

## 소수계 유역 인공습지에서 식생 밀도 차이에 따른 영양염류 제거효율

고지연\* · 강항원 · 이재생 · 김춘송 · K. Sakadevan<sup>1)</sup> · H. J. Bavor

영남농업시험장 식물환경과, <sup>1)</sup>Western Sydney university

(2003년 11월 5일 접수, 2003년 12월 9일 수리)

### Nutrients Removal Efficiency by Vegetation Density on Constructed Wetland from Small Watershed

Jee-Yeon Ko, Hang-Won Kang, Jae-Sang Lee, Chun-Song Kim, K. Sakadevan<sup>1)</sup> and H. J. Bavor (National Yeongnam Agricultural Experiment station, Milyang 627-130, Korea, <sup>1)</sup>School of Science, Food and Horticulture, University of Western Sydney, Hawkesbury Bourke Street, Richmond, NSW 2753 AUSTRALIA)

**ABSTRACT :** This study was conducted to evaluate effects of 2 constructed wetlands with different vegetation states (Plumpton park wetland and Woodcroft park wetland) for reducing non-point source pollution from small watershed consisted of residential and agricultural area in suburban district of Sydney, Australia. The total nitrogen and phosphate removal efficiency of Plumpton park constructed wetland, composed of stable and dense vegetation, were 38.3% and 26.2% and Woodcroft park constructed wetland having still poor vegetation due to the short time to settle down transplanted plants after construction, showed relatively low removal efficiency of 20.2% and 14.0%. The removal efficiency of inorganic nutrients such as  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  were higher than total nitrogen and phosphate because plants and microorganisms in rhizosphere of constructed wetlands took up inorganic nutrients shortly. According to the type of wetland inflow, the nutrients removal efficiency of storm water flow was lower than base flow.

**Key words:** constructed wetlands, non-point source pollution, vegetation, nutrients removal efficiency.

## 서 론

인간의 이용과 편의를 위해 자연 습지(Natural wetland)와 유사하도록 물과 물로 포화된 기질, 수생식물, 동물 및 미생물 등으로 이뤄진 인공습지(Constructed wetland)는<sup>1)</sup> 수질 중 질소, 인산 등의 영양염류, 부유물질, 병원성 미생물 등의 오염원 제거가 가능하고 환경생태학적으로도 다양한 생물의 터전이 될 수 있는 구조물이다. 또한 최소한의 관리와 에너지 투입으로 자가유지 할 수 있으므로 기존의 처리방법으로는 처리하기 힘든 넓은 지역의 비점원 오염처리에 적합하므로 도시 주거지 및 농경지 강우 유출수 오염원 관리에 유리하다<sup>2,5)</sup>.

인공습지의 영양염류 처리기작은 크게 식물 및 식물체를 기주로 하는 미생물 및 광합성 조류 등에 의한 흡수와 인공습지의 기반을 이루는 토양 내 점토에 의한 흡착제거로 나눌

수 있다. 생물적 요소에 의해 일어나는 영양염류 흡수는 식물 및 미생물 등의 biomass가 최대로 될 때까지 계속되지만 biomass 최대 생산 이후는 식물의 자가분해현상(Auto-analysis)에 의해 식물 조직 내 영양원이 침출물이나 부스러기 등의 형태로 분해되면서 식물이 흡수하는 양과 분해되어 나오는 양이 유사하여짐으로서 실질적인 제거 효율은 거의 0%가 된다. 식물과 그 외 미생물 등에 의한 이 단계의 염류 제거효율은 300~400 kg P ha 에 달하는 것으로 알려져 있다<sup>3,6)</sup>.

습지 내 토양 입자에 의한 영양염류 흡착제거는 인공습지의 주된 염류제거 기작으로서 이를 기준으로 인공습지의 수명을 예측하기도 한다. 인공습지의 수명은 토양의 인산고정능에 따라 결정되는데 이는 토성에 따라 다양하고 토양 내 철이나 알루미늄 함량과 관계가 있다<sup>7)</sup>. 또한 견지성, 침투성 등의 토양물리성은 물속에 용해된 인산의 토양침투와 관계있어 인공습지의 수명에 영향을 미친다. 그 외 부유물질과 식물잔존물 등이 불완전하게 분해된 상태에서 수압에 의해 가리אות는 "Litter/Peat 축적"도 인공습지의 장기적인 영양염류 제거 기작의 하나라고 볼 수 있다<sup>7)</sup>.

자연정화를 이용한 수질정화 및 관리기법인 인공습지는

\*연락처:

Tel: +82-55-350-1267 Fax: +82-55-353-3050

E-mail: kjeeyeon@rda.go.kr

국내외적으로 활발한 연구가 이뤄지는 분야인데 국내에서는 Yoon<sup>8)</sup>과 Ham 등<sup>9)</sup>이 농촌 생활오수 및 농공단지 폐수처리를 위한 인공습지의 적용성을 검토하였고, Kwon 등<sup>10)</sup>은 농촌 하천유역의 종합적 수질관리 시스템 개발의 방안으로서 인공습지의 가능성과 설계방법 등을 제시하였다. 또한 식재된 식물의 생장기와 동절기가 인공습지의 오수처리에 미치는 영향<sup>11)</sup> 등 국내여건에 적합한 인공습지의 활용에 관한 많은 연구가 이뤄지고 있다.

호주는 넓은 국토와 조방적 목축업으로 인하여 집약적인 하수처리방법에 비하여 인공습지와 같은 자연정화를 이용한 비점원오염 관리가 발달한 국가이다. Plumpton park와 Woodcroft park는 호주 시드니 북서부지역의 Hawkesbury 강에 인접한 도·농 복합 주거지인 Blacktown 인근에 설치된 자유수면형(Free water surface system) 인공습지인데, Blacktown은 지난 15년간 주거 밀집지역이 3,000 ha 이상 증가하였고, 주변에 젓소의 방목장이 발달하여 강우에 의한 오염물질의 용탈 증가가 우려되는 지역이다. 따라서 인접한 Hawkesbury 강

의 수질악화를 막고자 1994년과 2002년 Hawkesbury 강의 지류인 Bells creek과 Eastern creek 수계에 각각의 인공습지가 설치되었다. 본 연구의 목적은 1994년 설치 후 수생식물의 밀도가 증가하고 식생의 안정이 일어난 Plumpton park와 2002년 설치하여 습지 내 식재된 식물의 밀도가 아직 낮은 Woodcroft park에서 유입수와 유출수의 수질을 관찰함으로써, 식생이 인공습지의 영양염류 제거효율에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 인공습지의 위치 및 구성

Fig. 1은 2개 인공습지의 위치와 습지에 연결되어 있는 수계를 나타낸 지도이다.

Plumpton park 인공습지는 NSW 시드니 중심가에서 북서부 방향으로 40 km 떨어진 곳에 있는 Bells creek내의 60 ha와 15 ha에 해당하는 2개의 작은 지류로부터 유출되는 오염물질을 제거하고자 1994년에 완공되어 현재 9년째 가동중이다<sup>12)</sup>. Plumpton park는 길이 180 m, 폭 25 m, 총 면적 0.45 ha이고, 5개의 cell로 나누어진 인공습지, 2개의 유입구(Inlet)와 1개의 유출구(Outlet), 병, 종이 등의 대형쓰레기를 모을 수 있는 1개의 Gross pollutant trap(GPT), gross pollutant가 습지로 들어가는 것을 막는 Trash rack으로 이뤄져있다. 각 cell의 길이는 약 35 m 정도이며 최대깊이는 600 mm, 각 cell의 경계는 400 mm 높이의 돌과 철망으로 이루어져있다 (Fig. 2, Fig. 3). 습지를 구성하고 있는 토양은 약산성의 점토질 토양이다. 강우사상이 발생하지 않는 건기에 흐르는 물의 양인 Base flow는 첫 번째 유입구에서 51 m<sup>3</sup>이고, 두 번째 유입구에서는 강우가 없을 경우흐름이 일어나지 않는다. 우점하고 있는 식물종은 갈대(*Phragmites australis*)로서 약 1.5 m 이상의 높이로 수면이 잘 보이지 않을 정도로 밀식되어 있다.

Woodcroft park 인공습지는 Plumpton park에서 동쪽으로 7 km 가량 떨어진 Eastern creek수계에 위치하고 있으며 약

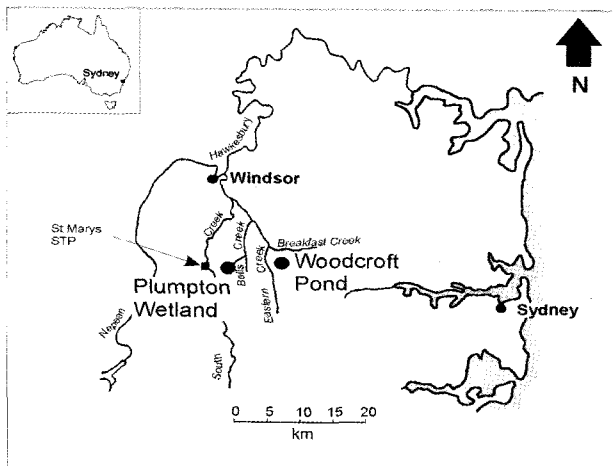


Fig. 1. Location of constructed wetland and watershed.

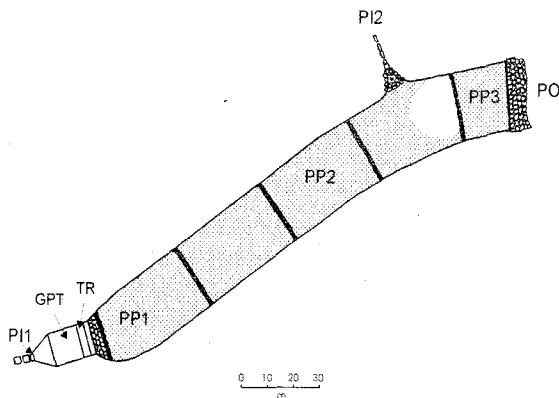


Fig. 2. Composition of Plumpton park.

PI 1, Inflow 1; PI 2, Inflow 2; PO, Outflow; TR, Trash rack; GPT, Gross pollutant trap.



Fig. 3. Plumpton park constructed wetland.

53 ha의 주거 밀집지역에서 용탈되어 나오는 비점원 오염을 처리할 수 있도록 고안되었다. 총면적 1.5 ha이며 1개의 유입구와 1개의 유출구, Trash rack으로 이뤄져 있다. Plumpton park와 달리 Woodcroft park에서 Gross pollutant trap (GPT)이 없는 이유는 습지에 바로 인접하여 호수가 있고, 그 호수가 GPT의 역할을 하기 때문이다. 습지의 토양은 Plumpton park와 마찬가지로 약산성의 점토질 토양이다. 이 곳은 원래 저류연못(detention pond)이었으나 2002년 6월 습지로 재조성되었다. 우점하고 있는 식물종은 부들(*Typha latifolia*)이나 동계에 조성되었기 때문에 아직 식생의 분포가 충분하지 않다 (Fig. 4, Fig. 5).

### 시료채취 및 분석

2002년 12월부터 2003년 3월까지 유입구와 유출수에서 주 1회 시료 채취하였으며, Plumpton park의 유입구 2는 강우 후 흐름이 발생하였을 때만 채취하였다.

수질은 pH, EC, Total N, Total P,  $PO_4^{3-}$ ,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$  항목을 Standard method<sup>13)</sup>에 준하여 분석하였다. pH와 EC는 pH와 EC meter를 이용하였고,  $PO_4^{3-}$ ,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$ 은 시료를 GF/C로 여과후 바로 Automatic Analyser (ALPKEM 501)로 분석하였으며, Total N, Total P는 산 및 열분해과정을 거친 후 Automatic Analyser로 분석하였다.

기간 중 강우량의 측정은 Plumpton park 인공습지에서 2 km 떨어진 Hebersham weather station의 자료를 이용하였다. 12월에서 3월은 호주의 여름철로서 우기에 해당하는 기간이나 2003년 12월과 1월의 강우량은 45.0 mm와 19.0 mm로 평년 강우량 70.4 mm와 107.5 mm에 비하면 매우 적은 편이었고, 2월은 112.5 mm로서 평년강우량 113.0 mm와 유사하였다. 3월의 총 강우량은 76.5 mm로서 평년보다 32.3 mm 적어서 조사월 중 강우량이 가장 많았던 달은 2월이었다.

### 결과 및 고찰

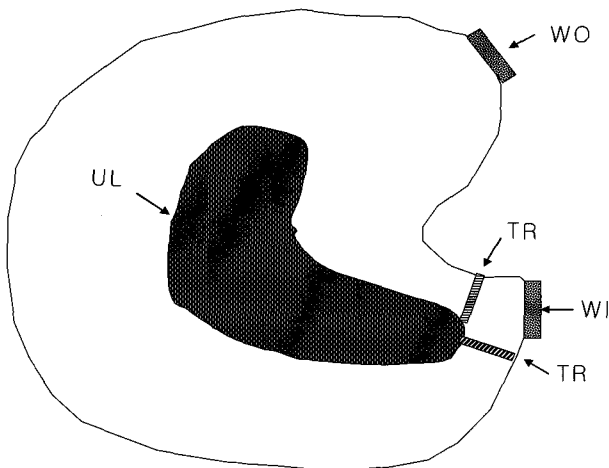


Fig. 4. Composition of Woodcroft park. WI, Inflow; WO, Outflow; TR, Trash rack; UL, Upland.

### 인공습지의 유입수와 유출수 수질 모니터링

Fig. 6은 Plumpton park와 Woodcroft park의 유입수와 유출수 수질을 주 1회 모니터링한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. pH는 7~9 사이의 약알칼리성으로 유입수와 유출수 모두 간 큰 차이가 나지 않았으며 강우량이 많았던 2월과 3월에 약간 증가하는 경향이었다. EC는 두 군데의 인공습지 모두 12월에 비해 강우량이 많았던 2월에 유입수의 EC가 감소하는 경향이었는데 이는 강우에 의한 오염물질의 용탈이 대부분 강우초기에 이루어지기 때문으로 초기에 오염물질의 용탈이 일어난 후 지속적으로 내린 강우에 의해 오염물질이 희석되었기 때문이라 생각된다. 유출수는 인공습지에 의한 완충효과로 유입수의 EC변화에 비해 변화범위가 줄어드는 경향이었는데, 이러한 완충효과는 설치된 지 얼마 되지 않아 식생의 발달이 거의 없는 Woodcroft park보다 수생식물이 군락을 이룬 Plumpton park에서 유출수 EC가 안정적이며 저감효과도 컸다.

T-P는 Woodcroft park에 비해 Plumpton park의 유입수내 농도가 더 높아 Plumpton park 유역이 Woodcroft park에 비해 오염정도가 심하다는 것을 유추할 수 있었고 두 군데 인공습지 모두 유입수와 유출수 사이 농도의 큰 차이를 볼 수 없었다. 시기에 따라서는 강우량이 많았던 2월에 유입수와 유출수의 총인 함량이 증가하는 경향이었는데 이는 수질 중 인산성분은 토양의 침식에 의한 토양입자의 이동과 관련이 깊은 성분이기 때문으로 생각되었다.

T-N 역시 Plumpton park의 유입수 농도가 더 높은 편이었으나, 인과는 달리 유입수에 비하여 유출수에서 함량이 낮아지는 경향이 뚜렷하여서 인공습지에 의한 오염정화효과를 알 수 있었다. 강우량이 많았던 2월에는 유입수 내 오염물질이 강우에 의한 희석효과로 총질소의 농도가 낮아지는 경향을 보였다.

유입수의  $PO_4^{3-}$ 함량의 시기에 따른 경시적인 변화는 Plumpton park와 Woodcroft park 모두 T-P함량의 변화와 유사하



Fig. 5. Woodcroft park constructed wetland.

였으나 유출수에서 유입수에 비해 상당히 낮아지는 경향이 있었다.  $\text{NH}_4\text{-N}$ 와  $\text{NO}_3\text{-N}$  역시 유입수에 비하여 유출수에서 저감 효과가 컸으며 유입수의 농도가 순간적으로 높아지더라도 유출수의 농도는 상대적으로 안정적으로 배출됨으로써 인공습지가 영양염류 조절의 buffer기능을 성공적으로 수행한다는 것을 알 수 있었다.

**인공습지 종류, Flow 및 영양염류 유형에 따른 영양염류 제거 효율**

Table 2는 인공습지의 종류 및 영양염류 유형에 따른 오염원 제거 효과를 살펴보기 위하여 유입수와 유출수의 영양염류 함량을 나타낸 것이다. 식생이 안정적이고 수생식물의 밀도가 높은 Plumpton park에서 유입수 영양염류의 43.6%가 유출수에서 제거되었고 식생의 밀도가 낮은 Woodcroft park

에서 24.6%가 제거됨으로써, Plumpton park 인공습지에서 전체적으로 높은 제거효율을 나타내었다. 이는 Plumpton park 인공습지에서 Woodcroft park 인공습지에 비해 식물의 영양소 흡수 및 식물체를 기주로 하는 미생물과 광합성 조류 등에 의한 영양염류 제거효과가 높았기 때문으로 생각된다. 인공습지의 영양염류 제거효율에 대해서는 유입수의 T-P 농도가 1.0 mg/L 이하일 경우 잘 처리된 인공습지의 영양염류 제거효율은 4년 이상 60~90%를 유지한다고 보고되고 있다<sup>14-16)</sup>. Bavor and Mitchell은 인공습지에서 식물의 효과는 식물자체의 영양염류흡수뿐 아니라 근권 주위에 산소를 공급하고 미생물의 서식밀도를 높여서 식물과 미생물로 이뤄지는 bio-film을 형성하는 것이며 이러한 bio-film은 영양염류의 형태를 변환시킴으로써 이동을 막는 것은 돕는다고 하였다<sup>3)</sup>. Adock은 식물의 생육이 왕성하였던 byron bay 인공 습지의 오염정화 효과

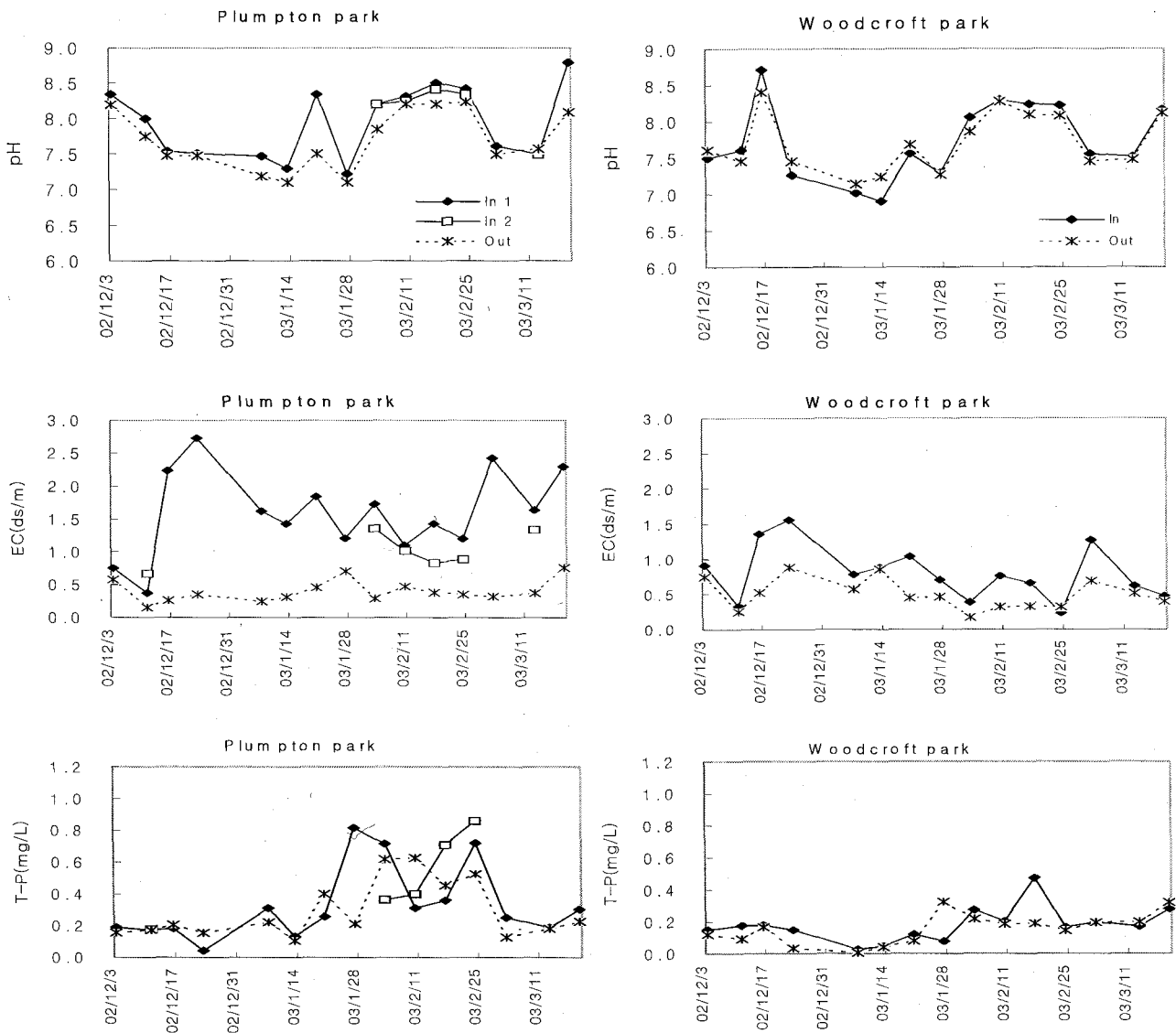


Fig. 6. Changes of inflow and outflow water quality components of Plumpton park and Woodcroft park constructed wetland.

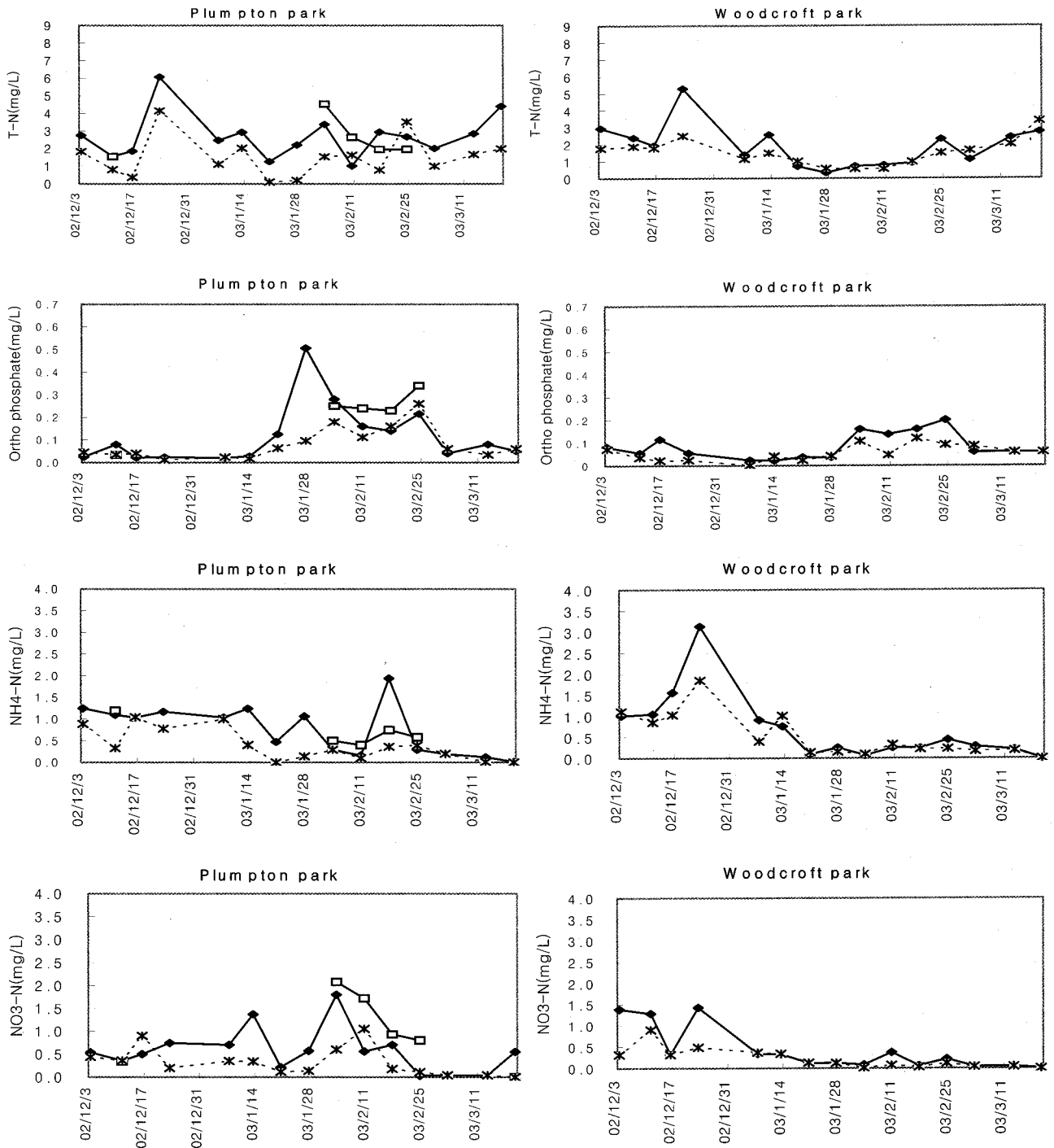


Fig. 6. continued.

를 살펴본 결과 유입수 총질소함량의 85.7%, 총인 함량의 48.1%가 유출수에서 저감되었다고 보고함으로써 식물에 의한 영양염류 제거효율이 큼을 보고하였다. 또한 인공습지내 토양, 식물 및 물속에 있는 T-P, T-N의 함량을 조사함으로써 영양염류의 분포를 조사한 결과 T-P의 46%, T-N의 55%가 식물체에 의하여 제거되었다고 하였다<sup>17)</sup>.

영양염류 유형에 따라서는 T-P와 T-N보다 무기태 인산과

질소의 제거효과가 뚜렷하여서 T-P의 14.0~26.2%, T-N 20.2~38.3%가 저감되었음에 비하여 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 26.2~47.2%, NH<sub>4</sub>-N의 24.0~45.2%, NO<sub>3</sub>-N의 46.5~58.4%가 저감되었다. 이는 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>과 NH<sub>4</sub>-N와 같은 무기태 영양염류는 음으로 하전 된 토양내 점토입자에 잘 흡착될 뿐 아니라 식물 및 미생물에 쉽게 흡수 이용되고, NO<sub>3</sub>-N 역시 자체로 식물 및 미생물에 의해 흡수 분해 될 뿐 아니라, 물에 잠긴 자유수면형 습지이므로 혐기적

탈질작용에 의한 제거가 일어났다고 할 수 있다.

Yoon 등은 인공습지의 시작품에서 정화조를 거쳐 1차 처리된 생활하수의 처리효율을 살펴본 결과 T-N 5%, T-P 87%가 감소되었음에 비하여 무기태 영양염류인 NH<sub>4</sub>-N의 약 40%, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 92%가 감소되어 무기태 영양염류의 제거효율이 더 높았다고 보고함으로써 본 실험과 유사한 결과를 얻었다. 그러나 NO<sub>3</sub>-N의 경우 오히려 유출수에서 증가하였는데 이는 인공습지가 자유수면형이 아니라 지하수면형(Subsurface system)으로서 혐기성 상태에서 일어나는 탈질작용이 충분하지 못하였기 때문이라고 보고하였다<sup>9)</sup>. 또한 인의 처리효율이 본 인공습지에 비하여 매우 높았던 것도 지하수면형 습지이기 때문에 자유수면형 습지보다 토양입자에 의한 흡착이 증가하였기 때문으로 생각되었다.

무기태 이온의 감소는 EC농도에도 영향을 미쳐 2개의 인공습지 모두 유출수에서 유입수에 비하여 EC가 낮았으며, EC 역시 Plumpton park에서 74.2%, Woodcroft park에서 37.5% 저감됨으로써 Plumpton park 인공습지의 저감효율이 높아 영양염류의 저감과 같은 경향을 나타내므로서 습지의 식생의 차이가 인공습지의 효율에 영향을 미쳤다고 생각된다(Fig. 7).

Flow유형별로는 강우가 없을 때의 흐름인 Base flow에 비해 Storm water flow시 제거 효율이 낮은 편인데 이는 유량이 많고 유속이 빨라 유입수의 습지 저류 시간이 Base flow에 비해 짧았기 때문으로 생각된다.

요약

호주 시드니 인근 도·농 복합 소도시로부터 발생하는 비점오염원을 처리하기 위하여 설치된 Plumpton park와 Woodcroft park 인공습지의 처리효율을 살펴본 결과, 수생식물의 밀도가 증가하고 식생이 안정된 Plumpton park 인공습지에서 T-P의 26.2%, T-N의 38.3%, 식생분포가 안정적이지 않은 Woodcroft park에서 14.0%와 20.2%가 각각 제거됨으로

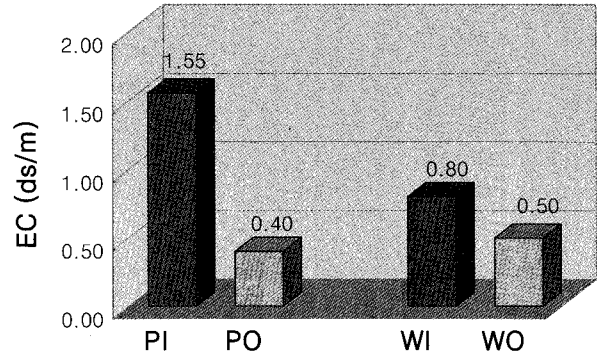


Fig. 7. Change of EC between influent and effluent of constructed wetland. (PI, Plumpton park Inflow; PO, Plumpton park Outflow; WI, Woodcroft park Inflow; WO, Woodcroft park Onflow)

Table 2. Nutrients removal efficiency of constructed wetlands by type of nutrients and flow

Flow	Nutrients	Plumpton park			Woodcroft park			
		Influent	Effluent	Removal efficiency (%)	Influent	Effluent	Removal efficiency (%)	
Total	Total	T-P <sup>a)</sup>	0.42	0.31	26.2	0.18	0.15	14.0
	Nutrients	T-N	2.61	1.61	38.3	1.90	1.51	20.2
		O-P	0.17	0.08	47.2	0.08	0.06	26.2
	Inorganic Nutrients	A-N	0.72	0.40	45.2	0.68	0.52	24.0
		N-N	0.78	0.32	58.4	0.41	0.22	46.5
	AVG		0.94	0.54	43.6	0.65	0.49	24.6
Base flow	Total	T-P	0.28	0.19	32.1	0.13	0.11	15.4
	Nutrients	T-N	2.82	1.57	44.3	2.11	1.69	19.6
		O-P	0.09	0.05	50.1	0.05	0.04	24.1
	Inorganic Nutrients	A-N	0.79	0.29	63.3	0.89	0.68	23.1
		N-N	0.63	0.28	55.5	0.46	0.30	34.8
	AVG		0.90	0.48	49.1	0.73	0.56	23.3
Storm water flow	Total	T-P	0.45	0.50	-10.6	0.21	0.18	12.0
	Nutrients	T-N	2.15	1.74	18.9	1.58	1.24	21.5
		O-P	0.17	0.14	15.7	0.13	0.09	27.6
	Inorganic Nutrients	A-N	0.59	0.25	58.1	0.38	0.32	15.0
		N-N	0.77	0.44	43.1	0.32	0.20	38.4
	AVG		0.83	0.61	26.5	0.52	0.41	21.2

<sup>a)</sup> T-P, Total phosphate; O-P, Orthophosphate; T-N, Total nitrogen; A-N, Ammonium nitrogen; N-N, Nitrate nitrogen.

서 인공습지에서 식물체와 식물체 근권 미생물에 의한 T-P 및 T-N의 제거 효율이 상당히 큼을 알 수 있었다. 또한 T-N와 T-P에 비하여  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 제거율이 높았던 것은 무기태 형태의 영양염류가 식물 및 미생물에 더 쉽게 이용되었기 때문으로 생각된다. 이상의 결과로 볼 때 인공습지에서 식물체와 근권 주위 미생물에 의한 염류제거는 인공습지가 설치한지 오래되었을 때도 효과적이었고, 또한 인공습지는 무기태 영양염류의 제거효율이 더욱 높았으므로 무기화학비료 등의 용탈이 일어나기 쉬운 농경지 비점오염원으로 부터 발생하는 수질오염의 개선에 이용할 수 있는 경제적이고도 효율적인 system으로 고려되었다.

### 참 고 문 헌

- Reddy, K. R. and Smith, W. H. (1987) Aquatic plants for water treatment and resource recovery, Magnolia pub. Orlando, Florida.
- Hammer, D. A. and Bastian, R. K. (1989) Wetland ecosystem: natural water purifier? In: Hammer, D. A. (Ed), Constructed wetlands for Wastewater Treatment : Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publ. Michigan, p.5-19.
- Bavor, H. J. and Mitchell, D. S. (1994) Wetland system in water pollution control, *Wat. Sci. Tech.* 29(4)
- De Laney, T. (1995) Benefita to downstream flood attenuation and water quality as a result of constructed wetlands in agricultural landscape, *J. Soil Wat. Conse.* 50, 620-626.
- U.S. Environmental Protection Agency (1988) Design manual for constructed wetlands and floating aquatic plant systems for municipal wastewater treatment, EPA 625/1-88-022, U.S. EPA, Cincinnati, OH.
- Sakadevan, K. and Bavor. H. J. (1999) Nutrient removal mechanisms in constructed wetlands and sustainable water management, *Wat. Sci. Tech.* 40(2), 121-128.
- Faulkner, S. P. (1989) Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soil. In: Constructed wetland in waste water treatment :41-72
- Yoon, C. G., Kwun, S. K. and Kim, H. J. (1997) Change of nutrients and behavior of total coliforms in the natural treatment of wastewater by subsurface flow wetland system, 16(3), 249-254.
- Ham, J. H. and Yoon, C. K. (2003) Feasibility study of constructed wetland system for sewage treatment in rural area, *Korean J. Environ. Agric.* 19(5), 426-432.
- Kwon, S. K., Yoon, C. G., Lim, Y. H., Kim, J. S., Hong, S. G., Jung, H. C., Cha, G. C., Park, B. H. and Shin, D. S.(2001) Development of integrated water quality management system in rural river Basins, Ministry of Agricultural and Forest, p.462.
- Yoon, C. G., Kwun, S. K. and Ham, J. H. (1999) Wetland performance for wastewater treatment in growing and winter seasons, *Korean J. Environ. Agric.* 41(5), 96-105.
- Bavor, H. J. and Davies, C. M. and Sakadevan, K. (2001) Stormwater treatment: do constructed wetlands yield improved pollutant management performance over a detention pond system?, *Wat. Sci. Tech.* 44(11-12), 565-570.
- Standard methods for the examination of water and wastewater 1998. 20th edn. American Public Health Association/American Water works Association/Water environment Federation, Washington DC, USA.
- Soukup, A., Williams, R. J., Cattell F. C. R. Krogh (1994) Function of a coastal wetland as an effecient remover of nutrients from sewage effluent : a case study. In: Bavor, H. J. and D. Mitchell(Eds.) Water Science and Technology. Wetland System in Water Pollution Control, 29(4), 295-304.
- Patrino, J. and Russell, J. (1994) Natural Wetland polishing effluent discharging effluent to Wooloweyah Lagoon. In: Bavor, H. J. and Mitchell(Eds.) Water Science and Technology. Wetland System in Water Pollution Control, 29(4), 185-192.
- Bavor, H. J. and Andel, E. F.(1994) Nutrient removal and disinfection performance in the Byron Bay Constructed wetland System, *Wat. Sci. Tech.* 29(4), 201-208.
- Adcock, P. W., Ryan, G. L. and Osborne, P. L. (1995) Nutrient partitioning in a clay-based surface flow wetland, *Wat. Sci. Tech.* 32(3), 203-209.