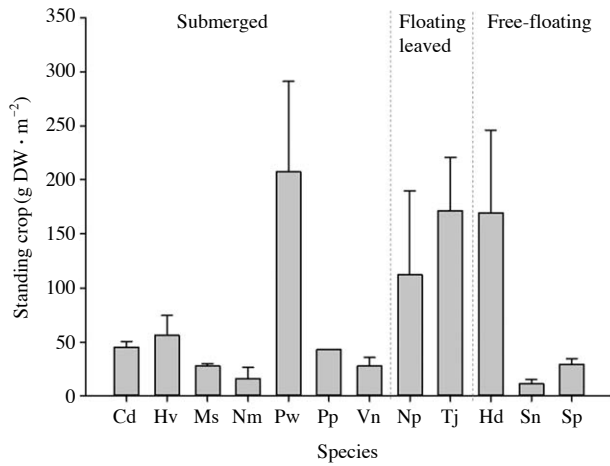


Fig. 3. Mean standing crop of aquatic plants. Bar and crosshatch indicate mean and standard error of each species (Cd: *C. demersum*, Hv: *H. verticillata*, Ms: *M. spicatum*, Nm: *N. marina*, Pm: *P. wrightii*, Pp: *P. pusillus*, Vn: *V. natans*, Np: *N. peltata*, Tj: *T. japonica*, Hd: *H. dubia*, Sn: *S. natans*, Sp: *S. polyrhiza*).

2). 수생식물 종별 생물량을 조사한 결과 침수식물인 대가래가 평균 생물량 $207.3 \pm 83.9 \text{ g DW} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 가장 높았으며, 부엽식물인 마름 $171.4 \pm 49.6 \text{ g DW} \cdot \text{m}^{-2}$, 부유식물인 자라풀 $169.3 \pm 76.8 \text{ g DW} \cdot \text{m}^{-2}$, 부엽식물인 노랑어리연 $112.7 \pm 77.4 \text{ g DW} \cdot \text{m}^{-2}$ 순으로 높았다(Fig. 3). 수생식물군락 생물량 수준은 해당 수체의 미소환경 유지에 중요하며 수금류 등의 생물군에 주요 먹이원(Kim *et al.*, 2013)으로도 활용되므로 생물량이 높은 지점을 중심으로 관리가 필요하다.

2. 군집유사도 및 생물량 변화

수생식물 군락의 종별 피도를 기준으로 지점별 군집

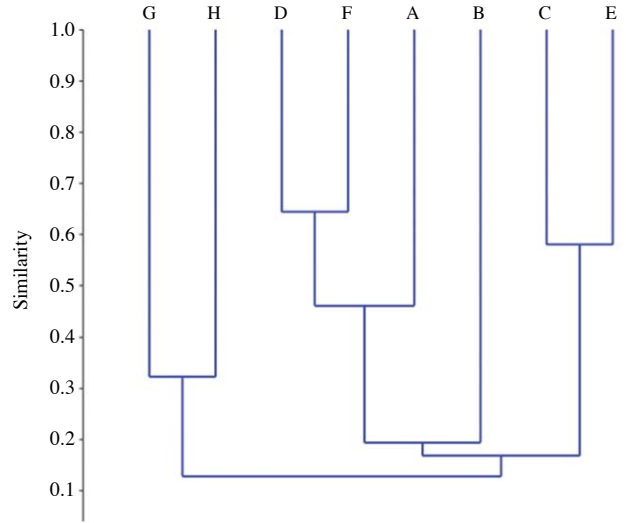


Fig. 4. Cluster analysis of aquatic plants communities (Cophenetic correlation coefficient: 0.87; A: Daedong, B: Shinan, C: Suanchi-deung, D: Jungsa-do, E: Garakchi-deung, F: Dunchi-do, G: Maeckdo, H: Yeommak).

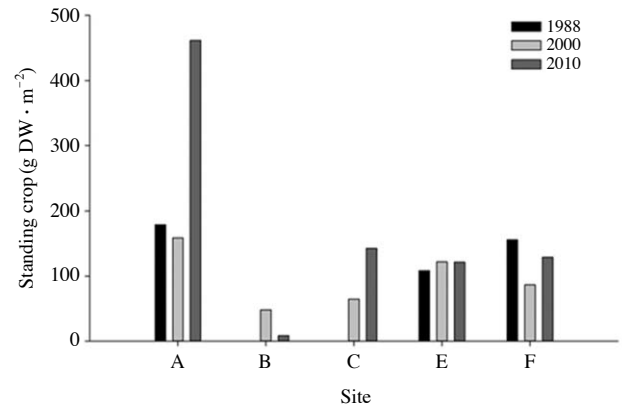


Fig. 5. Change of standing crop of aquatic plants in the West Nakdong R (A: Daedong, B: Shinan, C: Suanchi-deung, E: Garakchi-deung, F: Dunchi-do).

유사도를 분석한 결과 유사도 0.3 수준에서 4 집단으로 구분할 수 있었다(Fig. 4). 중사도와 둔치도의 군집 유사도가 가장 높았으며 대동지점도 유사도 0.45 수준에서 동집단으로 구분되었다. 수안치등과 가락치등의 군집 구성이 유사하여 유사도 0.55 수준에서 별도의 집단으로 구분되었으며 이는 하중도 주변으로 침수식물 발생이 높은 지점이었다. 신안은 상대적으로 깊은 수심과 좁은 하도로 인해 다른 지점들과 구분되었으나 크기는 앞의 지점들과 유사한 것으로 나타났다. 낙동강하류의 둔치습지인 맥도둔치와 염막둔치는 좁은 수로와 얇은 습지로

구성된 곳으로 다른 생활형보다 정수식물이 발달한 생육지 특성으로 인해 유사도 0.3 수준에서 별도의 집단으로 구분되었다.

서낙동강 구간의 기존 문헌의 수생식물 생물량 조사 결과와 비교한 결과 1988년 $147.8 \pm 20.8 \text{ g DW} \cdot \text{m}^{-2}$, 2000년 $96.1 \pm 20.0 \text{ g DW} \cdot \text{m}^{-2}$, 2010년 $172.6 \pm 76.1 \text{ g DW} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 나타나 2010년에 가장 높은 값을 기록하였다 (Fig. 5). 지점별 생물량 순서는 대동, 둔치도, 가락치등 순으로 큰 차이가 없었고 2010년 대동지점의 높은 생물량 외에는 뚜렷한 변화가 없는 것으로 나타났다. 2010년 대동지점은 해당시기에 수문으로부터 방류의 차이로 인해 노랑어리연꽃, 대가래 군락에 부유식물인 자라풀이 밀집하여 나타난 것으로 보이며, 동일한 방법으로 조사된 2000년과 비교할 때 신안지점의 생물량은 감소하였고 그 외의 지점에서는 증가하였다. 다만 조사방법에 있어 Chung *et al.* (1989)은 주요 정점별로 직경 20 cm의 갈퀴를 10 m 끌어 채집된 식물체의 생물량을 조사하였고, 2000년, 2010년에는 주요 군락 내에 정방형 방형구를 설치하여 생물량을 조사하여 방법에 다소 차이가 있기 때문에 동일 연도 내 지점별 상대적인 생물량은 비교할 수 있었으나 전체적인 생물량 변화 비교에는 어려움이 있었다. 2010년 이후 서낙동강 준설 사업으로 하도 준설작업이 진행되고 있어 서식처와 먹이원의 안정적 관리를 위해서는 이를 고려한 정점별 생물량 모니터링이 필요하다.

사 사

본 연구는 환경부 국가장기생태연구사업 (2004 ~ 2013)과 부산녹색환경지원센터 환경현안조사연구사업 (2010)의 결과를 반영하여 작성되었습니다. 현장조사에 도움을 주신 서낙동강 어촌계 주민분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Busan metropolitan city. 2011. Ecological monitoring of Nakdong River Estuary: 8th year. Busan metropolitan city, South Korea.
- Carpenter, S. and D.M. Lodge. 1986. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany* **26**: 341-370.
- Choi, A., H.M. Oh and J. Lee. 2002. Ecological study on the toxic *Mycrocystis* in the Lower Nakdong River. *Algae* **17**(3): 171-185.
- Choi, H.K. 2000. Plants of Korea series 5: aquatic vascular plants. Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, South Korea.
- Chung, Y., H. Shin and S. Lee. 1989. Flora and standing crop of vascular hydrophytes in the Estuary of Nakdong River. *Nature Conservation* **64**: 39-48.
- Clarke, S.J. and G. Wharton. 2001. Sediment nutrient characteristics and aquatic macrophytes in lowland English rivers. *Science of the Total Environment* **266**: 103-112.
- Desmet, N.J.S., S.V. Belleghem, P. Seuntjens, T.J. Bouma, K. Buis and P. Meire. 2011. Quantification of the impact of macrophytes on oxygen dynamics and nitrogen retention in a vegetated lowland river. *Physics and Chemistry of the Earth* **36**: 479-48.
- Dodds, W.K. and B.J.F. Biggs. 2002. Water velocity attenuation by stream periphyton and macrophytes in relation to growth form and architecture. *Journal of the North American Benthological Society* **21**(1): 2-15.
- Ginn, B.K. 2011. Distribution and limnological drivers of submerged aquatic plant communities in Lake Simcoe (Ontario, Canada): Utility of macrophytes as bioindicators of lake trophic status. *Journal of Great Lakes Research* **37**(3): 83-89.
- Hahm, K.H. and J.H. Kang. 1997. Nine year records of waterbirds in the West-Nakdong River, 1988-1996. *Bulletin of Korea Institute of Ornithology* **6**(1): 35-45.
- Hahm, K.H. and T.J. Kim. 1999. Ten year records of *Fulica atra* in the Sonaktong-gang, 1988-1977. *Korean Journal of Ornithology* **6**(1): 65-70.
- Hwang, S.C., B.H. Lee, W.W. Park, Y.E. Cheong, H.J. Park and S.U. Jeong. 1997. A study on the relation between riverbed structure and pollutant concentration in down stream of Nakdong River. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society* **6**(5): 513-520.
- Jeon, S.I. and K.J. Cho. 2004. Primary productivity of phytoplankton in the shallow and hypertrophic river (Seonakdong River). *Korean Journal of Limnological Society* **37**(1): 57-63.
- Kim, C.S., J.Y. Ko, J.S. Lee, J.B. Hwang, S.T. Park and H.W. Kang. 2006. Screening of nutrient removal hydrophyte and distribution properties of vegetation in tributaries of the West Nakdong River. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **25**(2): 147-156.
- Kim, G.Y., C.W. Lee, H.S. Yoon and G.J. Joo. 2005. Changes of distribution of vascular hydrophytes in the Nakdong River Estuary and growth dynamics of *Schenoplectus triqueter*, waterfowl food plant. *Korean Journal of Ecology* **28**(5): 335-345.
- Kim, G.Y., J.Y. Kim, G.G. Ganf, C.W. Lee and G.J. Joo. 2013. Impact of over-wintering waterfowl on tuberous bulrush (*Bolboschoenus planiculmis*) in tidal flats. *Aquatic Botany* **107**: 17-22.

- Kim, J.Y., G.J. Joo, Y. Do, G.Y. Kim, B. Yang, M. Kim and C. Lee. 2011. Korea National Long-Term Ecological Research: provision against climate change and environmental pollution (Review). *Journal of Ecology and Field Biology* **34**(1): 3-10.
- Kim, Y. 1986. Chemical and bacteriological water quality of the Sonakdong River. *Bulletin of Korean Fish Society* **19**(4): 347-355.
- Korea Forest Service. 2010. Flora of South Korea. Korea Forest Service, South Korea.
- Korea Meteorological Administration. 2010. Archives of meteorological data. http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_cal.jsp. Accessed 5 July 2011.
- Lee, N., Y. Kim, J. Kwon and C. Shin. 2007. Two-dimensional numerical modeling of water quality variation by gates operation in the Seonakdong River. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater* **21**(1): 101-112.
- Lee, Y.N. 2006. New flora of Korea. Kyo-Hak Publishing Co., South Korea.
- Park, H., S. Yoo, B. Lee, J. Jeong, H. An and W. Park. 2001. Pollution characteristics and application of river sediment of the Western Nakdong River. *Korean Journal of Environmental Health Society* **27**(1): 51-55.
- Park, H.J., J.K. Park and W.W. Park. 1994. The distribution characteristics of heavy metals in the water, sediment and soil along the West Nakdong River. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society* **3**(4): 409-416.
- Sand-Jensen, K. and O. Pedersen. 1999. Velocity gradients and turbulence around macrophyte stands in streams. *Freshwater Biology* **42**: 315-328.
- The Plant List. 2010. <http://www.theplantlist.org/> (accessed 2nd March, 2013).
- We, S.U., C.H. Yoon and B.Y. Min. 2012. Horizontal distributions and their ecotoxicological implications relating to PCBs, DDTs, HCHs, and HCB in sediments in the West Nakdong River. *Journal of Life Science* **22**(3): 332-339.
- Yeh, T.Y., T.Y. Ke and Y.L. Lin. Algal growth control within natural water purification systems: Macrophyte light shading effects. *Water, Air, & Soil Pollution* **214**(1-4): 575-586.
- Yoon, H.S., G.Y. Kim, S.H. Kim, W.H. Lee and G.C. Yi. 2002. Physico-chemical characteristics of water and distribution of vascular hydrophytes in the West Nakdong River, South Korea. *Korean Journal of Ecology* **25**(5): 305-313.