

탁수가 임하호 식물플랑크톤에 미치는 영향

박정원 · 유삼환¹ · 김순영¹ · 이종은¹ · 서울원^{1*}

국립공원연구원, ¹안동대학교 자연과학대학 생명과학과

Received June 18, 2008 / Accepted December 8, 2008

Effect of Turbid Water on the Phytoplankton Community in Imha Reservoir. Jung Won Park, Sam Hwan Yu¹, Soon Young Kim¹, Jong Eun Lee¹ and Eul Won Seo^{1*}. *National Park Research Institute, Namwon-si 590-811, Korea, ¹Department of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea* - We investigated the effect of the turbid water on the phytoplankton community in the 4 sites of Imha reservoir. The turbidity of water was proportional to the concentrations of SiO₂-Si. Therefore, as the turbidity of water grow, the concentration of SiO₂-Si increased. And the both the turbidity of water and the concentrations of SiO₂-Si were increased as the water run deep. The concentration of chlorophyll-a decreased as the depth of water increased. Seventy phytoplankton taxa were identified and the most abundant group was Chlorophyceae consisting of 32 taxa (46%), and Cyanophyceae and Bacillariophyceae consisted of 12 taxa (17%). And Euglenophyceae, Synulophyceae, Cryptophyceae and Dinophyceae consisted of 6 taxa (9%), 4 taxa (6%), 3 taxa (4%) and 1 taxon (1%), respectively in Imha reservoir. The concentrations of phytoplankton were increased according to the turbidity of water because of the high amount of organic nutrition which is presented with turbid water. And especially, the concentrations of nitrogen increased easily because of the weak binding to the soil particle. In conclusion, total nitrogen and SiO₂-Si flowed into the Imha reservoir with soil particle, and these inorganic nutritions affect the growth of algae.

Key words : Imha reservoir, phytoplankton, turbid water, water quality

서 론

탁수는 하천이나 호수 등에서 일상적으로 발생하는 자연적인 현상이다. 우리나라의 경우 하계의 강우 강도가 집중되는 기후 조건에서 발생하는 탁수는 집중 강우에서 발생하는 일시적인 현상이며, 탁수가 발생하더라도 곧 바로 물이 맑아졌다. 발생한 탁수는 곧 하천의 하류로 내려가면서 침전되어 하천은 다시 원상태를 회복하여 수중의 생물은 탁수의 피해를 거의 받지 않았다[10]. 그러나 2000년대부터 발생하는 탁수는 발생량이 증가하여 대표적인 수질오염 현상으로 대두되기 시작하였다[10,25]. 탁수의 농도는 점차 높아지고, 탁수 발생 기간도 길어져 탁수에 의한 피해가 심각한 사회문제로 이어졌다. 장기간 고농도의 탁수는 하천과 호수의 수질악화, 생태계 파괴, 상수도의 정수처리 비용증가, 자연경관 훼손, 그리고 어족자원의 감소 등을 초래하여 댐 관리에 매우 심각한 문제를 야기하고 있다[9,21,24]. 탁수 발생의 주요 원인은 대부분 강우에 의한 상류 하천 유역에서 토양의 침식과 비점오염원의 유입, 유역의 토지개발, 고랭지 채소밭 조성으로 인한 토양노출과 같은 인위적인 개발활동 등이 포함된다[3].

1992년에 완공된 임하댐은 2001년 이전까지 발생한 탁수 발생 일수는 1~3개월 이내였으나, 2002와 2003년에 발생한

탁수발생기간은 10개월 이상 지속되었고, 탁도도 1,221 NTU 까지 나타났으며, 특히 2003년에 발생한 탁수는 315일간 지속되었다[25]. 임하댐의 탁수 유발 물질은 크기가 0.1~10 μm 정도의 콜로이드성 미세입자로 활성도가 작아 다른 입자들과 결합력이 약해 잘 침강하지 않는 특징을 가지고 있어, 취수장에서 정수처리를 어렵게 하여 임하댐 하류에 위치한 취수장을 탁수 발생이 적은 안동댐으로 이전을 추진하고 있다[11]. 그리고 장기간 발생한 탁수는 댐 내의 미관을 해치고, 하류 하천의 수중생태계의 건강성 유지를 어렵게 하고, 어류의 성장에 악영향을 미친다[22].

그러므로 고농도의 탁수 발생은 호수 내 수계생물의 종조성이나 군집구조에 미치는 영향에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 댐 내로 유입되는 탁수는 다량의 영양염류와 유기물질을 함유하고 있고, 투명도의 저하, 용존산소의 감소, 정수장의 여과장애 등을 유발하는 것으로 알려져 있으나, 탁수 발생이 수계생태계의 기초생산자인 식물플랑크톤의 군집구조에 미치는 영향에 대한 연구는 미진하다. 따라서 본 연구는 임하댐에서 발생한 탁수가 식물플랑크톤 군집구조에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

조사 방법

임하호에서 탁수에 의한 식물플랑크톤 군집의 변화를 파악

*Corresponding author

Tel : +82-54-820-5462, Fax : +82-54-823-1627

E-mail : ewseo@anodng.ac.kr

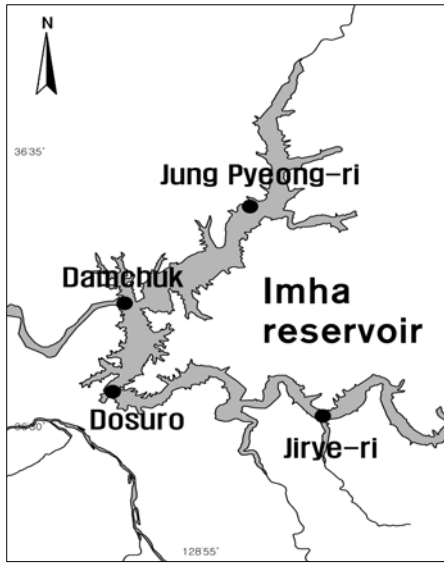


Fig. 1. Map showing survey sites in Imha reservoir.

하기 위하여 중평리, 댐축, 도수로, 지레리 등 네 지점을 선택하였다. 식물플랑크톤과 수질 조사는 임하호 네 지점에서, 수심 1 m, 수심 4 m, 수심 7 m에서 각각 채수한 후, 분석하였으며, 2006년 8월에서 10월까지 매 2주에 걸쳐 9회 조사를 실시하였다(Fig. 1).

수질 분석

시료는 각 지점별로 1~4 l 평균 채수병을 이용하여 시료를 채수하였으며, 채수 시 채수기는 PVC Van Dorn을 이용하여 각 정점의 수심 1 m, 수심 4 m, 수심 7 m의 시료를 각각 채수하였다. 채수된 시료는 조사 목적에 따라 펌프를 이용하여 필터(GF/C Ø47 mm Circles)에 통과시켜 여과하였으며, 각 지점에서 채수 후 분석까지의 운반과 저장은 아이스박스과 차량용 냉장고를 이용하여 저온상태를 유지하였다. 수질 조사항목 중 pH, 수온, 용존산소(Dissolved oxygen, DO), 탁도 분석은 현장에서 다항목 측정기(YSI 6600, YSI)를 이용하여 측정하였고, SiO₂-Si (이산화규소)는 유도결합 플라즈마 질량분석기(Elan DRC-e, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. Chlorophyll-a (Chl-a)는 시료를 GF/C로 여과한 후 아세톤으로 24시간 추출하여 spectrophotometer (Agilent 8453, Agilent)로 분석하였으며, Total Nitrogen (TN)과 Total Phosphorus (TP)는 고압증기 멸균기로 12°C에서 30분간 가열하여 냉각 한 후 TN은 자외선 흡광광도법, TP는 아스코르빈산환원법으로 각각 분석하였다.

식물플랑크톤 분석

식물플랑크톤의 수심별(수심 1 m, 수심 4 m, 수심 7 m) 정량채집은 Van Dorn sampler를 이용하였고, 채집한 시료는 현장에서 Lugol 용액으로 고정하였으며, 정성채집은 플랑크

톤 넷(Rhigosha N_{xxx}25)을 이용하였다. 출현 종은 광학현미경(Labophot, Nikon)을 이용하여 동정·분류하였다. 현존량은 정량 채집한 시료를 3일간 방치한 후, 상등액을 사이펀으로 제거하여 50 ml로 농축하여 농축된시료 1 ml를 Sedgwick-Rafter chamber에 끌고루 분산시켜 100 칸을 계수하여 산출하였다. 출현 종의 동정 및 분류는 녹조류 중 녹색소구목은 Komarek과 Fott [15], 남조류는 Komarek과 Anagnostidis [16], 그 외 분류군은 Hirose 등[8]을 참고하였다. 또한 규조류의 동정은 시료를 Permanganate method [7]에 따라 세정하고 Pleurax로 봉입하여 영구 표본을 제작한 후 실시하였다. 출현 종의 동정은 Krammer와 Lange-Bertalot [17,18]를 주로 이용하였고, 분류 체계는 Simonsen [23] 체계에 따라 분류하였다. 규조류의 현존량 산출은 먼저 Sedgwick-Rafter chamber에서 현존량을 계수하고, 이어 동정된 분류군의 상대빈도를 구하여 산출된 현존량에 역산하여 각 종류마다 현존량을 나타냈다.

결과 및 고찰

임하호의 수질 분석

본 조사는 탁수가 호소내 식물플랑크톤에 미치는 영향을 조사하는 것의 일환으로 임하호 4개 지점(중평리, 댐축, 도수로, 지레리)을 선점하여 9회(탁수포함)에 걸쳐 호소내 수질측정 항목 중 수온, pH, TN, TP 및 탁도, SiO₂-Si 및 Chl-a 등을 측정·분석하여, 탁수 발생이 식물플랑크톤 군집에 미치는 영향에 대해 판단하기 위해 기본적인 수질 상태를 분석하였다(Table 1; Figs. 2, 3, 4). 수온은 중평리와 지레리에서 수심 1 m에서 32.2°C로 가장 높았고, pH는 전 조사 지점이 표층에서 높았다. 탁도는 8월 16일에 가장 높았고, 9월 6일 이후부터는 표층과 수심간에 차이가 거의 없었다(Fig. 2). SiO₂-Si은 네 지역 모두 수심 1 m, 수심 4 m, 수심 7 m의 양은 다르지만 비슷한 변화를 나타내고 있다. SiO₂-Si는 8월 26일에 최대치를 보였고, 이후부터 감소하였다. 도수로는 특이하게 수심 7 m에서 9월 6일에 최대값을 나타냈고, 그 원인은 정확하게 알 수 없다(Fig. 3). Chl-a의 경우, 모두 일정한 범위 내에서 유지되고 있으나, 수심이 깊을수록 그 수치가 낮아지고 있다(Fig. 4). 총 질소는 중평리의 수심 7 m에서 8월 26일에 36.8 mg/l로 가장 높았으며, 총인은 댐축의 수심 1 m에서 9월 6일에 0.046 mg/l로 가장 높았다.

임하호의 네 지점(중평리, 댐축, 도수로, 지레리)의 수질상태를 항목별로 조사한 결과 수심에 따라 변화가 나타나고 있다. 탁도와 SiO₂-Si의 농도의 관계에서 탁도가 최대값을 나타낸 일주일 후에 SiO₂-Si의 농도가 최대값이었고, 두 요인은 수심이 깊어질수록 농도가 증가하였다. Chl-a는 수심이 깊어질수록 농도가 낮아지고 있어 수심에 따라 수질의 상태가 변하는 것으로 조사되었다.

Table 1. Environmental factors in Imha reservoir from Aug. to Oct. 2006

| Site | Depth (m) | Factors | | | | |
|---------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| | | W.T. (°C) | pH | TN (mg/l) | TP (mg/l) | |
| Jungpyeong-ri | 1 | Max. | 32.2 | 9.77 | 14.5 | 0.021 |
| | | Min. | 19.8 | 6.69 | 1.56 | 0.012 |
| | | Avg. (\pm SD) | 24.3 \pm 3.51 | 8.04 \pm 0.9 | 4.89 \pm 4.43 | 0.02 \pm 0.003 |
| | 4 | Max. | 27.6 | 8.48 | 23.6 | 0.018 |
| | | Min. | 19.7 | 6.82 | 2.17 | 0 |
| | | Avg. (\pm SD) | 23.3 \pm 2.63 | 7.63 \pm 0.63 | 7.19 \pm 7.95 | 0.016 \pm 0.003 |
| | 7 | Max. | 22.6 | 6.73 | 36.8 | 0.021 |
| | | Min. | 18.1 | 8.07 | 3.22 | 0 |
| | | Avg. (\pm SD) | 20.7 \pm 1.59 | 7.38 \pm 0.54 | 11.23 \pm 13.35 | 0.002 \pm 0.002 |
| Damchuk | 1 | Max. | 30.2 | 9.49 | 2.1 | 0.046 |
| | | Min. | 21.3 | 7.48 | 1.15 | 0.016 |
| | | Avg. (\pm SD) | 24.6 \pm 2.81 | 8.42 \pm 0.68 | 1.57 \pm 0.33 | 0.02 \pm 0.011 |
| | 4 | Max. | 26.9 | 8.12 | 1.49 | 0.019 |
| | | Min. | 20.3 | 6.93 | 1.15 | 0.01 |
| | | Avg. (\pm SD) | 23.7 \pm 2.71 | 7.64 \pm 0.41 | 1.38 \pm 0.13 | 0.01 \pm 0.003 |
| | 7 | Max. | 23.4 | 8.12 | 2.08 | 0.014 |
| | | Min. | 18.7 | 6.93 | 1.31 | 0.011 |
| | | Avg. (\pm SD) | 20.7 \pm 1.63 | 7.39 \pm 0.41 | 1.61 \pm 0.32 | 0.01 \pm 0.001 |
| Dosuro | 1 | Max. | 30.8 | 9.31 | 2.13 | 0.022 |
| | | Min. | 19.9 | 7.42 | 1.39 | 0.017 |
| | | Avg. (\pm SD) | 24.7 \pm 3.22 | 8.17 \pm 0.72 | 1.6 \pm 0.3 | 0.02 \pm 0.005 |
| | 4 | Max. | 27.4 | 8.46 | 1.64 | 0.026 |
| | | Min. | 19.8 | 6.84 | 0.95 | 0.013 |
| | | Avg. (\pm SD) | 23.7 \pm 2.88 | 7.69 \pm 0.61 | 1.47 \pm 0.29 | 0.02 \pm 0.004 |
| | 7 | Max. | 23.2 | 7.94 | 2.43 | 0.02 |
| | | Min. | 18.2 | 6.76 | 1.25 | 0.01 |
| | | Avg. (\pm SD) | 20.6 \pm 1.61 | 7.32 \pm 0.41 | 1.52 \pm 0.51 | 0.02 \pm 0.003 |
| Jirye-ri | 1 | Max. | 32.2 | 9.57 | 2.42 | 0.021 |
| | | Min. | 20.1 | 6.99 | 1.14 | 0.013 |
| | | Avg. (\pm SD) | 24.6 \pm 3.61 | 8 \pm 0.72 | 1.77 \pm 0.37 | 0.02 \pm 0.002 |
| | 4 | Max. | 28.5 | 8.12 | 2.18 | 0.02 |
| | | Min. | 19.8 | 6.9 | 1.46 | 0.012 |
| | | Avg. (\pm SD) | 23.4 \pm 2.94 | 7.64 \pm 0.41 | 1.74 \pm 0.29 | 0.02 \pm 0.004 |
| | 7 | Max. | 22.2 | 7.94 | 1.68 | 0.023 |
| | | Min. | 18.5 | 6.76 | 1.23 | 0.011 |
| | | Avg. (\pm SD) | 20.4 \pm 1.22 | 7.3 \pm 0.49 | 1.55 \pm 0.18 | 0.02 \pm 0.004 |

식물플랑크톤 종조성

임하호에서 9회에 걸쳐서 채수한 시료에서 출현한 식물플랑크톤은 모두 70종류로 나타났다. 이 중에서 녹조강이 32종류(46%) 남조강과 규조강이 12종류(17%), 유글레나강이 6종류(9%), 시누라조강이 4종류(6%), 은편모조강이 3종류(4%), 그리고 와편모조강이 1종류(1%)로 구성되어 녹조강, 남조강 및 규조강의 출현율이 높게 나타났다(Fig. 5). Park 등[21]은 탁수가 매우 심하였던 2003년과 2004년에 임하호의 식물플랑크톤은 모두 102종류가 출현하였고, 그 중 규조강이 가장 많이 출현하였으나, 본 조사에서는 70종류의 식물플랑크톤이 출현하였으며, 이 중 녹조강이 가장 많이 출현하였다. 이러한 상이

한 결과를 나타내고 있는 것은 2년의 기간이 경과한 점과 Park 등[21]이 댐측에서만 조사한 점 및 당시 탁도가 최고 1,221 NTU의 매우 높았던 점에 비추어 수질환경의 변화에 따라 차이를 나타낸 것으로 생각된다.

식물플랑크톤 출현 종수의 시·공간적 거동 분석

수심 1 m에서 출현한 종수는 42~48종류, 수심 4 m에서는 34~43종류, 그리고 수심 7 m에서는 27~30종류가 출현하였다(Table 2). 각 조사 지점 모두 녹조강의 출현율이 높았고, 수심 1 m의 경우 규조강과 남조강의 출현율이 비슷하였으며, 수심 7 m는 규조강의 출현율이 남조강에 비해 높았다. 유글레

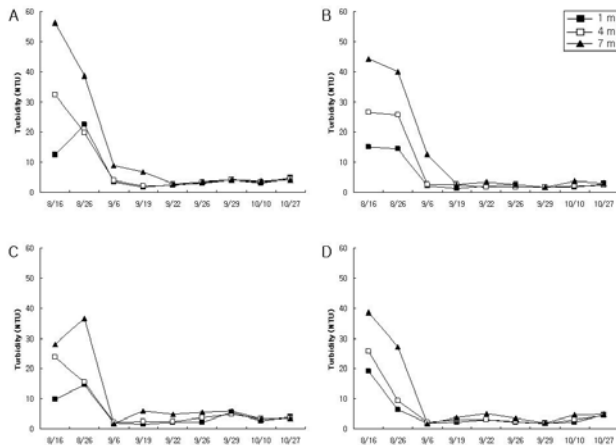


Fig. 2. Changes in turbidity in Imha reservoir from Aug. to Oct. 2006. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiiry-ri. ■ 1 m, □ 4 m, ▲ 7 m.

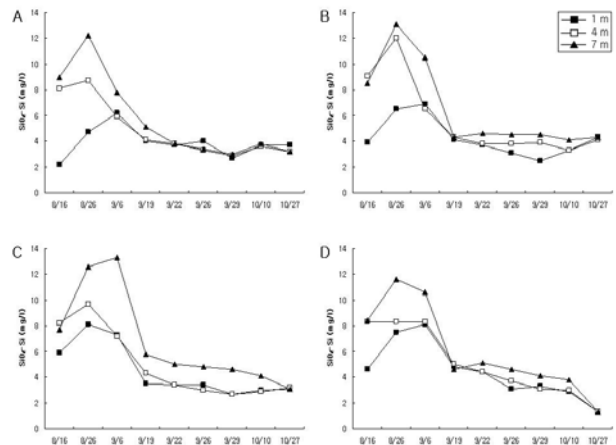


Fig. 3. Changes in SiO₂-Si in Imha reservoir from Aug. to Oct. 2006. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiiry-ri. ■ 1 m, □ 4 m, ▲ 7 m.

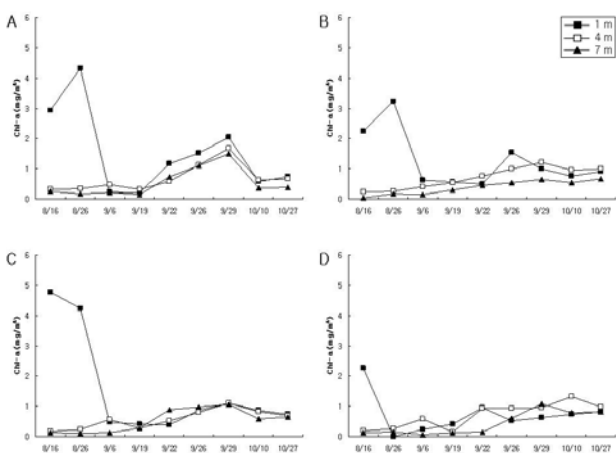


Fig. 4. Changes in chlorophyll-a concentration in Imha reservoir from Aug. to Oct. 2006. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiiry-ri. ■ 1 m, □ 4 m, ▲ 7 m.

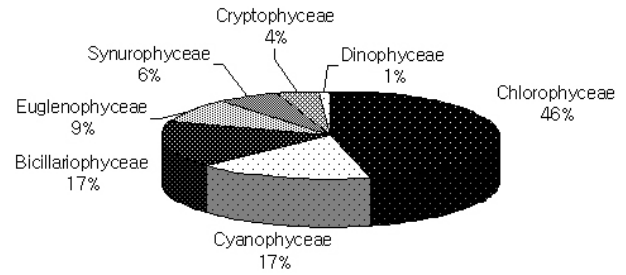


Fig. 5. Distribution of phytoplankton class in Imha reservoir.

Table 2. Distributional ratio (%) of phytoplankton class in Imha reservoir

| Depth (m) | Sampling site | Phytoplankton community | | | | | | |
|-----------|---------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Chl. | Cya. | Bac. | Eug. | Syn. | Cry. | Din. |
| 1 | Jungpyeong-ri | 29 | 24 | 22 | 7 | 9 | 7 | 2 |
| | Damchuk | 43 | 24 | 18 | 2 | 4 | 7 | 2 |
| | Dosuro | 50 | 19 | 19 | 2 | 2 | 6 | 2 |
| | Jiiry-ri | 42 | 17 | 17 | 5 | 10 | 7 | 2 |
| 4 | Jungpyeong-ri | 40 | 21 | 21 | 0 | 6 | 9 | 3 |
| | Damchuk | 40 | 22 | 22 | 0 | 5 | 8 | 3 |
| | Dosuro | 47 | 21 | 19 | 2 | 2 | 7 | 2 |
| | Jiiry-ri | 45 | 8 | 20 | 8 | 8 | 8 | 3 |
| 7 | Jungpyeong-ri | 28 | 21 | 24 | 0 | 14 | 10 | 3 |
| | Damchuk | 29 | 26 | 30 | 0 | 0 | 11 | 4 |
| | Dosuro | 36 | 19 | 30 | 0 | 4 | 7 | 4 |
| | Jiiry-ri | 44 | 10 | 30 | 0 | 3 | 10 | 3 |

* Chl., Chlorophyceae; Cya., Cyanophyceae; Bac., Bacillariophyceae; Eug., Euglenophyceae; Syn., Synulophyceae; Cry., Cryptophyceae; Din., Dinophyceae.

나강은 수심 7 m에서 전혀 출현하지 않았다. 중평의 수심 1 m와 수심 7 m에는 녹조강, 규조강 및 남조강의 출현율이 비슷하였고, 유글레나강은 수심 1 m에서만 출현하였으며, 뱀축에서는 수심 1 m와 수심 4 m에서는 녹조강이 수심 7 m에서는 규조강의 출현율이 약간 높았다. 도수로에서는 수심 1 m와 수심 4 m에서 확인된 출현 종수는 비슷하였고, 유글레나강은 수심 1 m, 수심 4 m에서 출현하였다. 지례에서는 규조강 출현율이 수심 7 m에서 수심 1 m와 수심 4 m에 비해 높았다. 뱀내의 수심별 조사에서 녹조강의 출현율이 높은 것은 팔당댐과 비슷한 양상이었으며[2], 규조강이 수심 7 m에서 출현율이 높은 것은 표층에서 사멸한 종류가 함께 채집되었기 때문으로 생각되나 정확한 판단을 내리기 위해서는 핵염색법[4,5] 등을 통한 사세포 확인이 필요할 것으로 생각된다.

식물플랑크톤 현존량의 시·공간적 거동과 환경요인과의 상관관계

식물플랑크톤의 총현존량은 도수로의 수심 1 m에서 238,970 cells/ml (8월 16일) 최대였고, 지례에서 수심 4 m에서

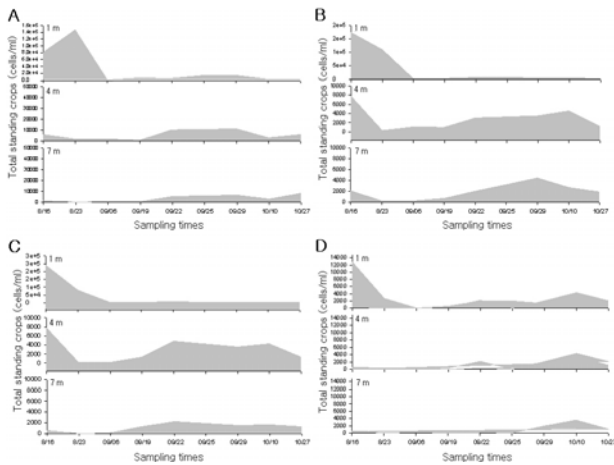


Fig. 6. Changes in total standing crop of phytoplankton community according to the depth and time in Imha reservoir. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiry-ri.

5 cells/ml (9월 6일)로 최소였다(Fig. 6). 총현존량의 변화에서 수심 1 m는 8월 16일과 8월 23일에 최대였다가 이 후부터 급격히 감소하였으며, 수심 4 m는 중평, 댐축 및 도수로가 9월 19일 이전까지 감소한 현존량이 이 시기부터 다시 증가하였다. 수심 7 m의 현존량 변화는 각 조사 지점별로 경향이 다르게 나타났다. 표층에서 8월 23일 이전에 식물플랑크톤의 총현존량이 높은 것은 남조류의 *Microcystis aeruginosa*가 대량 발생했기 때문이며, 이 후부터 *M. aeruginosa*의 현존량 감소와 함께 총현존량도 급격히 감소하였다. *Microcystis aeruginosa*는 일반적으로 늦봄부터 가을까지 대량 번성하나 하계인 8월 중에 본 종의 현존량 감소는 댐에서 발생한 탁수를 방류할 때 *M. aeruginosa*가 방류수와 함께 유출되었기 때문으로 생각된다. 수심별 분포는 수심 1 m에 비해 현존량이 많이 낮았으나, 댐축과 도수로의 수심 4 m는 중평과 지레에 비해 높은 값을 유지하였다. Lee [19]는 식물플랑크톤이 수심 16 m까지 현존량이 높은 것은 하계 강우로 인한 주변 경작지, 산업 폐수 및 도시 하수의 대량 유입에 기인한다고 하였다. 본 조사에서도 수심 7 m까지 현존량이 높게 유지되고 있으나, 특히 댐축과 도수로의 4 m에서 현존량이 높은 것은 댐축의 여수로와, 도수로 지점의 영천 도수로를 통한 탁수의 방류로 임하댐 상류에 있던 식물플랑크톤과 두 조사 지점의 주변에 있던 식물플랑크톤이 수심 4 m 지점에서 함께 채집되었기 때문으로 생각된다.

녹조강의 현존량은 도수로의 수심 1 m에서 9,690 cells/ml (8월 23일)로 가장 높았고, 댐축, 도수로 그리고 지레는 8월 23일에 현존량이 최대였으나 중평은 한 달 후인 9월 23일에 최대값을 나타냈다(Fig. 7). 수심별 현존량은 댐축과 지레의 수심 4 m에서 일시적인 증가가 있었으나 현존량 값은 낮았다. 남조강의 현존량은 도수로에서 230,730 cells/ml (8월 16일)로 최대였다(Fig. 8). 남조강의 현존량은 주로 표층에서 8월중에

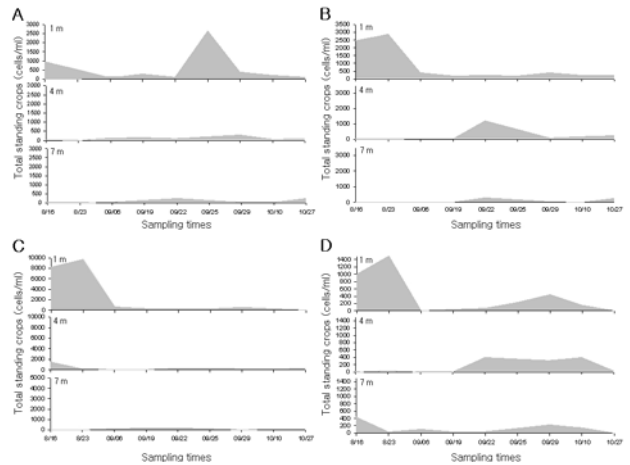


Fig. 7. Changes in standing crop of *Chlorophyceae* according to the depth and time in Imha reservoir. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiry-ri.

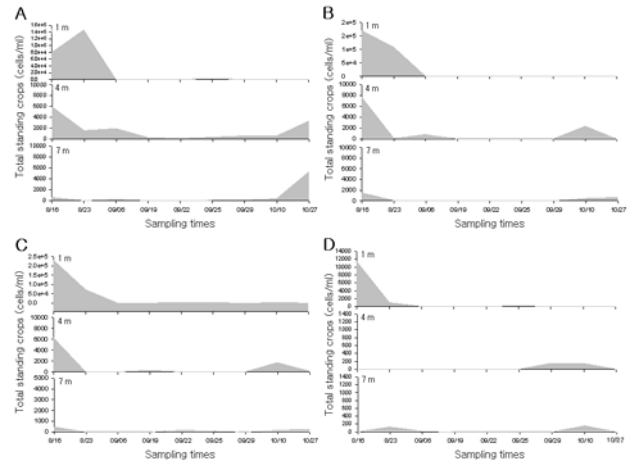


Fig. 8. Changes in standing crop of *Cyanophyceae* according to the depth and time in Imha reservoir. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiry-ri.

현존량이 높게 유지되다가 추계인 9월부터는 급속히 감소하였다. 수심별 분포에서 수심 4와 7 m에서는 현존량이 표층에 비해 매우 낮았고, 일시적인 현존량 증가는 수심 1 m에 존재하던 남조류가 낮은 수온으로 죽어 침강된 세포가 조사되었기 때문으로 판단된다. 규조강의 현존량은 중평의 수심 1 m에서 12,335 cells/ml (9월 29일)로 최대였으며(Fig. 9), 조사 지점 모두 9월에 현존량이 높았으며, 10월부터 감소하였다. 수심별 분포에서 수심 4와 7 m에는 표층과 거의 같은 시기인 9월에 현존량이 최대였고, 10월에 감소하였다. 그러나 규조강의 현존량이 지레에서는 10월 10일에 측정된 모든 수심에서 최대치를 보이는 특이성이 있었다. 은편모조강의 현존량은 중평의 수심 4 m에서 2,980 cells/ml (9월 22일)로 최대값을 나타냈다(Fig. 10). 은편모조강이 출현한 시기는 8월부터 나타났으며, 현존량은 전조사 지점과 수심 1, 4 및 7 m 모두 9월 22일에

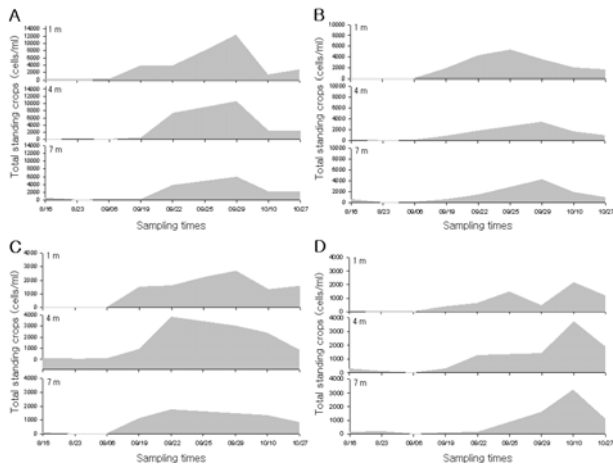


Fig. 9. Changes in standing crop of *Bacillariophyceae* according to the depth and time in Imha reservoir. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiryri-ri.

최대였고, 9월 25일부터 현존량이 감소하기는 하였으나 완전히 소멸되지는 않았다.

식물플랑크톤 군집의 현존량과 환경인자(수질)와의 상관관계에서, 수온은 총현존량, 남조강, 녹조강 및 은편모조강과 양의 상관관계($r=0.022\sim0.494$, $p<0.01$)로, 은편모조강과 상관관계가 낮았고, 규조강과는 음의 관계로 매우 낮았다 (Table 3). SiO_2-Si 와 규조강은 음의 관계($r=-0.471$, $p<0.01$)를 나타냈고 다른 군집과는 매우 낮은 음의 관계였다. pH는 총현존량, 남조강, 녹조강 및 은편모조강과 양의 상관관계($r=0.087\sim0.449$, $p<0.01$)로 은편모조강과 매우 낮았다. 용존산소와 식물플랑크톤군집은 낮은 양의 관계($r=0.206\sim0.271$, $p<0.01$)였고, Chl-a와는 총현존량, 남조강, 녹조강 및 규조강과 양의 상관관계($r=0.745\sim0.824$, $p<0.01$)로 규조강과 상관관계가 매우 낮았으며, 은편모조강과는 음의 관계였다. TN과 TP 그리고 식물플랑크톤 군집과의 상관계수는 매우 낮았다.

수온은 식물플랑크톤의 생리적 활성과 매우 밀접한 관계

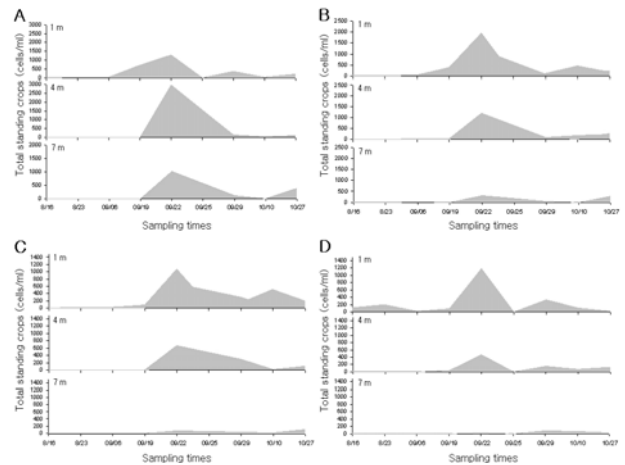


Fig. 10. Changes in standing crop of *Cryptophyceae* according to the depth and time in Imha reservoir. A, Jungpyeong-ri; B, Damchuk; C, Dosuro; D, Jiryri-ri.

가 있기 때문에 성장율에 매우 중요하다[1]. 수온과 은편모조강의 상관관계가 매우 낮은 것은 은편모조강의 현존량이 특정시기(9월 22일)에 급격히 증가하였다가 급속히 감소하였기 때문이다(Fig. 10). 은편모조강은 임하댐에서 2005년에 처음 보고된 종으로[21], 그 이전의 조사에서는 보고된 적이 없는 분류군이다[12-14,20]. 2005년 출현 시 현존량이 높았던 시점은 3월과 4월의 시기만 제시되어 있는데, 본 조사에서 현존량이 최대 시점의 수온은 22.2~24.5°C (평균 23.4°C)였다. 은편모조강은 특정의 수온을 선호하는지 혹은 다른 요인과 복합적으로 작용하여 특정시기에 현존량이 최대로 나타나는지는 춘계의 조사와 다른 환경요인들에 대한 세밀한 조사가 필요하다. SiO_2-Si 는 규조강의 피각의 구성 물질이 규산질로 되어 있기 때문에 SiO_2-Si 와 상관성이 높다[6]. 그러나 본 조사에서 음의 관계를 나타낸 것은 고농도의 SiO_2-Si 를 규조류가 과량으로 흡수하여 대량 번성하였고, 이어 낮은 농도의 SiO_2-Si 가 존재한 상태에서 규조류의 현존량이 높아졌기 때문으로 생각된다.

Table 3. Effect of environmental factors on the phytoplankton community in Imha reservoir

| Phytoplankton community | Total phytoplankton standing crop | Cyanophyceae | Chlorophyceae | Bacillariophyceae | Cryptophyceae |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|-------------------|---------------|
| Factor | | | | | |
| WT | 0.494 | 0.495 | 0.408 | -0.163 | 0.022 |
| SiO_2-Si | -0.041 | -0.011 | - | -0.471 | - |
| pH | 0.449 | 0.424 | 0.425 | 0.265 | 0.087 |
| DO | 0.245 | 0.221 | 0.206 | 0.271 | 0.244 |
| Chl-a | 0.824 | 0.804 | 0.745 | 0.103 | -0.021 |
| TN | 0.061 | 0.077 | -0.075 | -0.112 | -0.119 |
| TP | 0.214 | *0.228 | 0.123 | -0.22 | -0.255 |

WT, water temperature; DO, dissolved oxygen; Chl-a, chlorophyll a; TN, total nitrogen; TP, total phosphorus. *: $p<0.05$, no mark: $p<0.01$

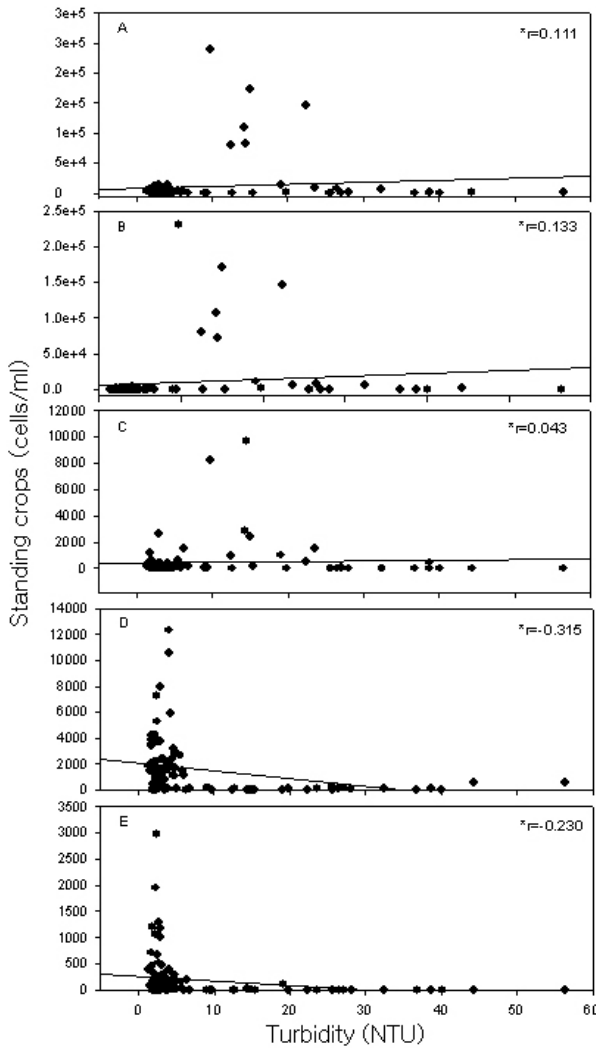


Fig. 11. The interrelation between turbidity and total standing crops of phytoplankton community in Imha reservoir (*: $p < 0.01$). A, Total phytoplankton standing crops; B, Cyanophyceae; C, Chlorophyceae; D, Bacillariophyceae; E, Cryptophyceae.

탁수와 식물플랑크톤 군집 그리고 환경 요인과의 상관관계 분석

탁수와 식물플랑크톤 군집의 상관관계에서, 총현존량은 $r=0.111$ ($p < 0.01$), 남조강은 $r=0.133$ ($p < 0.01$), 녹조강은 $r=0.043$ ($p < 0.01$)으로 낮은 양의 관계를 그리고 규조강은 $r=-0.315$ ($p < 0.01$), 은편모조강은 $r=-0.230$ ($p < 0.01$) 음의 관계를 나타냈다(Fig. 11). 탁수와 TN, TP 및 SiO_2-Si 와 상관관계에서, TN과는 $r=0.881$ ($p < 0.01$)로 매우 높은 양의 관계를 보였고, TP와는 $r=0.258$ ($p < 0.01$)로 낮은 양의 관계를, 그리고 SiO_2-Si 와는 $r=0.650$ ($p < 0.01$)로 높은 양의 관계를 나타냈다(Fig. 12). TN과 탁수와의 상관관계수가 가장 높은 것은 질소의 경우 토양 미립자에 단단하게 부착하지 않고 느슨하게 결합되어 있기 때문에 적은 강우라도 쉽게 유출되기 때문이다[6]. 탁수와 식물플랑크

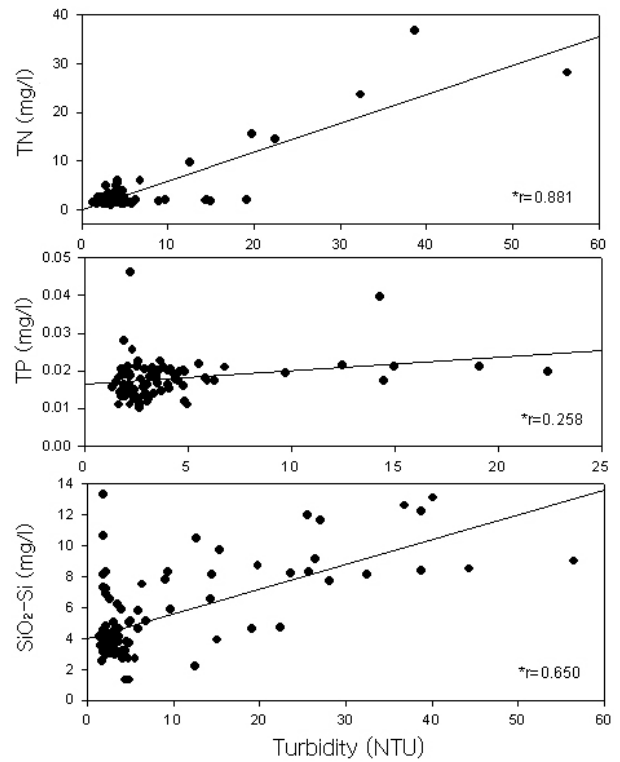


Fig. 12. The interrelation between turbidity, TN, TP and SiO_2-Si in Imha reservoir (*: $p < 0.01$).

톤 군집 간에 상관계수는 전반적으로 낮은 값이었다. 그러나 군집 간에는 양 혹은 음의 상관관계를 나타냈는데, 탁도 소멸 후 각 군집의 현존량이 급속히 낮아지거나 혹은 오히려 증가하였기 때문이다. 탁도 형성 시 오히려 현존량이 높은 분류군은 녹조강(중평리 예외)과 남조강이었으며, 녹조강과 남조강은 탁도 소멸과 함께 현존량이 급속히 감소하였다(Figs. 7, 8). 녹조강과 남조강은 일반적으로 하계에 현존량이 최대의 증가치를 나타내는데[6], 탁도 소멸과 함께 현존량이 급속히 감소한 원인을 알 수 없다. 임하댐 탁수의 주성분은 일라이트와 카올리나이트이고 이들 성분은 풍화토양에서 유래된 것으로 성분은 Al과 Si가 주성분이다[11]. 따라서 SiO_2-Si 는 탁수와 함께 댐내로 유입되었기 때문에 두 요인의 농도 증·감이 유사한 경향을 나타낸 것으로 생각된다(Figs. 2, 3). 규조강의 피각은 SiO_2-Si 가 주성분이다. 규조강이 탁도 소멸 후 현존량이 지속적으로 증가한 것은 SiO_2-Si 가 탁수와 함께 임하댐 내로 유입되어 규조강의 주성분으로 이용되었기 때문으로 판단된다. 은편모조강도 탁도 소멸 후 특정시기에 현존량이 최대를 나타냈다(Fig. 10). 2005년에도 탁도 소멸 후 현존량이 증가하였는데[21], 탁도 소멸 후 특정 시기의 현존량 증가에 대해서는 빛 투과도 증가, 질소와 인 등 여러 환경요인들에 대한 세밀한 분석이 필요하다. 탁수는 수계를 흐리게 하기 때문에 빛을 이용하는 식물플랑크톤에게는 치명적으로 작용할 수 있다. 그러나 탁수의 유입 시 탁수와 함께 식물플랑크톤에 필요한 여러

환경요인들이 함께 유입되기 때문에, 탁도 소멸 후에는 오히려 특정 분류군 개체 수 증가에 유리하게 작용할 수 있다. 따라서 탁도가 식물플랑크톤 군집 거동에 대한 평가는 여러 환경요인들에 대한 세밀한 분석이 있어야 할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 탁수 발생이 식물플랑크톤 군집에 어떠한 변화를 미치는가에 대해 이해하는 연구의 일환으로 임하호의 네 지점(중평리, 땀축, 도수로, 지례리)에서 9회에 걸쳐 시료 채취 및 조사를 한 결과는 다음과 같다. 임하호의 수질의 경우 탁도와 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 의 농도는 그 수치가 비례하여 탁도가 높으면 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 의 농도도 증가하고 수심이 깊어질수록 탁도와 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 의 농도가 증가하는 것을 알 수 있다. Chl-a는 수심이 깊어질수록 농도가 낮아지고 있어 수심에 따라 수질의 상태가 변하는 것으로 조사되었다. 임하호에서 출현한 식물플랑크톤은 모두 70종류였고, 녹조강이 32종류(46%) 남조강과 규조강이 12종류(17%), 유글레나강이 6종류(9%), 시누라조강이 4종류(6%), 은편모조강이 3종류(4%), 그리고 와편모조강이 1종류(1%)로 구성되었다. 탁수와 조류의 상관관계에서 식물플랑크톤의 현존량이 매우 높게 나타난 것은 탁수와 함께 유입된 영양물질 등이 식물플랑크톤의 증가에 영향을 준 것으로 판단된다. 즉, 탁수와 TN 및 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 등과 높은 상관관계가 나타난 것은 TN과 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 가 탁수와 함께 임하담 내로 유입된 것으로 짐작할 수 있다. 질소의 경우 토양 미립자에 단단하게 부착하지 않고 느슨하게 결합되어 있기 때문에 적은 강우라도 쉽게 유출된다. 그리고 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 는 탁수의 성분으로 고려해 볼 때 TN과 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 는 탁수와 함께 임하담내로 유입되었음을 알 수 있다. 따라서 탁수 유입 후 그리고 탁수 소멸 이후에는 오히려 식물플랑크톤 현존량이 더욱 증가된 것으로 판단된다.

References

- Boney, A. D. 1989. *Phytoplankton*. 2nd eds., Chapman and Hall, NewYork.
- Chang, Y. K. and S. L. Jeon. 1996. A study on the phytoplankton in the Paldang dam reservoir II. The changes of phytoplankton species composition. *Algae* **11**, 217-229.
- Chung, S. W., H. S. Lee, S. W. Yoon, L. Ye, J. H. Lee and C. O. Choo. 2007. Characterization of physical properties of turbid flow in the Daechong reservoir watershed during floods. *J. Kor. Soc. on Water Quality* **23**, 934-944.
- Gotoh, T. 1988a. Analysis of diatom community by the cell nucleus staining method. *Diatom* **4**, 67-72.
- Gotoh, T. 1988b. Dead cell content in diatom samples. *Jap. J. Water Treat. Biol.* **24**, 132-134.
- Harper, D. 1992. *Eutrophication of freshwater-principles, problems and restoration*. Chapman and Hall, NewYork.
- Hendey, N. I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatom. *Microscopy* **32**, 423-426.
- Hirose, H. 1977. *Illustrations of the Japanese freshwater algae*. Uchid Rokakuho Pub., Tokyo.
- Horne, A. J. and C. R. Goldman. 1994. *Limnology*. pp. 567, 2nd eds., McGraw-Hill Inc., NewYork.
- Kim, B. C. and S. M. Jung. 2007. Turbid problems in streams and reservoirs in Korea and control strategies. *Nature Conservation* **139**, 1-7.
- Kim, J. J., Y. S. Jung, J. G. Kim, S. W. Lee and Y. H. Kim. 2007. Studies on variations of turbidity with strength of rainfall and mineralogy of turbidity-causing materials in Imha and Andong-Dam. *J. Mineral. Soc. Kor.* **20**, 213-222.
- Kim, Y. J. and J. Chung. 1993. Analysis of phytoplankton community in the Imha lake. *Kor. J. Limnology* **26**, 175-196.
- Kim, Y. J., J. S. Choi, D. H. Kim and J. Chung. 1995. Ecological study of phytoplankton community in Imha lake, South Korea. *Kor. J. Limnology* **28**, 61-77.
- Kim, Y. J., J. S. Choi and H. S. Kim. 1997. Structure of phytoplankton community in lake Imha. *Kor. J. Limnology* **30**, 307-324.
- Komarek, J. and B. Fott. 1983. Das phytoplankton des süßwassers systematik und biologie. Teil. 7. Chlorophyceae (Grünalgen Ordnung: Chlorococcales). E. Schweiz. Verl. Stuttgart.
- Komarek, J. and K. Anagnostidis. 2001. Süßwasserflora von mitteleuropa. Band 9/1. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chlorococcales. E. Schweiz. Verl. Stuttgart.
- Krammer, K. and H. Lange-Bertalot. 1988. Süßwasserflora von mitteleuropa. Band 2/2. Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae Epithemiaceae, Surirellaceae, In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.), Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- Kramer, K. and H. Lange-Bertalot. 1991. Süßwasserflora von mitteleuropa. Band 2/3. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, In Ettl, H. J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.), Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- Lee, K. 1986. Vertical distribution of phytoplankton in the Paldang Dam Reservoir. *Korean J. Bot.* **29**, 117-127.
- Park, J. W., J. H. Shin and K. S. Lee. 1999. The summer phytoplankton community structure in lake Imha. *Kor. J. Environ. Biology* **17**, 95-115.
- Park, J. W., K. L. Lee, J. S. Choi and H. S. Kim. 2005. Dynamics of phytoplankton community after formation of turbid water in lake Imha. *Kor. J. Limnology* **38**, 429-434.
- Shin, M. J., J. E. Lee and E. W. Seo. 2007. The tissues and blood components of *Opsariichthys uncirostris amurensis* in the muddy water area. *J. Life Sci.* **17**, 97-104.
- Simonsen, R. 1979. The diatom system: Ideas on phylogeny. *Basc.* **2**, 9-71.
- Sin, J. G., C. G. Kang and S. J. Hwang. 2003. Daily variations of water turbidity and particle distribution of high turbid-water in Paltang reservoir, Korea. *Kor. J. Limnology* **36**, 257-268.
- Yum, K. T., E. S. Park, S. J. Song and G. S. Lee. 2007. Consideration on the status and improvement factors of the turbid-water management in multi-purpose Dam. *J. Kor. Soc. Civil Engineers* **55**, 123-131.