

연구논문

파주생태습지의 부착규조를 이용한 생물학적 수질평가

김용진 · 김현년 · 이옥민

경기대학교 생명과학과

(2012년 1월 2일 접수, 2012년 1월 31일 승인)

The biological assessment of water quality using DAIPo and TDI of Paju Ecological wetland

Yong-jin Kim · Hun-nyun Kim · Ok-min Lee

Department of Life Science, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

(Manuscript received 2 January 2012; accepted 31 January 2012)

Abstract

This research was to examine the physicochemical factors and the attached diatoms of ecological wetland in Paju from August 2010 to May 2011. As a result of physicochemical water quality assessment, the water temperature did not fluctuate much due to ample riparian vegetation and aquatic plants growing at the site. Due to the effect of Han River Estuary, site 4, 5 and 6 had high electricity conductivity. The BOD concentration was high at site 2, 3, and 4 caused by decrease in water quantity and inflow of polluted water. At all sites, T-N and T-P concentrations ranged from eutrophic to hypertrophic status. At the downstream, the T-N and T-P concentrations decreased by inhabiting aquatic plant. Total of 98 taxa of attached diatoms were found. As for dominant taxa, *Achnanthes convergens*, *A. minutissima*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum*, *Melosira varians*, *Navicula seminulum*, *N. minima*, *N. pseudolanceolata*, *Nitzschia amphibia*, *N. palea*, *Surirella minuta* and *Synedra ulna* var. *fragilarioides* appeared. The result of biological assessment of water quality rated the sites B(suboptimal)~D(poor) during seasons of low water temperature, Fall and Winter, with DAIPo ranging 24.1~68.2 and TDI of 48.4~85.6. During Spring and Summer, all sites were rated D(poor) with DAIPo lower than or equal to 40, and TDI above or equal to 70. The biological assessment of water quality at the research site showed inferior TDI result compared to that of DAIPo.

Keywords : attached diatoms, biological water quality, ecological wetland

1. 서론

습지는 식물의 성장기동안 물이 고여 있고, 특이한 토양조건, 물로 포화된 토양에 적응된 식물 등의 다른 생태계와 구별되는 특징을 가지고 있다(고대현 등, 2010). 국제적으로 습지에 대한 정의를 ‘연중 또는 식물의 생장기간을 포함하는 일정시기 동안 토양이 물에 침수되거나 토양표면 및 토양표면 근처에 물이 존재하는 지역(USEPA, 2008)’, 또는 ‘자연적 혹은 인공적, 영구적 혹은 일시적으로, 정체되거나 흐르는 담수, 염수 혹은 해수에 의해 생성된 marsh, fen, peatland의 지역을 의미하며, 수심은 썰물시 6m가 넘지 않는 지역(Ramsar Convention, 2006)’ 이라고 정의하고 있다.

호수나 하구 등에 조성되어 있는 습지 생태계는 생물다양성 유지, 영양염 유지, 홍수 방지 등과 같이 생태학적 및 경제적으로 중요한 위치를 차지하고 있으며(Mitsch and Gosselink, 2000), 갈대과 같은 수생식물은 수계로 유입된 오염물질을 정화하고, 인간에 의한 압력요인을 감소시키는 완충 역할을 수행하는 등 생태계에서 긍정적인 기능을 담당하고 있다(USEPA, 1988; USACE, 2000).

파주생태습지는 경기도 파주시 교하읍 문발리 일원에 위치한 습지로 파주 출판문화정보산업단지의 조성과 함께, 2001년에 유수지의 생태복원공사를 시작하여, 2003년에 완공되었다. 파주생태습지는 갈대샛강의 보전의 역할과 전망의 역할을 겸하는 경관녹지가 강을 따라 조성되었으며, 심학산의 물줄기가 모여 습지내로 유입된다(조수연, 2004). 이와 같이 생태복원공사를 통하여 조성된 습지는 조성 후 생태적 제 기능을 갖게 하기 위하여 일정기간 동안 사후 모니터링 및 유지관리가 필요하다(환경부, 2011). 하지만 최근 복원된 생태하천 및 생태습지의 사후 모니터링 및 유지관리는 생물군집조사 및 생물학적 수질평가와 같은 생태적인 측면보다, 시설보수와 같은 기본적인 유지관리에 치우쳐 있다(송미영 등, 2011). 생태습지에 대한 생물군집조사와 모니터링 및 생물학적 수질평가는 시화호의 인공습지(김용재, 2005; 김용재와 김한순, 2006; 김

용재, 2009; 김백호 등, 2010)와 같이 대단위 면적의 습지에서 주로 이루어지며, 소규모 습지에서는 잘 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 파주생태습지와 습지로 유입되는 소하천을 중심으로 이화학적인 수질과 부착규조류의 군집, 우점종 및 지표종을 분석하였으며, 이를 통하여 파주생태습지의 생물학적 수질을 평가하였으며, 이화학적 수질과 비교분석하여, 효과적인 생태습지관리를 위한 기초자료를 제시하였다.

II. 연구방법

1. 조사지점 및 조사기간

본 연구는 경기도 파주시 교하읍에 위치한 생태습지를 2010년 8월부터 2011년 5월까지 계절별로 4회 조사를 실시하였다. 조사정점은 심학산에서 유입되는 소하천 유입부에서 생태습지 내 호소구간까지 5개 정점(St. 1~St. 5)과 갈대샛강에서 유입되는 1개 정점(St. 6)을 포함한 총 6개 정점을 조사하였다(Fig. 1). 조사기간 중 2011년 2월의 경우 정점 3과 정점 4는 결빙으로 인하여 시료의 채집 및 분석이 이루어지지 않았다.

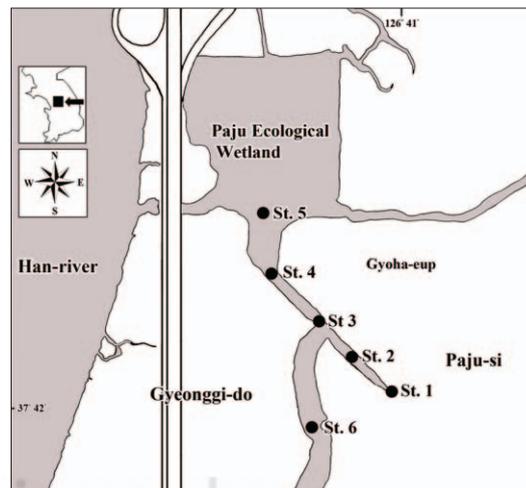


Fig. 1. A map showing the 6 sampling sites at Paju ecological wetland from August 2010 to May 2011.

2. 채집 및 분석방법

수질분석을 위한 시료는 2L의 플라스틱 병에 담아 냉장 보관하여 실험실로 운반하였다. 수온, DO, pH, 전기전도도 및 탁도는 휴대용 측정기(Horiba U-55)를 이용하여 현장에서 측정하였고, T-N, T-P, 엽록소 *a*, BOD의 분석은 Standard method (Greenberg *et al.*, 2000)에 준하여 분석하였다.

부착조류는 수심 20~30cm 정도에 위치한 자갈을 채집하여 기질표면의 100cm²의 면적을 솔 등으로 긁어내어 증류수에 희석하여 정량 채집하였고, 갈대와 같은 수생식물 및 기타 기질의 부착한 조류를 nylon 솔로 긁어 정성 채집하였다. 구조표본의 제작을 위해 채집한 시료를 세정한(U.S. EPA 1995) 후 Pleulax(Wako, Japan)를 이용하여 봉입하였다. 부착구조의 군집분석을 위해 광학현미경 및 위상차 현미경(Olympus DX41) 200~1,000배로 검경하였으며, Simonsen의 분류체계(Ettl *et al.*, 1986, 1988, 1991a, 1991b)에 따라 분류하였다.

유기오탁지수(DAIpo: Diatom Assemblage Index of Organic Water Pollution)는 Watanabe 등(2005)의 방법에 따라 부착조류를 호청수성과 호오탁성종으로 나누어 산출하였으며, 영양염 지수(TDI: Trophic Diatom Index)는 Kelly와 Whitton(1995)의 방법을 따라 각종에 지표 값을 부여하여 산출 하였다. 또한 산출된 값은 환경부(2007, 2011)의 4가지 등급(A:최적, B: 양호, C: 보통, D: 불량)과 Watanabe 등(1990)의 6개 등급(Xenosaprobic, β -oligosaprobic, α -oligosaprobic, β -mesosaprobic, α -mesosaprobic, Polysaprobic)을 통하여 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 이화학적 수질

파주 생태습지의 이화학적 수질은 수온의 경우 5.1~25.2℃의 범위로 나타났으며, 국내 일반적인 하천의 경향성을 나타냈다(김용재, 2009; 김용진 등, 2009; 김용진과 이옥민, 2010). 정점 간에 수온의 변동 폭이 작으며, 수변식물 및 수생식물 등이

풍부하게 서식하고 있어 안정적으로 수온을 유지하는 것으로 판단된다(Fig. 2).

용존산소의 농도는 0.1~18.6mg/L의 범위로 계절과 정점에 따라 큰 차이를 나타냈다. 2010년 8월에 상류정점인 정점 1과 정점 2에서 9.7mg/L의 농도로 용존산소의 농도가 매우 양호하였으나, 유입천인 정점 6에서 1mg/L이하의 농도로 매우 낮았으며, 합류 후에 정점 3과 정점 4에서 정점 6과 같이 1mg/L이하의 농도를 나타냈다. 이와 같은 농도는 일부구간에서 식생 고사체로 인해 유기물이 과다 축적되었으며, 하계 높은 수온으로 미생물의 활성도가 증가하여 유기물이 산화분해되면서 용존산소가 급격히 소비되어, 혐기성 환경이 형성된 것으로 판단된다(경기개발연구원, 2010). 2011년 5월의 정점 5의 경우 용존산소의 농도가 18.6mg/L의 높은 농도를 나타냈으며, 이는 수생식물 및 부착조류의 광합성과 관련이 있는 것으로 사료된다(김용진과 이옥민, 2009). 전기전도도는 121~1,340 μ s/cm의 범위로 계절에 따른 전기전도도의 차이가 크게 났으며, 2011년 2월에 121~172 μ s/cm의 범위로 가장 낮았고, 2011년 5월에 485~1,340 μ s/cm의 범위로 가장 높게 나타났다. 파주 생태습지가 한강의 하구인 근에 위치한 것을 고려 할 때, 시화호의 반월천 습지(김용재, 2009)에서 281~924 μ s/cm의 범위, 동화습지(김용진 등, 2010)에서 241~912 μ s/cm 범위로 파주 습지가 다소 높았다.

탁도는 2.6~54.6 NTU의 범위로 계절과 2010년 정점 3에서 가장 낮았으며, 2011년 2월 정점 2에서 가장 높았다. 2월의 경우 유량의 감소로 기존의 하천은 대부분 결빙되었으며, 유입된 오수의 영향으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 식물플랑크톤의 현존량을 나타내는 엽록소 *a*의 농도는 0.7~54.6mg/m³의 범위로 2010년 8월 정점 3에서 가장 낮았으며, 2011년 5월 정점 3에서 가장 높았다. 2010년 8월은 전 정점에서 엽록소 *a*의 농도가 낮았으며, 이는 여름철 강우의 영향인 것으로 판단된다. 2011년 5월 정점 3의 경우 유속이 있는 정점 1과 정점 2에서 유입된 영양염류에 의해 정수구간인 정점 3에서 식물플

랑크톤의 성장이 활발하게 이루어진 것으로 판단되며, 정점 4에서 정점 5로 갈수록 엽록소 *a*가 감소하였다. 정점 4에서는 갈대에 의한 광차단, 정점 5에서는 부레옥잠, 검정말 및 마름 등과 같은 수생식물이 밀생하고 있어 광차단 및 영양염의 경쟁 (Graham *et al.*, 2009) 등에 의해 식물플랑크톤의 성장이 억제된 것으로 사료된다(Fig. 2).

BOD의 농도는 1.5~10.2mg/L의 범위로 2010년 8월 정점 1에서 가장 낮았으며, 2011년 2월 정점 2에서 가장 높았다. 2010년 8월은 모든 정점에서 3mg/L이하로 II 등급의 수질로 양호하였으며, 유량이 감소하는 11월에는 2.3~8.8mg/L의 범위로 정점 2와 정점 4에서 외부오염원 유입에 의해 수질이 악화된 것으로 나타났다. 2011년 2월의 결과에서 결빙으로 인하여 유량감소와 오수의 유입, 유수구역의 생물집중 현상 등에 의해 BOD의 농도가 크게 증가한 것으로 사료된다. 파주생태습지는 반월천 습지(김용재, 2009)의 BOD가 2.5~20.8mg/L의 범위로 강우시기인 8월에 BOD가 감소하는 것과 유사한 경향을 보였다(Fig. 2).

총질소의 농도는 0.237~7.840mg/L의 범위로 2010년 11월 정점 3에서 가장 낮았으며, 2011년 2

월 정점 2에서 가장 높았다. 2010년 8월과 2011년 2월 정점 1과 정점 2에서 4mg/L 이상의 높은 농도로 과영양수역(Forsberg and Ryding, 1980)으로 나타났다. 정점 1은 인근 농수로가 일부 유입되고 있으며, 정점 2는 주택가로부터 오수가 유입되고 있어, 영양염의 유입으로 인한 습지생태에 영향을 줄 것으로 판단된다. 총인의 농도는 0.023~1.056mg/L의 범위로 2010년 8월 정점 3에서 가장 낮았으며, 2011년 2월 정점 2에서 가장 높았다. 총인은 총질소와 같이 오수유입에 의한 정점 2에서 높은 농도를 나타냈으며, 8월을 제외한 대부분의 정점에서 부영양수역(Forsberg and Ryding, 1980)으로 나타났다. 총인과 총질소는 공통적으로 습지로 유입되는 정점 1과 정점 2와 같은 하천구간에서의 영양염의 농도가 습지구간인 정점 3~5로 내려 갈수록 감소하는 것으로 나타났으며, 이것은 갈대 및 부레옥잠 같은 수생식물에 의해 섭취 및 흡착(최명재 등, 2007; 공동수 등, 1999; 심우섭과 한인섭, 1998)된 것으로 판단된다(Fig. 2).

2. 부착구조류군집

조사기간 동안 파주 생태습지에 출현한 부착구조

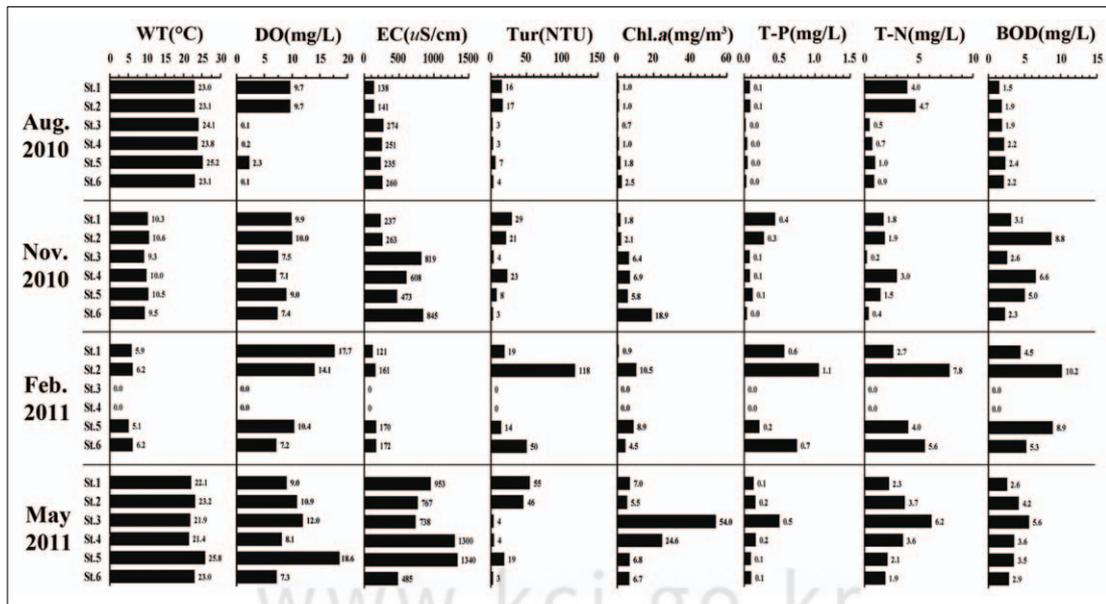


Fig. 2. Physicochemical environmental factors at Paju ecological wetland from August 2010 to May 2011.

Table 3. Seasonal changes of dominant species of 6 sites at Paju ecological wetland from August 2010 to May 2011

Date	Site	Dominant species(%)	Subdominant species(%)
Aug. 2010	St. 1	<i>Nitzschia palea</i> (26.2)	<i>Gomphonema gracile</i> (18.7)
	St. 2	<i>Nitzschia palea</i> (24.2)	<i>Gomphonema gracile</i> (23.1)
	St. 3	<i>Nitzschia palea</i> (16.8)	<i>Navicula seminulum</i> (15.4)
	St. 4	<i>Nitzschia palea</i> (18.8)	<i>Navicula seminulum</i> (16.7)
	St. 5	<i>Nitzschia palea</i> (28.5)	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>binodis</i> (17.1)
	St. 6	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>binodis</i> (24.8)	<i>Nitzschia palea</i> (18.9)
Nov. 2010	St. 1	<i>Achnanthes convergens</i> (23.2)	<i>Gomphonema parvulum</i> (21.9)
	St. 2	<i>Navicula cryptocephala</i> (31.8)	<i>Achnanthes convergens</i> (11.2)
	St. 3	<i>Nitzschia palea</i> (51.1)	<i>Navicula pseudolanceolata</i> (19.3)
	St. 4	<i>Bacillaria paradoxa</i> (36.1)	<i>Achnanthes lanceolata</i> (11.2)
	St. 5	<i>Melosira varians</i> (56.3)	<i>Achnanthes minutissima</i> (9.1)
	St. 6	<i>Achnanthes convergens</i> (26.4)	<i>Achnanthes minutissima</i> (21.8)
Feb. 2011	St. 1	<i>Navicula minima</i> (28.5)	<i>Gomphonema parvulum</i> (19.5)
	St. 2	<i>Nitzschia palea</i> (10.7)	<i>Surirella minuta</i> (8.9)
	St. 3	-	-
	St. 4	-	-
	St. 5	<i>Melosira varians</i> (38.3)	<i>Achnanthes minutissima</i> (16.4)
	St. 6	<i>Synedra ulna</i> var. <i>fragilarioides</i> (39.3)	<i>Navicula minima</i> (15.6)
May 2011	St. 1	<i>Nitzschia palea</i> (40.7)	<i>Gomphonema parvulum</i> (17.1)
	St. 2	<i>Nitzschia palea</i> (74.1)	<i>Gomphonema parvulum</i> (3.4)
	St. 3	<i>Nitzschia palea</i> (64.1)	<i>Navicula minima</i> (13.4)
	St. 4	<i>Navicula minima</i> (28.7)	<i>Nitzschia palea</i> (19.5)
	St. 5	<i>Nitzschia palea</i> (46.5)	<i>Achnanthes minutissima</i> (23.2)
	St. 6	<i>Navicula minima</i> (37.3)	<i>Nitzschia amphibia</i> (26.7)

류는 1문 1강 2목 2아목 12과 28속 89종 9변종으로 총 98분류군이 출현하였다. 조사 시기에 따라 2010년 8월은 총 71분류군, 11월은 64분류군, 2011년 2월은 66분류군, 5월은 72분류군으로 기온이 낮아지는 가을과 겨울에 분류군수가 감소하는 경향을 나타냈다. 출현분류군수는 반월습지(김용재, 2009)의 연구에서 총 109분류군, 동화습지의 연구(김백호 등, 2010)에서 120분류군이 출현한 것으로 다른 습지와 비교하였을 때 적은 분류군이 출현하였으나, 하류수계의 하천인 갈곡천과 인천강(이옥민 등, 2008)에서 각각 73분류군, 67분류군, 한강하류(정승원 등, 2008)에서 60분류군, 남대천과 연곡천, 사천천(김용진과 이옥민, 2010)에서 각각 88분류군, 70분류군, 76분류군 등이 출현한 것과 비교할 때 큰 차이가 없었다.

파주 생태습지의 우점종 및 아우점종은 *Achnanthes convergens*, *Achnanthes minutissima*, *Melosira varians*, *Navicula seminulum*, *Navicula minima*, *Navicula pseudolanceolata*, *Nitzschia amphibia*,

Nitzschia palea, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum*, *Surirella minuta* 및 *Synedra ulna* var. *fragilarioides*가 출현하였다(Table 3).

계절적으로 2010년 8월, 2011년 2월, 5월은 호호탁종으로 알려진(Watanabe et al., 2005) *Navicula*와 *Nitzschia*속의 조류가 다수 우점 하였으며, 이중 *Nitzschia palea*, *Navicula seminulum* 및 *Navicula minima*는 오염수역으로 알려진 포천천(김용재, 2007)과, 북하천(김용진 등, 2009)의 하류에서 우점종 및 주요종으로 출현하였다. 특히 *Nitzschia palea*의 경우 2010년 11월을 제외한 모든 계절과 정점에서 우점종 및 아우점종으로 출현하는 것으로, 반월습지(김용재, 2009)와 동화습지(김백호 등, 2010)의 연구와 유사하였다.

2010년 11월은 대표적인 호청수종(Watanabe et al., 2005)인 *Achnanthes convergens*가 정점 1과 정점 6에서 우점 하였다. 이것은 파주 생태습지로 유입되는 하천중 심학산 계곡류가 정점 1과 정점 6의 상류를 통하여 유입되는 것과 관련이 있을 것

로 판단된다. 2011년 5월에는 기수성 종으로 알려진 *Synedra fasciculata*(정준, 1993; Dziengo-Czajka et al., 2008)가 정점 5와, 정점 6에서 주요종으로 출현하였으며, 전기전도도가 1,340 μ s/cm로 높게 나타나는 등 한강하류의 해수유입에 따른 염도영향이 파주습지에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Watanabe 등(2005)의 연구에 따른 파주 생태습지의 호청수종(Saproxenous taxa), 호오탁종(Saprophilous taxa) 및 광적응성종(Indifferent taxa)의 계절적 변동은 다음과 같다(Fig. 3). 전체적으로 광적응성종의 비율이 높게 나타났으며, 2010년 11월 6월, 2011년 5월의 정점 2, 정점 3, 정점 5를 제외하고 모든 정점에서 50%이상의 비율로 나타났다. 호청수종의 비율은 0.0~51.5% 범위로

2010년 11월 정점 6에서 가장 높았으며, 2011년 5월 정점 1, 2를 제외한 모든 정점에서 호청수성종이 출현하지 않았다. 호오탁종의 비율은 6.8~80.5%의 범위로 2011년 5월 정점 3에서 가장 높았으며, 2011년 2월 정점 5에서 가장 낮았다.

파주 생태습지는 계절의 변화에 따라 지표종의 군집이 가장 큰 영향을 받았으며, 수온이 낮아지는 11월과 2월에 호청수종의 비율이 증가하였다. 섬강과 달천(김용진과 이옥민, 2009), 복하천과 달천(김용진 등, 2009)의 연구에서 광적응종의 비율이 겨울철에 높아지고, 이 비율이 높을수록 DAIPo에 의한 생물학적 수질평가의 신뢰도가 떨어지는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 2011년 5월 봄을 제외한 겨울, 여름 및 가을에도 정점에 따라 보편생육종의

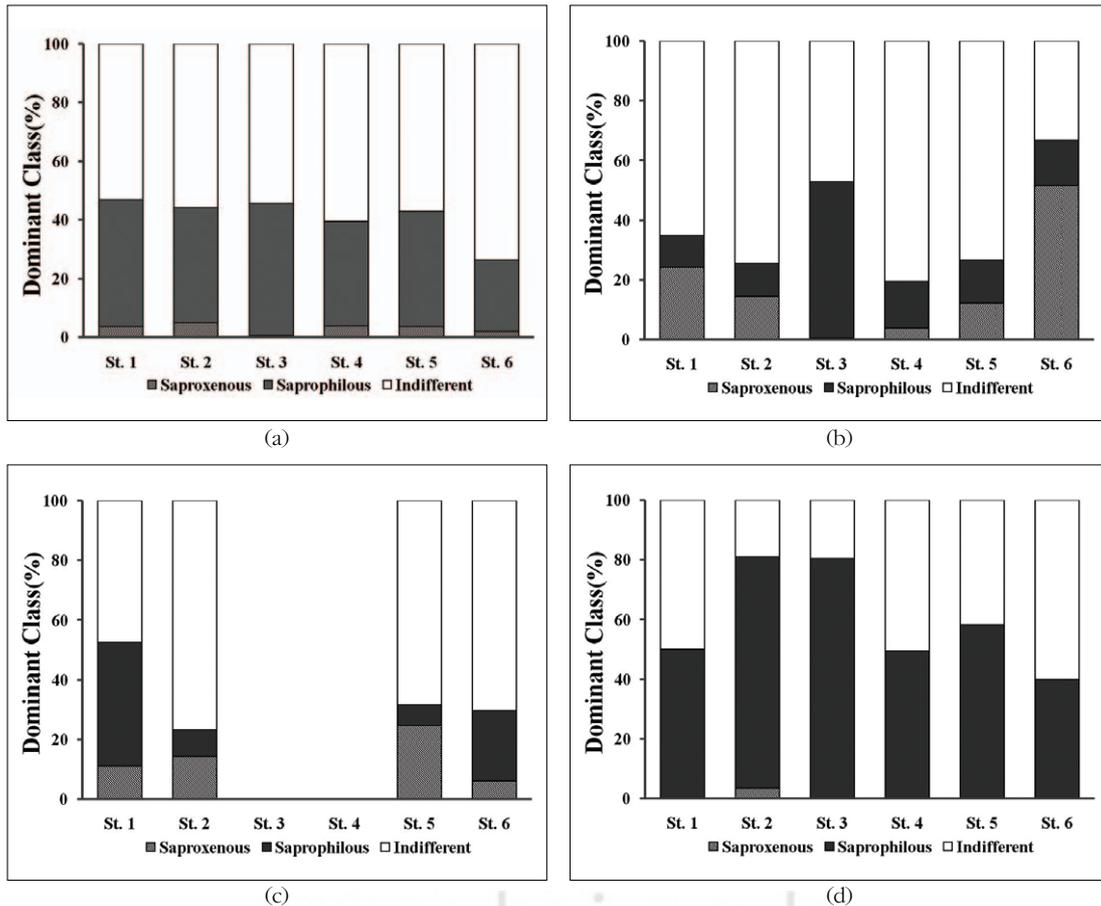


Fig. 3. Dominant classes(%) of water quality indicators at Paju ecological wetland from August 2010 to May 2011(a: Aug. 2010, b: Nov. 2010, c: Feb. 2011, d: May 2011).

Table 4. Seasonal changes of DAIpO and TDI of 6 sites at Paju ecological wetland from August 2010 to May 2011

Date	Site	DAIpO	TDI	DAIpO level	TDI level	Saprobic degrees*
Aug. 2010	St. 1	31.3	78.2	D	D	β -M
	St. 2	33.5	90.9	D	D	β -M
	St. 3	29.9	93.2	D	D	α -M
	St. 4	33.0	87.2	D	D	β -M
	St. 5	28.8	81.1	D	D	α -M
	St. 6	35.0	68.4	D	C	β -M
Nov. 2010	St. 1	56.8	73.9	C	D	α -O
	St. 2	51.6	66.8	C	C	α -O
	St. 3	24.1	87.4	D	D	α -M
	St. 4	44.0	84.2	C	D	β -M
	St. 5	48.9	66.0	C	C	β -M
	St. 6	68.2	55.8	B	C	α -O
Feb. 2011	St. 1	34.8	85.6	D	D	β -M
	St. 2	52.7	61.3	C	C	α -O
	St. 3	-	-	-	-	-
	St. 4	-	-	-	-	-
	St. 5	58.9	48.4	C	B	α -O
	St. 6	41.1	53.5	C	B	β -M
May 2011	St. 1	25.1	91.0	D	D	α -M
	St. 2	12.9	93.8	D	D	poly
	St. 3	9.8	96.0	D	D	poly
	St. 4	25.3	97.4	D	D	α -M
	St. 5	20.9	77.6	D	D	α -M
	St. 6	30.0	96.6	D	D	α -M

*: Saprobic degrees in Watanabe and Asai(1990)

비율이 높게 나타났으며, 이러한 정점은 TDI에 의한 생물학적 평가가 보다 정확할 것으로 판단된다.

3. 생물학적 수질평가

파주 생태습지의 생물학적 수질은 DAIpO(유기오 탁지수)가 9.8~68.2의 범위로 2010년 11월 정점 6에서 가장 높았으며, 2011년 5월 정점 3에서 가장 낮았다. DAIpO는 100에 가까울수록 생물학적 수질이 양호한 것으로(Watanabe *et al.*, 2005), 수온이 낮았던, 2010년 11월과 2011년 2월이 다른 계절에 비해 높았으며, 2011년 5월의 경우 모든 정점에서 30이하로 유기물에 의한 오염이 다소 진행된 것으로 평가되었다. 정점별로 심화산 계곡류가 유입되는 정점 1과 정점 6에서 대체로 높았으며, 정점 3이 모든 계절 동안 가장 낮았다. DAIpO의 등급은 2010년 8월과 2011년 5월은 모두 D등급(불량)으로 평가됐으며, 2010년 11월과 2011년 2월은 정점 3과 정점 1을 제외하고 C등급(보통), 2010년 11월 정점

6에서 B등급(양호)으로 평가되었다. Watanabe와 Asai(1990)에 의한 DAIpO 등급은 좀 더 세부적으로 나누어지며, 모든 정점이 D등급으로 평가된 2010년 8월과 2011년 2월은 β -중부수성(β -mesosaprobic)에서 강부수성(Polysaprobic)으로 평가되었다 (Table 4).

TDI(영양염 지수)는 48.4~97.4의 범위로 2011년 5월 정점 4에서 가장 높았으며, 2011년 2월 정점 5에서 가장 낮았다. TDI는 100에 가까울수록 생물학적 수질이 불량한 것으로(Kelly and Witton, 1995), DAIpO와 같이 수온이 낮았던, 2010년 11월과 2011년 2월이 다른 계절에 비해 낮았으며, 2011년 5월이 전체적으로 높았다. TDI의 등급은 대체적으로 D등급(불량)이 많았으며, DAIpO의 등급과 유사하였으나, 2010년 8월은 정점 6에서 C등급, 2011년 2월의 정점 4와 정점 5에서 B등급으로 평가되는 등 DAIpO에 비해 생물학적 수질이 양호한 것으로 평가됐다. 이것은 영양염류에 의한 오염을 나

타낸 동화습지의 연구(김백호 등, 2010)에서 DAIPo가 26.8~45.7의 범위, TDI가 77.6~83.8의 범위로 나타난 것과 비교 할 때, 파주생태습지가 영양염류에 의한 오염보다 유기물에 의한 오염의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다(Table 4).

파주생태습지는 수변 및 수생식물에 의해 영양염의 제거가 비교적 잘 이루어지고 있으나, 식물이 고사하는 가을과 겨울에 유량의 감소, 오수의 유입, 고사된 식물체의 분해 등에 유기물에 의한 오염이 가을과 겨울에 파주생태습지의 수질을 급격히 악화시킨다. 따라서 파주 생태습지의 보전과 효과적인 관리를 위해 오염원의 유입을 차단하고, 지속적인 모니터링을 통한 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론

부착규조를 이용한 파주 생태습지의 이화학적 수질과 생물학적 수질평가결과에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 이화학적 분석결과 수온의 변동 폭이 작으며, 수변식물 및 수생식물 등이 풍부하게 서식하고 있어 안정적으로 수온이 유지된 것으로 판단된다.
- 2) 한강하구의 영향으로 하류정점에서 전기전도도가 높았으며, 유량의 감소, 오수의 유입 등으로 BOD농도가 일부정점에서 높게 나타났다.
- 3) 영양염류(T-N, T-P)는 Forsberg와 Ryding (1980)의 기준으로 부영양수역에서 과영양수역으로 나타났으며, 하류정점에서 갈대 및 부레옥잠 같은 수생식물에 의해 감소하는 경향을 나타냈다.
- 4) 부착규조군집은 총 98분류군이 출현하였으며, 우점분류군으로 *Achnanthes convergens*, *A. minutissima*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum*, *Melosira varians*, *Navicula seminulum*, *N. minima*, *N. pseudolanceolata*, *Nitzschia amphibia*, *N. palea*, *Surirella minuta* 및 *Synedra ulna* var. *fragilarioides*

가 출현하였다.

- 5) 생물학적수질은 수온이 낮아지는 가을과 겨울에 DAIPo가 24.1~68.2, TDI가 48.4~85.6의 범위로 나타남으로써 B등급(suboptimal)에서 D등급(poor)으로 평가되었다. 봄과 여름에는 모든 정점에서 DAIPo가 40 이하이고 TDI는 70이상으로 나타남으로써 D등급으로 평가되었다. 본 연구정점의 생물학적 수질 평가에서는 DAIPo보다 TDI의 결과가 더 불량한 것으로 나타났다
- 6) 따라서 파주 생태습지의 보전과 효과적인 관리를 위해 오염원의 유입을 차단하고, 지속적인 모니터링을 통한 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업(2011-0005974)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- 고대현, 정운철, 서성철, 2010, 인공습지에서 오염물질 제거기작 및 국내외 연구동향, 대한환경공학회지, 32(4), 379-392.
- 공동수, 이옥민, 송호복, 김명철, 천승필, 전진식, 강현구, 박선진, 김용진, 김옥진, 김정운, 송미영, 2010, 진위천 수생태계 조사 및 건강성 제고 방안, 경기개발연구원, 138.
- 공동수, 정원화, 전선옥, 1999, 생활형 및 생육환경에 따른 대형수생식물의 생산성과 영양물질 제거 능력, 한국육수학회지, 32(3), 216-228.
- 김백호, 박영석, 김용재, 2010, 동화습지의 갈대 침수줄기에 서식하는 부착규조군집의 생태학적 특성, 한국하천호수학회지, 43(1), 91-102.
- 김용재, 2005, 하천수(반월천, 동화천, 삼화천)의 시화인공습지 관류에 따른 개방수에서 식물플랑크톤 군집 동태, 한국육수학회지, 38(3),

- 403-411.
- 김용재, 2007, 도시화 정도에 따른 포천천과 영평천의 돌 부착규조 군집변화, 한국육수학회지, 40, 468-480.
- 김용재, 2009, 시화 반월 고습지와 저습지의 갈대 부착규조 군집 구조, 한국육수학회지, 42, 95-106.
- 김용재, 김한순, 2006, 시화인공습지 완공 초기에 갈대 부착조류 군집의 변화, 한국육수학회지, 39(3), 402-412.
- 김용진, 신경애, 이옥민, 2009, 남한강 지류인 북한천과 달천의 부착규조를 이용한 생물학적 수질평가, 환경생물, 27(4), 414-424.
- 김용진, 이옥민, 2009, 부착조류를 이용한 달천과 섬강의 생물학적 수질평가, 한국물환경학회지, 25(4), 606-614.
- 김용진, 이옥민, 2010, 부착규조지수와 영양단계 평가를 이용한 남대천, 연곡천과 사천천의 수질 평가, 한국육수학회지, 43(1), 117-128.
- 송미영, 임동희, 신경애, 2011, 생태하천 유지관리를 위한 기초연구, 경기개발연구원, 156.
- 심우섭, 한인섭, 1998, 울산지역에서 자생하는 갈대, 부들, 갈풀을 이용한 Reed-Bed의 생활하수 정화능력연구, 한국환경과학회지, 7(2), 117-121.
- 이옥민, 유미선, 이병인, 임안숙, 2008, 전남 갈곡천과 인천강 하구역의 식물플랑크톤의 분포 및 현존량, 한국조류학회지, 23(4), 257-268.
- 정승원, 박성환, 이진환, 2008, 한강하류의 환경학적 연구 IIX, 갈수기 부착돌말류의 유기오탁지수(DAI_{po} index)에 의한 수질평가, 환경생물, 26(3), 233-239.
- 정 준, 1993, 한국담수조류도감, 아카데미출판사, 서울, 496.
- 조수연, 2004, 파주출판단지 조경공사 및 갈대셋강 생태복원. 생태조경시공, 9, 26-33.
- 최명재, 변명섭, 박혜경, 전남희, 윤석환, 공동수, 2007, 팔당호 인공 수초재배섬에서 수생식물의 생장 및 영양염류 제거 효율, 한국물환경학회지, 23(3), 348-355.
- 환경부, 2007, 수생태 건강성 조사 및 평가 지침안, 163.
- 환경부, 2011, 생태하천 복원 기술지침서, 304.
- Dziengo-Czaja M., Koss, J. and Matuszak, A., 2008, Teratological forms of diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water pollution in the western part of Puck Bay(southern Baltic Sea), Oceanol. and Hydrobiol, 37, 119-132.
- Ettl H., G. Gartner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, 1991b, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/4. Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Ettl H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, 1986, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/1. Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Ettl H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, 1988, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2. Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- Ettl H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, 1991a, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/3. Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- Forsberg C. and Ryding V. H., 1980, Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Wsedish waste-receiving lakes, Archives of Hydrobiology, 89, 189-207.
- Graham, L. E., Graham, J. M. and Wilcox, L. W., 2009, Algae, 2nd. ed., Pearson education, San Francisco, USA.
- Kelly, M. G. and Whitton, B. A., 1995, The trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers, J. Appl. Phycol., 7(4), 433-444.
- Mitsch, W. and Gosselink, J. G., 2000, Wetlands, Van Nost-rand Reinhold, New

- York, 920.
- Ramsar Convention, 2006, Strategic Framework and guidelines for the future development of the List of Wetlands of International Importance of the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971) Third edition, as adopted by Resolution VII.11 (COP7, 1999) and amended by Resolutions VII.13, VIII.11 and VIII.33 (COP8, 2002), and IX.1 Annexes A and B (COP9, 2005).
- U.S. Army Corps of Engineers, 2000, Wetland Engineering Handbook, ERDC/EL TR-WRPRE- 21.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1988, Design manual: constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment, EPA/625/1-88/022.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1995, Generic quality assurance project plan guidance for programs using community-level biological assessment in stream and wadeable rivers, U.S. Environmental Protection Agency, Office of water, Washington, D.C. EPA 841-B-95-004.
- U. S. Environmental Protection Agency, 2008, America's Wetland - Our Vital Link Between Land and Water, In <http://www.epa.gov/OWOW/wetlands/vital/toc.html>.
- Watanabe, T., Asai, K. and Houki, A., 1990, Numerical simulation of organic pollution in flowing waters. Hazardous Waste Containment and Treatment, 4, pp. 251-281.
- Watanabe T., Ohtsuka, T., Tuji, A. and Houki, A., 2005, Picture book and ecology of the freshwater diatoms. ed. T. Watanabe. Uchida-rokakuho, Tokyo.

최종원고채택 12. 02. 16