

## 우포늪의 식물플랑크톤 군집 동태

이 정 준 · 이 정 호\*

(대구대학교 과학교육학부)

Dynamics of the Phytoplankton Community in Upo Wetland. Lee, Jung Joon and Jung Ho Lee\* (Division of Science Education, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea)

The dynamics of phytoplankton communities were investigated for Upo wetland from march 2005 to December 2007 on monthly basis. During the investigation, totally 213 phytoplankton taxa which belonged to 86 genera of 35 families in 8 classes were observed. Chlorophyceae was the most diverse in the Upo wetland. Number of phytoplankton taxa was in the range 14~50 for monthly investigation and the average number of taxa was  $34 \pm 10$ . Phytoplankton standing crops were the lowest value of 161 cells  $\text{mL}^{-1}$  in August 2005 and the highest with 159,283 cells  $\text{mL}^{-1}$  in August 2006. Especially during summer season in 2006, phytoplankton standing crops showed the highest value due to the waterbloom occurred by cyanobacteria. The number of the dominant taxa of Upo wetland were 13 and among them chlorophyceae and cyanophyceae dominated 8 times. In the view of seasonal changes of phytoplankton community, Upo wetland had high portion of cryptophyceae, dinophyceae and bacillariophyceae in the winter season and chlorophyceae and bacillariophyceae in the other season. However, in the summer season of 2006, cyanobacteria showed the highest portion. The diversity indices had range from 0.50 to 2.86 and showed the tendency of gradual decrease in each year.

**Key words :** Upo wetland, phytoplankton community

### 서 론

자연늪은 수생식물과 어패류 등 많은 생물군의 서식처로서의 역할뿐만 아니라 다양한 생태적 기능을 지닌 독특한 수체이다. 습지는 지형이 완만하고 수심이 얕아 수생생물의 종조성이 매우 다양하며, 동식물의 생육에 필요한 부양체제가 대단히 우수한 환경적 특성을 가진다(이와 권, 2000). 또한 습지는 오염물질을 정화하고, 기후 조절 및 홍수와 가뭄을 조절하는 완충 지역으로서의 높은 가치를 지닌 곳이다. 따라서 습지는 경제적으로는 물론 생태와 환경, 지리적 측면에서도 매우 중요하다(Verho-

even *et al.*, 2006).

우리나라는 1990년대부터 습지의 중요성을 인식하기 시작하여 1997년 람사협약을 맺었으며, 현재는 환경부의 전국 내륙 습지 조사 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 구와 김(2001a)과 주와 구(2006)는 국내 습지의 분류체계를 수정하여 각 습지의 유형별 특성을 규명하고자 하였으며, 박(2005)은 만경강과 동진강 유역을 중심으로 주변 습지를 분석하고 특징에 따라 습지를 분류하였다. 또한 수문지형학적 관점에서 습지를 분류하는 연구(문, 2005)도 보고되었다. 습지 분류를 위한 다양한 연구들이 외에도 권(2006)은 한국 습지의 지형학적 연구 결과를 종합하여 습지지형의 특성을 파악하고, 습지의 연구방향

\* Corresponding author: Tel: 053) 850-4421, Fax: 053) 850-6999, E-mail: jungho@daegu.ac.kr

을 제시하였다. 더욱이 GIS 기법을 이용하여 효율적인 습지 관리 권역을 설정하고, 습지 분포 지역의 위치정보와 수치지도를 작성하여 습지의 체계적인 관리를 통한 습지 보존에 대한 연구들이 보고되었다(곽 등, 2005; 구 등, 2005; 김과 구, 2005; 장과 김, 2006; 구와 서, 2007). 이렇듯 습지의 분류와 관리를 위한 연구 결과들과 더불어 최근에는 습지의 기능을 평가하고, 경제학적인 습지의 환경적 가치를 평가하는 연구들이 진행되고 있다(구와 김, 2001b; 김과 안, 2006; 박 등, 2006; 안, 2007). 다른 한편에서는 습지의 기능적인 측면을 중심으로 하는 연구들이 보고되고 있다. 이러한 연구들 중 특히 수변 식생대의 수질정화 기능과 수생식물 등 습지 내에 서식하는 생물들을 통한 수질 개선 효과 분석 등에 관한 연구들이 꾸준히 진행되고 있는 실정이다(Woo *et al.*, 1996; 정 등, 1999; 황 등, 2000; 양, 2002, 2005, 2006; Chen *et al.*, 2003; Shin and Park, 2003; 윤 등, 2004; 고 등, 2005).

국내에서 습지에 서식하는 생물상 및 생물 특성에 대해서는 식생에 대한 연구 보고가 대부분이며, 그 외에는 조류와 어류에 대한 소수의 보고가 있을 뿐이다(정과 최, 1987; 강과 주, 1999; 김 등, 2000; 양 등, 2001; 오 등, 2002; 한 등, 2002; 이와 류, 2003; 최 등, 2003; 권 등, 2004; Choi and Park, 2004; 권 등, 2006; 장 등, 2006; 윤, 2007; 이와 유, 2007).

1990년대 후반부터 지금까지 국내에서 습지에 대한 다양한 연구들이 진행되어 왔음에도, 국내 최대 규모의 자연 습지를 자랑하는 우포늪에 대한 연구 실적은 기대에 미치지 못하는 실정에 있다. 현재까지 국내에서 보고된 우포늪 관련 연구는 우포늪의 보전과 관리 방안에 대한 연구(Yang and Moores, 1998; 곽 등, 2002; 주, 2004; 김, 2007a)와 퇴적물에 함유된 인과 중금속에 대한 연구(한, 2000; 김, 2007b)가 있었으며, 우포늪 유역의 비점오염원에 대한 연구(서, 2006)가 보고되었다.

우포늪의 생물상에 대해서는 주로 동물플랑크톤과 대형 무척추동물, 조류, 식생에 대해 소수의 연구 보고만이 있는 상황이다(강과 함, 1997; 최, 2000; 김 등, 2004; 김, 2006; Lee *et al.*, 2006; 도 등, 2007; 박, 2007; 이, 2007; 정, 2008). 그러나 수중생태계의 1차 생산자로서 수중 먹이망의 근간이 되는 담수조류에 관한 연구는 우포늪뿐만 아니라 국내의 모든 자연 습지에서도 매우 빈약한 실정이다. 우리나라의 자연늪의 식물플랑크톤의 연구로는 대암산의 용늪(정, 1974)과 경남 함안의 자연늪들(정과 이, 1986; 정과 노, 1987), 한라산 백록담(이, 1986, 1987), 창녕군의 쪽지벌과 사지포(김과 정, 1993)에 대한 조사 등이 있었다. 특히 본 조사 대상지인 우포와 목포, 쪽지벌,

사지포 등에 관한 식물플랑크톤의 조사는 김(1993)과 김과 정(1993), 김(2001)의 보고가 있을 뿐이며, 우포늪의 수환경 요인에 대해서도 우포만을 대상으로 실시한 Choi *et al.* (1998) 보고가 있을 뿐이다. 더욱이 이러한 연구 보고들은 대부분 단기간에 걸쳐 진행되어, 장기적인 우포늪의 수질 및 생물상에 대한 모니터링이 절실히 요구되고 있다. 결국 현재 우포늪의 4개 습지를 대상으로 수환경 요인 변동 및 식물플랑크톤 군집 변화에 대한 장기적인 연구 보고는 전무한 실정이다.

본 연구는 우포늪을 대상으로 수중생태계 내에서 1차 생산자로서 수환경 요인 변화에 민감하게 반응하는 식물플랑크톤의 군집 변화에 대해 조사하였다. 식물플랑크톤의 출현종 양상과 출현종수의 계절적 변화에 대해 분석하였으며, 우점종 현황을 분석하여 주요 식물플랑크톤 출현종을 조사하였다. 또한 분석된 자료를 바탕으로 계절에 따른 식물플랑크톤의 강(Class)별 출현 양상을 밝히고자 하였다. 더욱이 우포늪을 대상으로 보고되었던 선행 연구들의 결과와 본 조사를 통해 분석된 결과와의 비교를 통해 식물플랑크톤 주요 종과 군집의 변화 상태를 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

우포늪은 경상남도 창녕군 소재 우포늪은 동경 128° 30', 북위 35° 30'에 위치하는 자연습지로서, 행정구역상 이합면, 유어면, 대합면에 걸쳐 사지포, 목포, 우포, 쪽지벌의 늪이 모여 이루어져 있다(조, 1992; 이와 박, 1998). 우포늪은 남북의 길이 3 km, 동서 폭이 3.5 km, 총면적 3.03 km<sup>2</sup>의 우리나라 최대 규모의 자연늪으로 1998년 3월 랍사협약에 등록된 습지이다(이와 박, 1998; 김, 2001). 또한 1997년에는 생태계보전지역으로 지정되었으며, 1999년에는 습지보호지역으로 선정되었다(강, 2004).

본 조사는 우포늪의 환경과 식생을 대표할 수 있을 것으로 판단되는 곳인 전망대 아래 지점을 대상으로 실시하였으며(Fig. 1), 시료의 채집은 2005년 3월부터 2007년 12월까지 매달 1회씩 총 34회에 걸쳐 실시하였다.

식물플랑크톤의 분석을 위한 정량 조사 시료는 플라스틱 채수병을 사용하여 수심 10~30 cm 범위에서 채집하여 Lugol's solution으로 고정하여 사용하였으며, 분류 및 계수를 위한 정성시료는 정량시료의 농축액과 NXXX 25 plankton net로 채수한 시료를 함께 사용하였다.

식물플랑크톤의 현존량 산정을 위하여 1L 정량시료를 48~72시간 자연 침강법을 사용하여 침전시킨 후, 상등

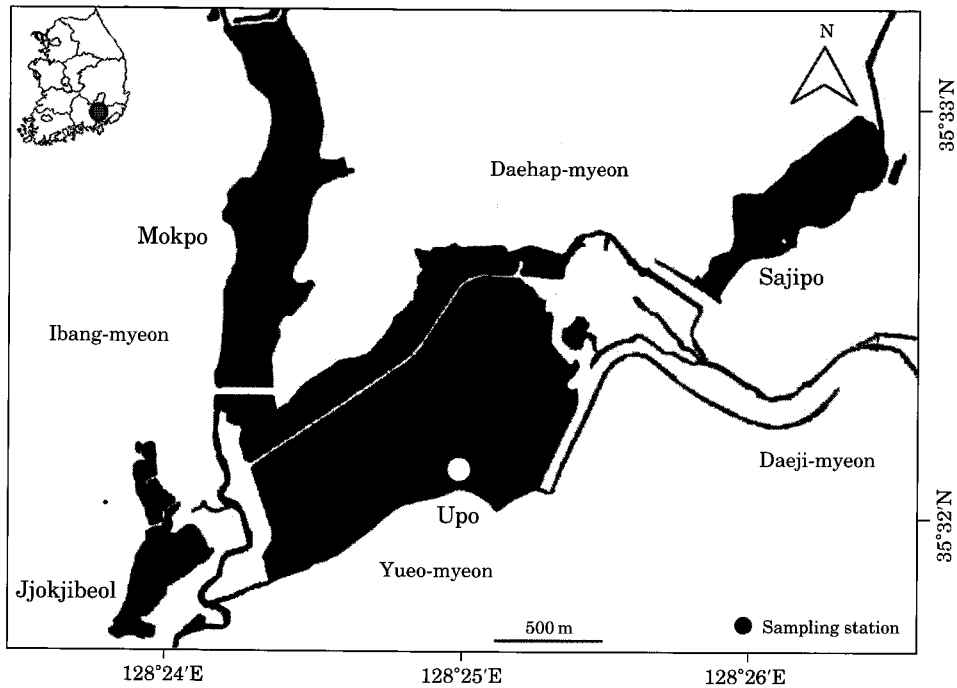


Fig. 1. A map showing the sampling station in Upo wetland.

액을 제거하여 적정량으로 농축하였다. 그리고 plankton net로 채수한 정성시료는 formaldehyde 용액으로 최종 농도가 3%가 되도록 첨가하여 사용하였다. 정성시료를 사용하여 출현종의 목록을 작성하였으며, 농축한 정량시료를 잘 혼합한 후, 0.5 mL를 취해 counting chamber (KCC-400L)를 사용하여 Schoen (1988)의 방법으로 계수하였다. 식물플랑크톤의 종목록 작성과 계수는 광학현미경 Olympus BX50 (Olympus, Japan)을 사용하여 실시하였다. 출현한 식물플랑크톤의 현존량 표 작성시 목록에는 있으나 계수에는 포함되지 않은 종의 경우는 '+'로 표시하였다. 생물지수 산정을 위해 식물플랑크톤 현존량과 출현종수를 토대로 Shannon-Weaver (1963)의 다양도 지수를 구하였다.

## 결 과

### 1. 출현종 현황

우포늪에서 총 34회의 조사 기간 동안 총 8강 15목 35과 86속 213종이 출현하였다. 녹조강은 4목 14과 41속 92종으로 출현종수가 가장 많았다. 규조강은 2목 8과 24속 69종이 출현하였다. 남조강은 2목 3과 9속 22종이 출현하였으며, 유글레나조강은 1목 1과 3속 17종이 출현하

Table 1. Classification of the phytoplankton in Upo wetland from March 2005 to December 2007.

Class	Order	Family	Genus	Species
Bacillariophyceae	2	8	24	69
Chlorophyceae	4	14	41	92
Chrysophyceae	2	3	3	4
Cryptophyceae	1	2	2	2
Cyanophyceae	2	3	9	22
Dinophyceae	2	3	3	6
Euglenophyceae	1	1	3	17
Xanthophyceae	1	1	1	1
Total	15	35	86	213

였다. 황갈조강에서는 2목 3과 3속 4종이 출현하였으며, 외편모조강에서는 2목 3과 3속 6종이 조사되었다. 은편모조강과 황녹조강에서는 각각 1목 2과 2속 2종과 1목 1과 1속 1종이 출현하였다 (Table 1).

### 2. 출현종수 현황

2005년 출현종수는 4월에 46종으로 가장 많았으며, 8월에 22종으로 가장 적었다. 8월부터 10월까지의 출현종수가 점차 증가하였으나, 동계로 접어들수록 감소하였다. 2005년의 평균 출현종수는 목포와 동일한 35종으로 조사되었다 (Fig. 2).

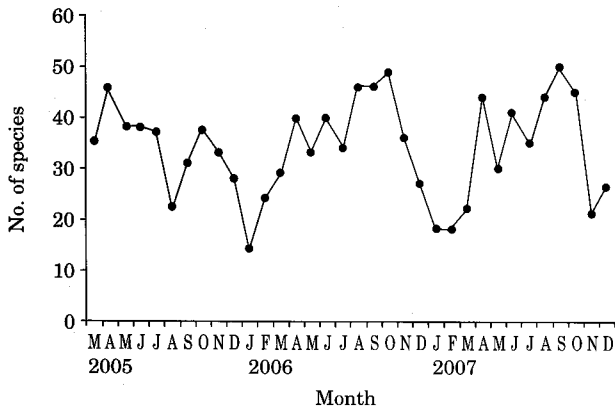


Fig. 2. Seasonal change of the number of phytoplankton species in Upo wetland.

2006년에는 1월부터 10월까지 출현종수가 지속적으로 증가하였으나, 급격한 증가폭은 나타나지 않았다. 10월부터 12월까지는 출현종수가 감소하였다. 출현종수가 가장 높았던 시기는 10월로 49종이 출현하였으며, 1월에는 14종으로 출현종수가 가장 적었다. 2006년의 평균 출현종수는 35종으로 조사되었다 (Fig. 2).

2007년의 출현종수 변동 양상은 1월부터 9월까지 대체로 증가하였고, 동계에 감소하는 것으로 2006년과 유사하게 나타났다. 2007년의 최대 출현종수는 9월의 50종이었으며, 최소 출현종수는 1월과 2월의 18종으로 조사되었다. 2007년 평균 출현종수는 33종으로 나타났다 (Fig. 2).

우포늪에서 전 조사 기간 평균 출현종수는  $34 \pm 10$ 종이었다. 2005년부터 2007년의 6월부터 9월까지의 하계 기간 동안 총 12회 조사에서 평균 출현종수는  $39 \pm 7$ 종이었으며, 10월부터 5월까지의 총 22회 조사의 평균 출현종수는  $31 \pm 10$ 종으로 조사되었다.

### 3. 식물플랑크톤 현존량 변화

2005년에는 식물플랑크톤 현존량이 3월부터 5월까지 급격히 증가하였고, 5월부터 7월까지는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 8월부터 12월까지 식물플랑크톤 현존량은 다소 증가하였다. 2005년 최고 식물플랑크톤 현존량은 5월의  $80,494 \text{ cells mL}^{-1}$ 였으며 최저 현존량은 8월의  $161 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 조사되었다. 2005년 평균 식물플랑크톤 현존량은  $19,474 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 나타났다 (Fig. 3).

2006년에는 6월부터 11월까지 식물플랑크톤의 현존량이  $10,000 \text{ cells mL}^{-1}$  이상으로 남조류에 의한 수화현상이 발생하였다. 특히 8월에는 식물플랑크톤 현존량이  $159,283 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 최저 현존량을 나타낸 5월의  $743$

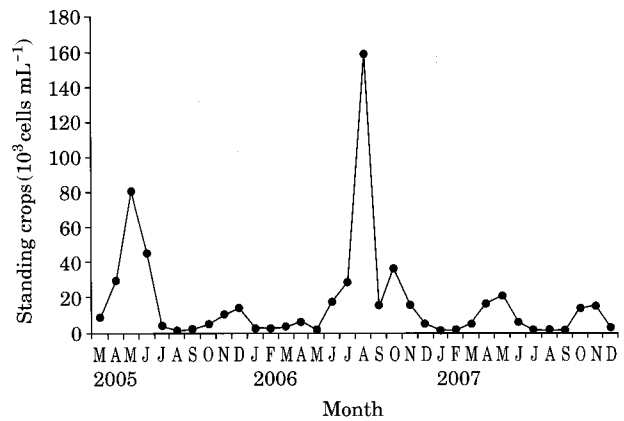


Fig. 3. Seasonal changes of phytoplankton standing crops in Upo wetland.

$\text{cells mL}^{-1}$ 에 비해 무려 214배나 높았다. 장기간 발생한 남조류 수화에 의해 2006년 우포늪의 식물플랑크톤 평균 현존량은  $23,954 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 매우 높게 조사되었다 (Fig. 3).

2007년에는 1월부터 5월까지 식물플랑크톤 현존량이 급속히 증가하는 것으로 나타났으나, 하계인 7월부터 9월까지는  $1,000 \text{ cells mL}^{-1}$  이하로 매우 낮게 나타났다. 식물플랑크톤 현존량은  $20,817 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 5월에 최대였으며, 7월에  $594 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 최저였다. 남조류 수화가 발생하였던 2006년 8월과 남조류 수화가 발생하지 않은 2007년 8월의 식물플랑크톤 현존량 차이는 무려  $158,428 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 나타났다. 2007년의 평균 식물플랑크톤 현존량은  $6,665 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 2005년과 2006년의 평균 현존량과 비교하여 상당히 낮게 조사되었다 (Fig. 3).

우포의 전 조사 기간 평균 식물플랑크톤 현존량은  $16,821 \pm 29,638 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 나타났다. 그러나 2006년을 제외한 2005년과 2007년을 통합한 결과는  $12,745 \pm 18,398 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 전 조사 기간 평균 현존량에 비해 다소 낮게 나타났다. 따라서 본 조사 기간 동안 나타난 식물플랑크톤의 평균 현존량은 2006년 발생한 남조류 수화에 의해 증가된 것으로 확인되었다. 2005년부터 2007년의 6월부터 9월까지 총 12회 조사 평균 식물플랑크톤 현존량은  $22,972 \pm 43,200 \text{ cells mL}^{-1}$ , 10월부터 5월까지의 총 22회 조사의 평균 현존량은  $13,307 \pm 17,455 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 하계에 현존량이 상당히 높은 것으로 조사되었다. 그러나 2006년을 제외한 결과를 살펴보면 하계 동안 평균 현존량은  $7,060 \pm 14,381 \text{ cells mL}^{-1}$ , 비하계 기간에는  $16,245 \pm 19,680 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 오히려 비하계 기간 동안의 식물플랑크톤 현존량이 2배 이상 높게 나타났다. 우

**Table 2.** Dominant species in Upo wetland.

Year	Month	Dominant species
2005	Mar.	<i>Rhodomonas</i> sp.
	Apr.	<i>Actinastrum fluviatile</i>
	May	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
	Jun.	<i>Merismopedia tenuissima</i>
	Jul.	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	Aug.	<i>Fragilaria construens</i>
	Sep.	<i>Fragilaria construens</i>
	Oct.	<i>Cryptomonas ovata</i>
	Nov.	<i>Cyclotella</i> sp.
	Dec.	<i>Cyclotella</i> sp.
2006	Jan.	<i>Rhodomonas</i> sp.
	Feb.	<i>Rhodomonas</i> sp.
	Mar.	<i>Actinastrum fluviatile</i>
	Apr.	<i>Rhodomonas</i> sp.
	May	<i>Rhodomonas</i> sp.
	Jun.	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
	Jul.	<i>Merismopedia tenuissima</i>
	Aug.	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
	Sep.	<i>Aulacoseira granulata</i>
	Oct.	<i>Microcystis wesenbergii</i>
	Nov.	<i>Cyclotella</i> sp.
	Dec.	<i>Rhodomonas</i> sp.
2007	Jan.	<i>Rhodomonas</i> sp.
	Feb.	<i>Rhodomonas</i> sp.
	Mar.	<i>Cryptomonas ovata</i>
	Apr.	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
	May	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
	Jun.	<i>Crucigeniella crucifera</i>
	Jul.	<i>Rhodomonas</i> sp.
	Aug.	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	Sep.	<i>Cryptomonas ovata</i>
	Oct.	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	Nov.	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	Dec.	<i>Pseudanabaena limnetica</i>

포늘에서 하계에 남조류 수화와 같은 극단적인 자연 현상이 발생하지 않는다면, 식물플랑크톤의 현존량은 하계에 상당히 낮게 나타나는 것으로 확인되었다.

#### 4. 식물플랑크톤 우점종 현황

2005년 식물플랑크톤 우점종은 4월과 10월에 각각 은편모조강인 *Rhodomonas* sp.와 *Cryptomonas ovata* Ehrenberg였으며, 5월과 6월에는 각각 녹조강 *Actinastrum fluviatile* (Schröd) Fott와 *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb.였다. 하계인 6월과 7월에는 각각 남조강인 *Merismopedia tenuissima* Lemmermann와 *Pseudanabaena limnetica* Komárek가 우점종으로 출현하였으며, 규조강인 *Fragilaria construens* (Ehr.) Grun.는 8월과 9

월에, *Cyclotella* sp.는 11월과 12월에 각각 우점종으로 나타났다. 2005년의 총 10회 조사 동안 규조강이 4회로 가장 많이 우점하였으며, 녹조강과 남조강, 은편모조강은 각각 2회씩 우점한 것으로 나타났다(Table 2).

2006년 식물플랑크톤의 우점 횟수는 은편모조강이 5회, 남조강이 4회, 규조강이 2회, 녹조강이 1회로 조사되었다. 우점종으로 가장 많이 출현한 은편모조강은 *Rhodomonas* sp.였으며, 남조강은 *Merismopedia tenuissima*와 *Microcystis ichthyoblabe* Kütz., *M. wesenbergii* (Komárek) Komárek로 조사되었다. 은편모조강은 1월과 2월, 4월, 5월, 12월에 우점하였으며, 녹조강은 6월과 7월, 8월, 10월에 우점종으로 나타났다. 규조강인 *Aulacoseira granulata* (Ehrenb.) Simonsen와 *Cyclotella* sp.는 각각 9월과 11월에 우점종으로 조사되었다. 녹조강인 *Actinastrum fluviatile*는 3월에 우점종으로 나타났다(Table 2).

2007년 식물플랑크톤 우점종은 남조강과 은편모조강의 식물플랑크톤이 각 5회씩으로 나타났으며, 녹조강이 2회 우점종으로 조사되었다. 1월부터 3월까지의 은편모조강인 *Cryptomonas ovata*와 *Rhodomonas* sp.가 우점하였으며, 4월에는 남조류 *Microcystis ichthyoblabe*, 5월과 6월에는 녹조류 *Dictyosphaerium pulchellum* Wood과 *Crucigeniella crucifera* (Wolle) Komárek가 우점종으로 조사되었다. 7월과 9월에는 은편모조강이 우점하였고, 8월과 10월, 11월, 12월에는 남조강인 *Pseudanabaena limnetica*가 우점종으로 조사되었다(Table 2).

우포에서 총 34회의 조사 기간 동안 은편모조강의 식물플랑크톤이 12회 우점종으로 가장 많이 출현하였다. 그리고 남조강이 11회, 규조강이 6회, 녹조강이 5회 우점종으로 출현함에 따라 주요 식물플랑크톤 우점종은 은편모조강과 남조강의 종들로 확인되었다.

#### 5. 식물플랑크톤 군집 동태

2005년 우포의 식물플랑크톤 군집 구성비는 3월에 규조강이 48.3%로 군집 구성비가 가장 높았으며, 4월부터 6월까지의 녹조강의 구성비가 가장 높은 것으로 조사되었다. 특히 5월에는 녹조강의 군집 구성비가 81.4%로 매우 높았다. 7월부터 9월, 11월과 12월의 5회 조사 동안 규조강의 구성비가 가장 높았다. 10월에는 기타 조류의 구성비가 43.9%로 가장 높았으나, 규조강도 30.9%의 구성비를 나타내었다. 2005년 강별 평균 군집 구성비는 녹조강이 53.4%로 가장 높았으며, 규조강이 22.9%, 남조강이 15.3%, 기타 조류가 8.3%로 나타났다(Fig. 4).

2006년 식물플랑크톤 군집 구성비는 규조강이 5월과

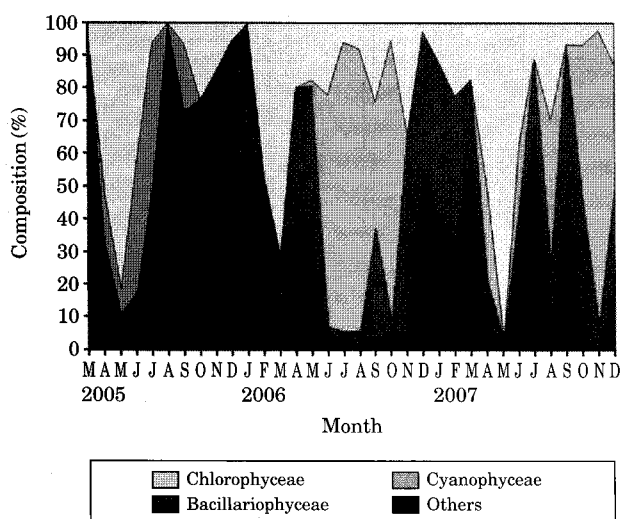


Fig. 4. Seasonal change of phytoplankton community in Upo wetland.

11월에 각각 48.3%와 60.1%로 가장 높았으며, 녹조강은 2월과 3월에 각각 46.6%와 71.0%의 구성비를 나타내었다. 기타 조류는 1월과 4월, 12월에 가장 높은 구성비를 나타내었다. 남조강은 6월부터 10월까지 총 5개월에 걸쳐 가장 높은 군집 구성비를 나타내었다. 특히 7월과 8월, 10월에는 85.0%를 상회하는 절대적인 구성비를 나타내는 것으로 조사되었다. 남조강의 최대 군집 구성비는 7월의 88.7%로 나타났다. 2006년 강별 평균 군집 구성비는 남조강이 73.7%로 절대적으로 높게 나타났으며, 녹조강이 11.1%, 규조강이 10.4%, 기타 조류가 4.8%로 나타났다(Fig. 4). 2005년 조사와 비교하여 남조류 수화 발생으로 인해 남조강의 군집 구성비가 상당히 증가한 것을 확인할 수 있었다.

2007년 남조강의 *Pseudanabaena limnetica*가 겨울철에도 우점하였다. 식물플랑크톤 군집 구성비 또한 남조강의 경우 8월과 10월, 11월, 12월에 가장 높았다. 특히 11월에는 남조강의 구성비가 90.4%로 상당히 높게 조사되었다. 규조강은 1월과 2월에 각각 47.0%와 44.4%로 높은 구성비를 나타내었으며, 기타 조류는 3월과 7월, 9월에 높은 구성비를 나타내었다. 녹조강은 4월부터 6월까지 3회에 걸쳐 매우 높은 군집 구성비를 나타내었으며, 특히 5월에는 96.4%의 가장 높은 구성비를 나타내었다. 2007년 강별 평균 군집 구성비는 녹조강이 40.8%로 가장 높게 나타났으며, 남조강이 33.0%, 규조강이 16.3%, 기타 조류가 9.9%로 조사되었다(Fig. 4).

전 조사 기간 동안 식물플랑크톤 강별 구성비는 남조강이 47.7%로 가장 높게 나타났고, 녹조강이 30.0%, 규

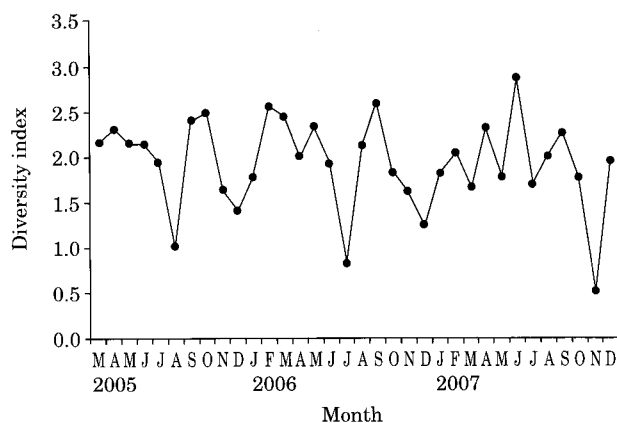


Fig. 5. Seasonal change of diversity index in Upo wetland.

조강이 15.6%, 기타 조류가 6.7%로 확인되었다.

### 6. 종다양도지수 변화

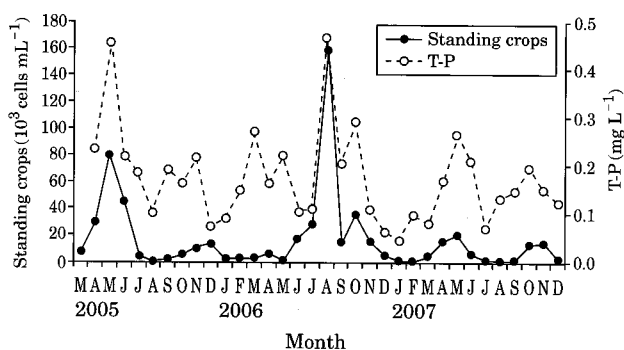
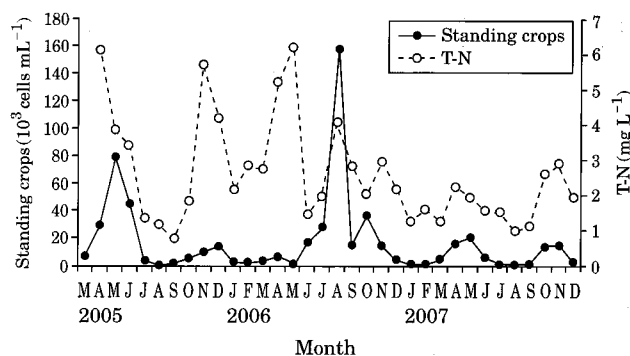
연도별 평균 종다양도지수는 2005년 2.14, 2006년 1.86 그리고 2007년 1.73으로 매년 감소하는 것으로 조사되었다. 전 조사 기간 동안 종다양도지수는 0.50~2.86의 범위였다. 전 조사 기간 평균 종다양도지수는  $1.91 \pm 0.51$ 로 조사되었다(Fig. 5). 2005년부터 2007년의 6월부터 9월까지 총 12회 조사 평균 종다양도지수는  $1.98 \pm 0.57$ 로 나타났으며, 10월부터 5월까지의 총 22회 조사의 평균 종다양도지수는  $1.88 \pm 0.46$ 으로 조사되어 하계에 종다양도지수가 다소 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

## 고 찰

조사 기간 동안 우포늪에서 총 213종의 식물플랑크톤이 출현한 것으로 조사되었다. 국내 자연 습지에서 보고된 식물플랑크톤의 출현종은 한라산 백록담에서 34종, 화왕산의 고층습원에서 99종의 출현이 보고되었다(이, 1987; 김, 1993). 따라서 우포늪에서 국내의 다른 습지와 비교하여 상대적으로 많은 식물플랑크톤이 출현한 것으로 확인되었다. 그러나 동일 지점에 대해서는 1998년의 328종에 비해 식물플랑크톤의 출현종이 상당히 감소한 것으로 조사되었다(김, 2001). 강별 출현종 비율을 조사한 결과 녹조강의 구성비가 43.2%로 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 동일 지점에 대한 김(2001)의 연구 결과인 36.6%에 비해 높은 것으로 확인되었다. Welch(1952)는 Michigan 습지를 비롯한 미국과 유럽의 여러 습지에서 녹조강의 종들이 주요 식물플랑크톤 군집을 구성한

**Table 3.** Species composition of the phytoplankton in Upo wetland.

Preceding research	Class				
	Chlorophyceae	Bacillariophyceae	Cyanophyceae	Euglenophyceae	Others
Baekrokdam Crater (Lee, 1987)	32.4%	32.4%	29.4%	2.9%	2.9%
Hwawang mountain high moor (Kim, 1993)	64.6%	6.1%	8.1%	12.1%	9.1%
Parak wetland (Kim, 1993)	62.3%	1.5%	8.6%	24.6%	3.0%
Jjokjibeol (Kim, 1993)	63.0%	1.9%	4.2%	27.0%	3.9%
Mokpo (Kim, 2001)	35.9%	41.3%	2.5%	16.0%	4.3%
Sajipo (Kim, 1993)	59.1%	0.9%	8.8%	29.1%	2.1%
Upo (Kim, 2001)	36.6%	38.1%	2.7%	18.6%	4.0%
<b>Upo (This study)</b>	<b>43.2%</b>	<b>32.4%</b>	<b>10.3%</b>	<b>8.0%</b>	<b>6.1%</b>

**Fig. 6.** Changes of phytoplankton standing crops and T-P concentration in Upo wetland.**Fig. 7.** Changes of phytoplankton standing crops and T-N concentration in Upo wetland.

것으로 보고함에 따라 본 조사 결과와 동일하였으며, 김 (2001)의 연구 결과 또한 동일한 것으로 확인되었다. 규조강은 본 조사에서 32.4%의 구성비를 나타내었으나, 김 (2001)의 38.1%에 비해 다소 감소한 것으로 나타났다 (Table 3).

식물플랑크톤의 출현종수는 2005년 조사에서 하계에 감소하는 경향을 나타내었으나, 전 조사 기간 동안에는 하계에 증가하는 것으로 나타났다. 특히 2006년에는 남조류 수화가 발생하여, 출현종수의 감소가 예상되었으나 오히려 증가한 것으로 조사되었다. 이는 온대지역의 담수 생태계에서 하계에 식물플랑크톤의 출현종수가 증가한다는 선행 연구 결과와 동일한 것이다 (Hutchinson, 1967; Fogg and Take, 1987).

식물플랑크톤의 현존량은 2005년과 2007년에 동계와 하계에 식물플랑크톤의 현존량이 낮고, 춘계와 추계에 다소 증가하는 계절적 변동 양상을 나타내었으나, 2006년에는 하계에 남조류 수화가 발생하여 하계에 식물플랑크톤 현존량이 급증하는 것으로 조사되었다. 우포늪에서는 1998년에도 하계에 남조류 수화가 보고되었다. 그러나

2006년에 발생한 남조류 수화의 원인종은 *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz.와 *M. ichthyoblabe*였으며, 최고 현존량은  $159,283 \text{ cells mL}^{-1}$ 였으나, 1998년에 발생한 남조류 수화의 원인종은 *Oscillatoria* sp.였으며, 최고 현존량 역시  $38,393 \text{ cells mL}^{-1}$ 에 지나지 않았다 (김, 2001). 전 조사 기간 동안 평균 식물플랑크톤 현존량은  $16,534 \text{ cells mL}^{-1}$ 로서, 2006년을 제외한 평균 현존량은  $12,487 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 전 조사 기간 평균에 비해 다소 낮게 나타났다. 따라서 2006년의 남조류 수화와 같은 극단적인 현상이 발생하지 않는다면, 연중 안정된 식물플랑크톤 현존량을 나타낼 것으로 조사되었다. 식물플랑크톤 현존량의 계절적 변화는 총인 농도와 매우 유사한 것으로 확인되었다 (Fig. 6). 조사 기간 동안 식물플랑크톤 현존량과 총인 농도와의 상관관계수( $r$ )는  $0.767$  ( $p < 0.001$ )로 매우 높은 유의성을 나타내었다. 수계 내에서 인이 식물플랑크톤의 성장에 제한 요인으로 작용한다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다 (Horne and Goldman, 1994). 본 조사 기간 동안 우포늪에서 총인 농도는 부영양 기준인  $0.15 \text{ mg L}^{-1}$ 를 초과하여 나타났다 (이, 2008). 인과 함께 식물플랑크톤

군집 변화에 크게 영향을 받으며, 중요한 제한 인자로 알려져 있는 질소는 본 조사와 동일한 기간 동안 식물플랑크톤 현존량 변화와 연도별로 차이를 나타내며 변화하는 것으로 확인되었다(이, 2002; 이, 2008). 2005년과 2006년의 경우, 총질소 농도는 식물플랑크톤 현존량 변화와 다소 차이가 나는 변동 양상을 나타내었다(Fig. 7). 그러나 2007년에는 식물플랑크톤 현존량과 매우 유사하게 변화하였으며, 이때 상관계수( $r$ )는 0.749( $p=0.005$ )로 상호간에 밀접한 관련성이 있는 것으로 확인되었다. 총인 농도가 전 조사 기간 동안 식물플랑크톤 현존량과 지속적인 유의성을 나타낸 것에 비해 총질소 농도가 2007년에만 유의성을 나타낸 것은 TN/TP ratio가 2007년에 가장 낮게 나타났기 때문으로 보여진다. 동일 지점에 대한 연도별 평균 TN/TP ratio는 2005년에 19, 2006년에 20, 2007년에 14로 2007년에 가장 낮았다(이, 2008).

본 조사 기간 동안 우점종으로 출현한 식물플랑크톤은 총 13종이었다. 녹조강과 남조강의 종이 각각 4종으로 가장 많았으며, 규조강이 3종, 은편모조강이 2종으로 조사되었다. 계절별 우점종 변동은 1998년의 연구 결과와 다소 다르게 나타나 지난 10여 년 동안 우포늪에서 식물플랑크톤의 군집 변화가 다소 진행되었음이 확인되었다(김, 2001). 우점종의 출현 횟수를 살펴보면, *Rhodomonas* sp.가 9회, *Pseudanabana limnetica*가 5회 우점종으로 조사되어 본 2종이 우포의 주요 식물플랑크톤으로 확인되었다.

우포늪의 식물플랑크톤 군집 구성을 조사한 결과, 연도별 식물플랑크톤 구성비의 차이가 확인되었다. 2005년의 경우 봄철에는 녹조강이 나머지 기간 동안에는 규조강과, 은편모조강, 남조강이 혼재하여 분포하는 것으로 나타났다. 2006년에는 비하계 기간 동안 규조강과 녹조강, 은편모조강이 혼재하는 것으로 조사되었다. 특히 2006년 하계에는 남조강의 *Microcystis aeruginosa*와 *M. ichthyoblabe*에 의한 수화 발생으로 남조강의 구성비가 매우 높게 조사되었다. *Microcystis* 속은 대부분의 부영양 단계의 호소에서 여름철 고수온기에 수화를 유발하는 종으로 널리 알려져 있다(김 등, 1995). 2007년에는 하계에는 녹조강, 동계에는 규조강이 주요 식물플랑크톤 군집으로 확인되었다.

우포늪의 종다양도지수 분석 결과, 2005년부터 2007년까지 지속적으로 감소하는 것으로 조사되었다. 1998년 5월 우포 다양도지수의 최고치는 6.58로 본 조사에서 나타난 2.86에 비해 상당히 높은 것으로 나타났다. 따라서 10년 전과 비교하여 현재 우포늪의 식물플랑크톤 다양도 지수가 상당히 감소한 것을 알 수 있었다(김, 2001). 수생

태계의 1차 생산자 역할을 하는 식물플랑크톤의 다양도 지수 감소는 우포늪의 수질 오염과도 상당히 연관이 있을 것으로 보여진다(이, 2008). 따라서 향후 수질개선 등 다양한 방법을 통해 식물플랑크톤뿐만 아니라 여러 생물종에 대해 장기적으로 종다양도를 분석하고, 생물의 종다양도를 증가시키기 위한 연구들이 진행되어야 할 것으로 보여진다.

## 적 요

2005년 3월부터 2007년 12월까지 매월 우포늪의 식물플랑크톤 군집 변화에 대해 조사하였다. 조사 기간 동안 8강 35과 86속 213종의 식물플랑크톤이 출현하였다. 식물플랑크톤의 출현종수는 14~50의 범위였으며, 평균 출현종수는  $34 \pm 10$ 종으로 조사되었다. 식물플랑크톤 현존량은 2005년 8월에  $161 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 가장 낮았으며, 2006년 8월에  $159,283 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 가장 높았다. 특히 2006년 하계에는 남조류에 의한 수화 발생으로 극단적으로 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타내었다. 총 34회에 걸친 조사에서 우점종은 총 13종으로 나타났으며, 녹조류와 남조류의 종들이 각각 4회씩 우점하였다. 우포늪에서 식물플랑크톤 군집의 계절적 변동을 살펴보면, 동계에는 은편모조강과 외편모조강, 규조강의 종들이 높은 구성비를 나타내었으며, 비동계 기간에는 녹조류와 규조강의 종들이 주요 출현종으로 확인되었다. 그러나 2006년 하계에는 남조강의 종들이 높은 구성비를 나타내었다. 종다양도지수는 0.50~2.86의 범위를 나타내었으며, 매년 점차 감소하는 것으로 조사되었다.

## 사 사

본 연구는 환경부 국가장기생태연구사업의 연구비 지원과 2007학년도 대구대학교 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 본 논문 작성에 도움을 주신 대구대학교 육수학 연구실원들과 시료 분석을 도와주신 한국수자원공사 경북권 수질검사소 관계자 분들께 감사드립니다. 논문 교정에 수고를 아끼지 않으신 익명의 심사위원들께 깊은 감사를 드립니다.

## 인 용 문 헌

강병국. 2004. 우포 가는 길: 자연생태계의 보고, 그 모든 이야



- 기. 동학사.
- 강정훈, 함규황. 1997. 우포늪 일대의 조류. 한국조류학회지 4(1): 35-46.
- 강호철, 주용규. 1999. 자연습지의 구조적 특성과 갈대 (*Phragmites japonica*)의 적정생육수심. 한국정원학회지 17(4): 191-200.
- 고진석, 여운기, 이승윤, 지흥기. 2005. Mattress/Filter를 이용한 하천변습지의 수질정화. 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2005 공동 추계학술발표회 논문집.
- 곽승준, 유승동, 이충기. 2002. 조건부 가치측정법을 이용한 우포늪의 보존가치 추정. 국제경제연구 8(3): 203-225.
- 곽영주, 박상용, 강인준. 2005. 환경지리정보 기반의 환경평가 적용시 습지분포 및 규모예측. 한국지형공간정보학회 13(3): 53-57.
- 구본학, 김귀곤. 2001a. 우리나라 습지 유형별 분류특성에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 4(2): 11-25.
- 구본학, 김귀곤. 2001b. RAM (일반기능평가기법)을 이용한 내륙 습지 기능 평가. 한국환경복원녹화기술학회지 4(3): 38-48.
- 구자용, 박의준, 김영택. 2005. GIS의 공간중첩 기법을 이용한 내륙습지 경계 재설정. 국토지리학회지 39(4): 563-574.
- 구자용, 서종철. 2007. 위성영상과 지리정보를 이용한 우리나라의 산지습지 가능성 추출. 한국지형학회지 14(1): 53-65.
- 권기진, 이보아, 변재호, 남종민, 김재근. 2006. 습지식물의 적정 서식 환경: 1. 줄과 애기부들. 한국환경복원녹화기술학회지 9(1): 72-88.
- 권동희. 2006. 한국의 습지지형 연구 성과와 과제. 한국지형학회지 13(1): 25-34.
- 권영수, 이현숙, 유정철. 2004. 한강 강서습지생태공원 일대의 조류. 경희대학교 한국조류연구소 연구보고 9(1): 49-57.
- 김구연, 이찬우, 주기재. 2004. 우포늪 물억새 (*Miscanthus sacchariflorus*) 군락에서 성장초기에 잘라주기과 태워주기에 따른 성장변화. 한국육수학회지 37(2): 255-262.
- 김범철, 김은경, 표동진, 박동호, 허우명. 1995. 국내 호수에서의 남조류 독소 발생. 한국수질보전학회지 11(3): 231-237.
- 김병선, 구자용. 2005. 수치고도모형을 이용한 내륙습지 관리 권역 설정. 한국GIS학회지 13(2): 167-183.
- 김상운. 2007a. 창녕군의 자연늪 현황 및 관리방안-우포늪을 중심으로. 경남대학교 대학원.
- 김재경, 안소은. 2006. 메타분석을 활용한 편이이전 연구-하구 습지 가치평가에 대한 적용을 중심으로. 2006년 경제학공동학술대회 환경경제학회 발표논문.
- 김철수, 손성근, 이정환, 오경환. 2000. 아산호 습지에서 관속식물의 군집 구조와 생산성 및 영양염류의 흡수. 한국생태학회지 23(3): 201-209.
- 김한순. 1993. 창녕군 일대의 자연늪 및 저수지에 대한 담수조류의 분류생태학적 연구. 경북대학교 학위논문.
- 김한순. 2001. 우포늪과 목포늪의 식물플랑크톤 군집의 계절적 변동. 한국육수학회지 34(2): 90-97.
- 김한순, 정 준. 1993. 창녕군 자연늪의 담수조류상. 한국육수학회지 26(4): 305-319.
- 김형민. 2006. 우포늪 식생에 관한 생태학적 연구. 창원대학교 학위논문.
- 김홍태. 2007b. 우포늪에 서식하는 복족류의 중금속 생물축적. 서울대학교 학위논문.
- 도윤호, 장민호, 김동균, 주기재. 2007. 우포늪 범람에 의한 먼지벌레류(딱정벌레목, 딱정벌레과)의 다양성과 종조성 변화. 한국육수학회지 40(2): 346-351.
- 문현숙. 2005. 습지의 발달 환경과 특성-경기도 산지를 중심으로. 한국지형학회지 12(4): 55-67.
- 박기현. 2007. 계절변화에 따른 우포늪의 습생 · 수생관속식물 군락의 변화에 관한 생태학적 연구. 창원대학교 학위논문.
- 박미영, 임유라, 김귀곤, 주영우. 2006. 유희농경지에서 발생하는 습지의 현황 및 특성에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 9(2): 1-15.
- 박희두. 2005. 만경강과 동진강 유역의 습지 분석. 한국지형학회지 12(1): 1-12.
- 서동조. 2006. 위성영상의 규칙기반 분류기법을 적용한 우포늪 유역의 비점오염원 정보추출. 서울대학교 학위논문.
- 안소은. 2007. 우리나라 습지의 환경적 가치: 메타회귀분석. 자원 · 환경경제연구 16(1): 65-98.
- 양홍모. 2002. 하천수정화 연못-습지 시스템의 갈대 습지셀 초기 질산성질소 제거. 한국환경농학회지 21(4): 274-278.
- 양홍모. 2005. 하천수를 정화하는 갈대습지의 개수부에 의한 질소제거 비교. 한국환경복원녹화기술학회지 8(1): 37-44.
- 양홍모. 2006. 하천수정화 여과습지에서 성장하는 갈대의 영양염류 흡수량. 한국환경복원녹화기술학회지 9(1): 89-99.
- 양홍준, 금지돈, 이용호. 2001. 원동습지의 어류상과 군집구조. 한국어류학회지 13(4): 261-266.
- 오홍식, 임인추, 김병수, 김완병, 박행신. 2002. 제주도의 주요 습지에 도래하는 도요 · 물떼새류의 현황. 경희대학교 한국조류연구소 연구보고 8(1): 9-25.
- 윤광성. 2007. 목는 습지의 토양 및 식생 특성. 한국지역지리학회지 13(2): 129-142.
- 윤춘경, 장재호, 정광욱, 함종화. 2004. 습지-연못 연계시스템에 의한 수질개선과 농업적 재이용 타당성 분석. 한국육수학회지 37(3): 344-354.
- 이갑숙, 박세나. 1998. 창녕군 우포늪의 식물플랑크톤 군집 구조. 대구대학교 기초과학연구소 연구논문집 15: 393-408.
- 이동준. 2007. 우포늪 저서성 대형무척추동물 군집의 장기생태 모니터링을 위한 기반조사. 창원대학교 학위논문.
- 이석원, 유정철. 2007. 한강 강서습지생태공원 일원에 도래하는 월동 수금류의 개체수 변동 및 분포현황에 관한 연구. 경희대학교 한국조류연구소 연구보고 10(1): 1-9.
- 이정준. 2008. 우포늪에서 수환경요인과 식물플랑크톤 군집의 동태 및 예측. 대구대학교 학위논문.
- 이정호. 2002. 대청호 남조류 수화 발달의 생태기작 연구(2차년도). 한국수자원공사 보고서 (WRII-WR-02-07).

- 이진환. 1986. 한라산 백록담의 식물플랑크톤 연구. 제주도연구 3: 327-331.
- 이진환. 1987. 한라산 백록담의 식물플랑크톤 분류에 관한 연구. 한국육수학회지 20(2): 101-112.
- 이찬원, 권영택. 2000. 습지 퇴적물의 생태 환경독성도 평가. 한국습지학회지 2: 69-85.
- 이춘석, 류남형. 2003. 습지 수제부에서 삼목방법에 따른 갯버들 생장을 및 토양 유실 억제 효과. 한국환경복원녹화기술학회지 6(3): 56-68.
- 장병오, 신성욱, 최기룡. 2006. 지리산 왕등재늪의 식생 변천사 연구. 한국생태학회지 29(3): 287-293.
- 장용구, 김상석. 2006. E-GIS 기반의 습지분포 및 규모예측. 대한토목학회 논문집.
- 정연숙, 오현경, 노찬호, 황길순. 1999. 습지식물의 지상부 제거가 생산력에 영양염류 제거량에 미치는 효과. 환경생물 17(4): 459-165.
- 정영호. 1974. 한강의 Microflora에 관한 연구(제8보). 한국식물학회지 17(2): 63-68.
- 정영호, 노경희. 1987. 함안 자연늪산 규조류의 분류. Proc. Coll. Natur., Sci. SNU 12: 75-100.
- 정영호, 이욱민. 1986. 함안 자연늪산 물면지류의 분류학적 연구. Proc. Coll. Natur., Sci. SNU 11: 51-98.
- 정영호, 최홍근. 1987. 함안소재 자연늪의 수생관속식물상. 환경생물 5(1): 17-28.
- 정현기. 2008. 우포습지내 환경학적 변이와 동물플랑크톤 군집의 역동성과 연안지역으로 이동하는 지각류의 야외 관찰: *Moina macrocopa*의 무리형성. 부산대학교 학위논문.
- 조경학. 1992. 우포자연습원 환경 설계. 서울대학교 환경대학원 학위논문.
- 주영욱. 2004. 창녕 우포늪의 보전 방안. 경북대학교 학위논문.
- 주위홍, 구본학. 2006. 습지 유형 분류 체계별 습지 분류 특성. 한국환경복원녹화기술학회지 9(6): 153-161.
- 최상호. 2000. Limnological characteristics and impacts of floating aquatic plants on the Woopo wetland. 부산대학교 학위논문.
- 최철만, 정은주, 이인섭. 2003. 부산 일광산 습지의 식물상. 한국환경과학회지 12(12): 1227-1233.
- 한윤호, 김동엽, 안원용. 2002. 일월저수지의 습지 환경과 식생 발달. 한국환경복원녹화기술학회지 5(2): 9-16.
- 한현아. 2000. 자연습지 우포 퇴적물에 함유된 인의 존재형태별 분포에 관한 연구. 경남대학교 학위논문.
- 황길순, 김범철, 김호섭, 전만식. 2000. 습지에 의한 수질개선 효과. 한국육수학회지 33(3): 295-303.
- Chen, W., S.W. Ann, W. Shi and Q. Mi. 2003. Distribution characteristic and assessment of soil organic matter, nitrogen and phosphorus in soil of new born river mouth wetlands. *J. Environ. Sci.* 12(2): 111-117.
- Choi, J.H. and S.S. Park. 2004. Role of wetland plants as oxygen and water pump into benthic sediments. *Korean Journal of Limnology* 37(4): 436-447.
- Choi, S.H., H. Ha, Y.H. Ju, H.W. Kim and G.J. Joo. 1998. Physico-chemical characteristics of the Woopo wetland, S. Korea. *Korean Journal of Limnology* 31(4): 273-281.
- Fogg, G.E. and B. Thake. 1987. Algae culture and phytoplankton ecology. 3rd ed. Univ. of Wisconsin Press, Wisconsin.
- Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. Limnology. McGraw-Hill Inc., New York.
- Hutchinson, G.E. 1967. A Treatise on Limnology. Vol. 2. John Wiley & Sons. Inc., New York.
- Lee, H.J., J.S. Cha and H.C. Park. 2006. Nest distribution of the Eurasian Coot (*Fulica atra*) at Upo Wetland, Ramsar site, Korea. *Kor. J. Ornithol.* 13(2): 31-37.
- Schoen, S. 1988. Cell counting. In: Experimental Phycology A Laboratory Manual (Christopher, S.L., J.C. David and P.K. Bruno, eds.). Cambridge University Press, London.
- Shannon, E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press, Urbana.
- Shin, W.S. and J.C. Park. 2003. Sorption kinetics of hydrophobic organic compounds in wetland soils. *Korean Journal of Limnology* 36(3): 295-303.
- Verhoeven, J.T.A., B. Arheimer, C. Yin and M.M. Herfting. 2006. Regional and global concerns over wetlands and water quality. *TREND in Ecol. Evol.* 21(2): 96-103.
- Welch, P.S. 1952. Limnology. 2nd. McGraw-Hill Inc., New York.
- Woo, Y.K., E.J. Park, K.S. Lee and D.W. Lee. 1996. Effects of *Persicaria thunbergii* on nitrogen retention and loss in wetland microcosms. *Korean J. Ecol.* 19(2): 179-189.
- Yang, W.J. and N. Moores. 1998. Woopo Wetland: A preliminary investigation with relevance to existing and future development proposals. *Environ. Res. Inst., Kyungnam Univ.* 21: 57-72.

(Manuscript received 28 May 2009,  
Revision accepted 12 June 2009)