

## 조류발생 경보 및 호수 수질관리를 위한 엽록소 자동측정기의 적용 및 타당성 연구

황 수 옥 · 한 명 수<sup>1</sup> · 김 백 호<sup>1,\*</sup>

(한국수자원공사 팔당권 관리단, <sup>1</sup>한양대학교 자연과학대학 생명과학과)

**Evaluation and Application of Algae Online Analyzer for Alarming Algal Bloom and Water Quality Management of Korean Reservoirs. Hwang, Su-Ok, Myung-Soo Han<sup>1</sup> and Baik-Ho Kim<sup>1,\*</sup> (Pal-dang Office, Korea Water Resources Corporation, Kyunggi, Korea; <sup>1</sup>Department of Life Science, Hanyang University, Seoul Korea)**

In order to evaluate the application of Algae Online Analyzer (AOA), an instrument of automatic measurement of chlorophyll *a* concentration, was tested and compared with the acetone extraction method on the basis of microscopic counting of phytoplankton in field water (Paltang Reservoir). We simultaneously conducted AOA operation and extraction method with the same water sample, to compare both results of chlorophyll *a* measurement. Phytoplankton were enumerated by inverted microscope with the Sedgwick-Rafter chamber, and classified into the genus or species. According to the AOA measurement, the diatom most (83.6%) strongly contributed to the total chlorophyll *a* concentration, followed by chlorophyceae > cyanophyceae > cryptophyceae. Overall, the results of both AOA and extraction method showed a similar trend and significant correlation ( $r=0.87$ ,  $n=302$ ,  $p<0.001$ ), however, there were some differences according to the season and species. In particular, the relationship between AOA Chl-*a* density of the diatom ( $r=0.73$ ,  $p=0.010$ ) and cyrptophyceae ( $r=0.83$ ,  $p=0.00154$ ) were significant, while chlorophyceae ( $r=-0.13$ ) and cyanophyceae ( $r=-0.16$ ) showed no clear relationship during the study period. Although we can not fully understand why there was difference between both methods, AOA application for alarming algal bloom and water quality management during the algal bloom appears to be very relevant. However, the further study or technical upgrade of AOA measurement is required, especially in the case of low density of phytoplankton or species-specific measurement.

**Key words : alarming, Algae Online Analyzer, automatic fluorometer, water quality**

### 서 론

팔당호는 한강수계의 가장 하류에 위치한 인공댐호로서 1973년에 축조되어 지금까지 약 30여년 동안 수력발전 및 서울-경기지역 23개 시, 군 지역에 생활용수를 공급하는 주요 상수원이다. 댐호의 위치는 남, 북한강 및 경

안천 등 3개 하천의 합류지점으로 강우(문순)에 의한 절대적인 영향을 받으며, 수체는 수심이 낮고 체류시간이 짧아 정체기 동안 수온 약층이 약하며, 순환기인 12월에서 익년 3월까지의 결빙상태로 존재한다(박과 정, 2003). 호수 주변에는 쾌적한 경관과 다양한 레저시설이 있으며, 수생식물과 조류 등 다양한 생물들의 서식처를 제공하는 등 생태적, 경제적 가치를 동시에 갖고 있다. 팔당호

\* Corresponding author: Tel: 02) 2220-0909, Fax: 02) 2296-1741, E-mail: tigerk@hanyang.ac.kr

의 수질은 크게 강우기의 탁수 유입과 체류시간 변동, 그리고 경안천의 높은 유기물 유입에 의해 유발되는 조류 발생 등에 의해서 크게 영향을 받는다(공 등, 1996). 특히 매년 해빙기 및 여름철에 조류발생은 취수 및 정수과정에서의 냄새 발생, 탁도 증가 및 여과지 폐색 등의 수질 문제를 야기시켜 수처리 과정에 큰 장애를 일으키고 있으며, 결국 수자원 공급자와 소비자들 모두에게 어려움을 주고 지속적인 민원의 대상이 되고 있다(신과 안, 2003).

정수처리 과정에서 냄새발생의 직접적인 원인이 되는 생물 및 성분분석은 전문가에 의해 형태학적 분석 및 기기분석을 통하여 간단하게 그 결과를 얻을 수 있다(채 등, 2004; 김 등, 2005). 그러나 조류의 정확한 동정이나 엽록소량의 지속적인 감시 또는 측정에는 소요되는 시간이나 인력 등을 감안하면 비경제적이다. 따라서 효율적인 호수 수질 및 수자원 관리를 위하여 조류생물량의 변화를 빠르고 손쉽게 측정할 수 있는 자동측정장치의 운용이 요구되고 있다. 국내 수질자동측정장치의 운용은 환경부가 낙동강 페놀유출사고(1991), 낙동강 휘발성 유기용제류 유출사고(1994) 등을 계기로 전국 주요 상수원의 수질상태를 연속적으로 자동 측정하고 상시 감시함으로써 수질오염사고에 신속히 대처하기 위하여 시작되었다. 1995년부터 물벼룩 및 물고기를 이용한 생물독성경보장치 등을 포함한 Online수질 자동측정기기를 낙동강 수계의 성서공단 및 고령교 지점에 2개소, 1998년 20개소 등 매년 증가하고 있으며 현재 지역감시센터와 연결하는 수질자동측정망 통합연계망이 구축되어 있다(환경관리공단, 2001, 2002).

수질자동측정의 대상은 주로 수온, pH, DO, EC, TOC, 총인, 총질소, 물벼룩 독성, 물고기 독성, VOCs, 엽록소 등이다. 그러나 팔당호의 경우 해빙기와 여름철에 냄새 발생이나 탁도증가가 일어나며(신과 안, 2003) 이들은 주로 조류대발생과 밀접하게 관련이 있기 때문에 엽록소 자동측정장치의 신속성 및 정확도는 매우 중요하다. 현재 엽록소 자동측정기는 조류발생이 많은 전국 주요 호소 및 하천을 대상으로 총 6개소를 설치하여 운영 중이며, 한국수자원공사 팔당권 관리단에서는 팔당호 제2취수장에 1개소를 설치하여 운영하고 있다(환경부, 1994).

일반적으로 수중의 조류 또는 색소물질의 밀도나 양을 측정하기 위하여 형광빛(fluorescence)을 이용하는 형광측정기(chlorophyll fluorometer)를 이용하는 게 보통이다. 이러한 타입은 1970년대부터 개발되어 기능과 정확성은 계속하여 발전되었으나 최근에는 비로소 상시 측정이 가능한 자동측정기가 개발됨으로서 세계적으로 광범하게 널리 이용되게 되었다(Rascher *et al.*, 2000; Ounis

*et al.*, 2001; Ulrich, 2002; Lichtenthaler *et al.*, 2005). 그러나 조류의 종류에 따라 포함되는 색소의 종류와 상대적인 조성이 다를 수 있고, 특히 팔당호와 같이 저온기 동안에 남조보다 규조류가 우점하므로써 엽록소 a량이 상대적으로 낮게 측정되는 장소(한 등 2002; 김 등 2004)에서는 출현된 조류의 정확한 동정은 물론 자동측정기가 표현하는 색소량과의 상관성 조사는 반드시 필요하다 하겠다.

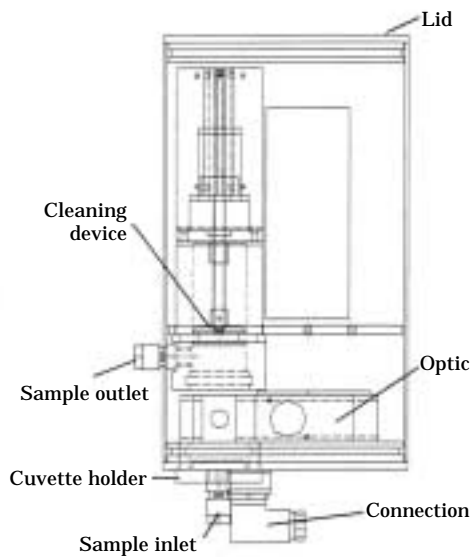
본 연구는 서울-경기지역의 주요 상수원인 팔당호의 수질변화를 상시 모니터링할 수 있는 엽록소 자동측정기의 현장 적용을 위한 타당성 조사의 일환으로 현장조사에서 직접 채수한 시료내 조류현존량을 토대로 하여 흡광도법과 자동측정기에 의한 엽록소 측정결과를 비교분석하고 적용가능성에 대해 논의하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 엽록소 자동측정기의 특성

엽록소 자동측정기(bbe)는 독일 Modeanke사에서 개발한 기기로서 동 회사가 개발한 4가지 Fluorometer 유형 중 유일하게 자동측정이 가능한 Algae Online Analyzer (AOA) type이다(Fig. 1). 동 회사에서 개발한 Cuvette Fluorometer (Schreiber, 1994)는 이미 1990년초부터 국내에서도 도입되어 사용중이며, 2000년 이후에는 대부분 AOA type으로 교체되고 있다. 본 연구에 사용된 AOA는 연속측정이 가능한 Model No. BG 80000으로서 현재 한 국수자원공사 팔당권관리단 제2취수장 수질시험실에 조류발생 상시 측정을 목적으로 2002년 6월에 설치하였으며 조류발생 또는 우점종의 변화에 따른 색소량의 변화 및 상호관계에 대하여 지속적으로 분석하고 있다.

본 기기는 다양한 조류가 갖는 엽록소와 여러 가지 색소들의 형광 특성에 기초하여 측정되도록 개발되었으며, 주로 1) 4개 조류(녹조, 남조, 규조, 와편모조)의 엽록소 a 농도 및 총 엽록소 a 농도, 2) 조류그룹에 대한 광합성 활성도, 3) 5개 파장에 대한 투과도 등이 측정되어 계산된다. 자동측정기는 크게 세척장치가 내장된 센서부, 전원 공급장치, 펌프가 내장된 외형물체, software가 장착된 외장형 PC 등 4가지로 구분된다(Fig. 1). 엽록소 측정은 센서부에서 이루어지는데 시료는 아래 부분을 통하여 측정실내로 유입되며, 다른 광도와 색깔을 가진 조사광들에 대한 형광이 측정된다. 이렇게 측정된 값은 내부의 micro controller에 의해 계산되어 분석된 후 PC로 전송되며, 일정한 수의 측정이 이루어진 후, 측정 cuvette은 세척장



**Fig. 1.** Appearance (upper) of and mechanical structure (lower) of Algae Online Analyser (bbe Model No. BG 80000) by Modeanke company (Germany).

치에 의해 자동 세척된다. 시료는 연동 펌프(peristaltic pump)에 의해 이동되며, 유속은 항상 일정하나 튜브의 직경에 따라 변화를 줄 수 있다. 측정된 데이터의 분석은 software, aanalyser (Version 1.4)를 설치함으로써 가능하다.

**2. 조사기간 및 분석방법**

팔당호 현장수가 유입되는 제2취수장에서 직접 채수하여 크게 조류 현존량 및 종 조성 분석, 수질오염공정시험 방법인 흡광광도법(환경부, 1996)에 의한 엽록소 측정, 그리고 자동측정기에 의한 엽록소 측정 등을 동시에 실시하여 자동측정기(bbe)와 흡광광도법에 의한 측정결과를 비교 분석하고, 이들과 현미경적 분석인 조류 현존량

과의 관계를 비교하였다.

조사는 2003년 6월 24일부터 2004년 4월 21일까지 총 10개월 동안 실시하였다. 자동측정기에 의한 측정은 측정 당일 00:01부터 24:00까지 측정된 값의 일일 평균 값을 사용하였으며, 흡광광도법에 의한 측정은 매일 동일 시간에 시료를 채취하여 GF/C filter paper로 여과한 다음 90% acetone 용액으로 24시간 냉암소에서 추출하였다. 이들은 다시 원심분리한 다음 상등액만을 이용하여 흡광도를 측정하였다.

조류 현존량 및 종 조성 분석은 흡광광도법에 의한 측정과 동일한 시간에 채수한 시료를 150 mL PE병에 넣고 Lugol액 또는 glutaraldehyde액으로 고정한 후 냉암소에서 침전시켰다. 침전된 시료량의 적당량을 S-R chamber를 이용하여 도립현미경(Nikon, Tokyo, Japan)에서 산정하였으며, 종의 동정은 광학현미경(Olympus, Tokyo, Japan) 1000배하에서 검정하였다. 종의 동정은 속(genus)단위를 기본으로 하였다. 조류현존량에 대한 흡광광도법과 자동측정기에 의한 엽록소 측정값의 상관분석을 각각 실시하였다.

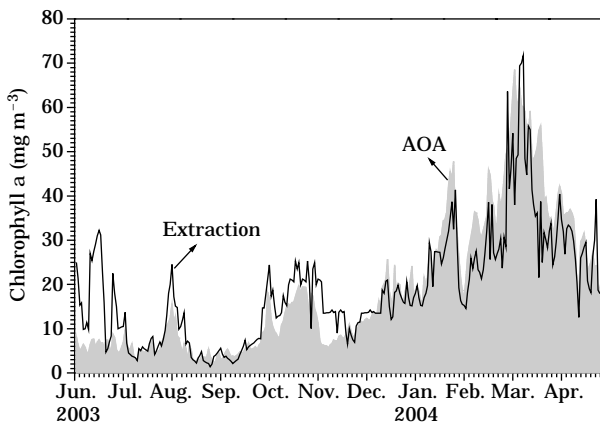
**결과 및 고찰**

**1. 팔당호 엽록소의 일변화**

조사기간 동안 자동측정기로 측정된 팔당호의 일일 평균 총 엽록소 a 농도는 1.3~68.6 mg m<sup>-3</sup>의 범위를 나타냈으며, 월평균은 3.9~49.1 mg m<sup>-3</sup>의 범위로서 3월에 가장 높은 반면 9월에 가장 낮게 나타났다(Fig. 2). 조류분류군은 규조류와 녹조류가 동절기에 높은 반면 하절기에는 남조류가 높게 나타났다. 총 엽록소 a 농도에 대한 각 조류별 기여도는 규조류가 81.6%로 가장 높았으며, 녹조류(13.3%), 남조류(2.9%), 크립토조류(2.2%)의 순이었고, 동절기 동안 팔당호에서 주로 규조류가 우점되는 것과 관련이 높았다(Fig. 3). 자동측정기로 측정된 팔당호 각 식물플랑크톤 분류군별 엽록소 농도는 조사시기에 따라 큰 변동폭을 보였으나 전체적으로 조류 현존량의 변동과 유사하였다(Fig. 3). 총 엽록소 a 농도에 가장 높은 기여율을 보였던 규조류는 고온기(6~10월 중순)에는 10 mg m<sup>-3</sup> 이하의 낮은 농도를, 수온 감소기(10월 23일~11월 8일)에는 10 mg m<sup>-3</sup> 이상으로 서서히 증가하였으며, 수온이 더욱 감소한 동절기(12월 12일~3월 3일)에는 65.4 mg m<sup>-3</sup>로 최대치를 보였다.

조사기간 동안 출현한 식물플랑크톤의 분류군별 조성을 살펴보면, 규조-Cyclotella, Aulacoseira, Asterionella

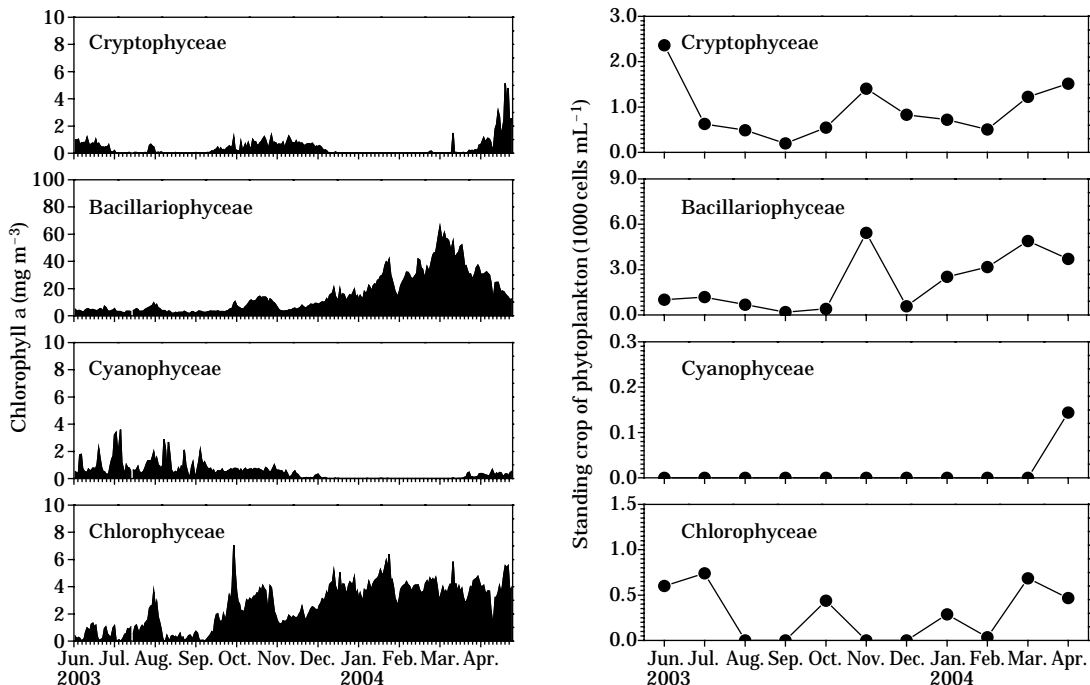
와 크립토조-*Rhodomonas*, *Cryptomonas*, 녹조-*Ankistrodesmus*가 우점하였으며 (Fig. 3), 남조류와 와편모조의 출현은 극히 빈약하였다 (Fig. 4). 월별 밀도 변동을 살펴보면, 3월에 8,100 cells mL<sup>-1</sup>로 가장 많이 출현하였으며, 11월에 7,622 cells mL<sup>-1</sup>, 4월에 6,588 cells mL<sup>-1</sup>의 순이었으며, 9월에 가장 낮아 440 cells mL<sup>-1</sup>을 나타내었다. 출현이 가장 많은 규조류의 경우, 11월에 5,439 cells mL<sup>-1</sup>로



**Fig. 2.** Monthly variations of chlorophyll-a concentration measured by Algae Online Analyzer (AOA) and acetone-extraction method (Extraction).

서 가장 높은 출현을 보였으며, 그 이후 12월을 제외하고 4월까지 2,500 cells mL<sup>-1</sup> 이상을 나타내어 겨울철 출현률이 높게 나타났다. 규조류 다음으로 출현률이 높은 크립토조는 6월에 2,363 cells mL<sup>-1</sup>로 높게 나타났으며, 3, 4, 11월에 1,200 cells mL<sup>-1</sup> 이상을 나타내어 시기적인 변화는 크게 보이지 않았다. 조사기간 동안 우점하였던 식물플랑크톤의 출현특성을 살펴보면 Fig. 4와 같다. 가장 높은 밀도를 보였던 규조 *Cyclotella*가 총 14,268 cells mL<sup>-1</sup>로서 겨울철에서 봄철까지 높은 밀도를 보였으며, 소형편모조 *Cryptomonas*(총 7,226 cells mL<sup>-1</sup>)는 봄철로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈다. 규조 *Aulacoseira* (5,512 cells mL<sup>-1</sup>)는 계절성은 보이지 않았으나 여름철과 겨울철에 높게 출현하였다.

흥미롭게도 저온기 동안 규조류의 우점에 따른 엽록소 증가는 팔당호 원수 및 정수처리시 냄새발생과 거의 일치하였고, 동일시기에 다른 조류 및 엽록소 변화가 크지 않은 것으로 보아 규조류가 냄새발생의 직, 간접적인 것으로 예상되었다. 다만, 단일배양 규조류가 냄새발생의 원인물질을 생성하거나 분비하지 않아(준비 중), 규조류가 냄새발생의 직접적인 원인이라기 보다 이들과 관련된 수중내 박테리아의 작용이 관여할 것으로 판단되는 바 (Gerber, 1979; Dionogo *et al.*, 1992; Jensen and Anders, 1994), 팔당호 우점 규조류와 동일시기에 분포하는 박테



**Fig. 3.** Monthly variations of chlorophyll a concentration (left) and standing crops (right) of four phytoplankton classes measured by Algae Online Analyzer and direct counting method, respectively.

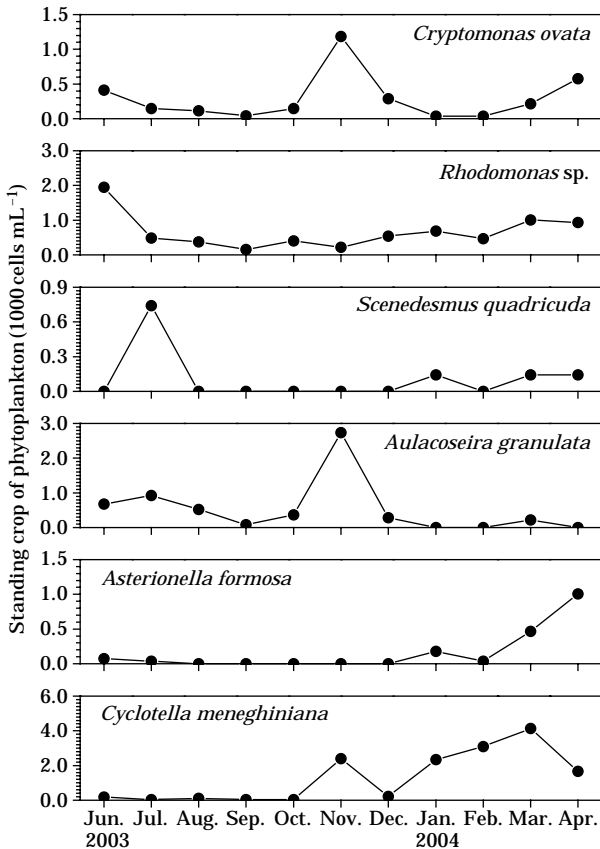


Fig. 4. Monthly variations of standing crops of dominant phytoplankton during the study period.

리아의 상호관계 또는 냄새발생기작 등에 대한 추후 연구가 요구되었다.

한편, 흡광광도법에 의한 팔당호의 일일 평균 엽록소 a 농도는 1.4~71.6 mg m<sup>-3</sup>의 범위 (평균 17.6 mg m<sup>-3</sup>)로서 두 측정법에 의한 월평균 엽록소 농도는 계절에 따라 평균값의 차이를 보였다 (Fig. 5). 9월에는 두 측정치간에 차이가 보이지 않은 반면, 저온기 (11월, 1~4월) 동안에는 매우 큰 차이를 나타내어 자동측정기에 의한 조류의 분포 (종 조성 및 생물량)를 정확하게 설명하지 못하였다.

일반적으로 식물플랑크톤 현존량과 엽록소량과의 관계는 수중내 조류세포가 물 (Schreiber and Bilger, 1987; Schreiber and Bilger, 1993), 온도 (Larcher, 1994), 공기의 오염 (Saarinen and Liski, 1993), 영양염 (Mohammed et al., 1995) 등에 의해 간섭을 받지만, 시기에 따른 차이는 엽록소 a의 생산을 담당하는 조류의 종 조성 (Jiménez et al., 1987; Odate and Yanada, 1993)이나 환경적 요인 (Jiménez et al., 1987) 등에 의해 결정된다.

전체 조사기간 동안 자동측정기와 흡광광도법에 의해

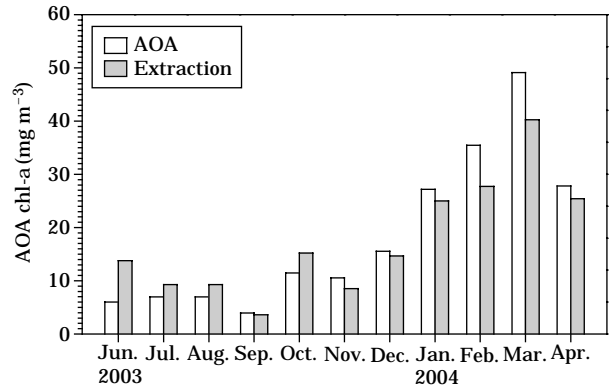


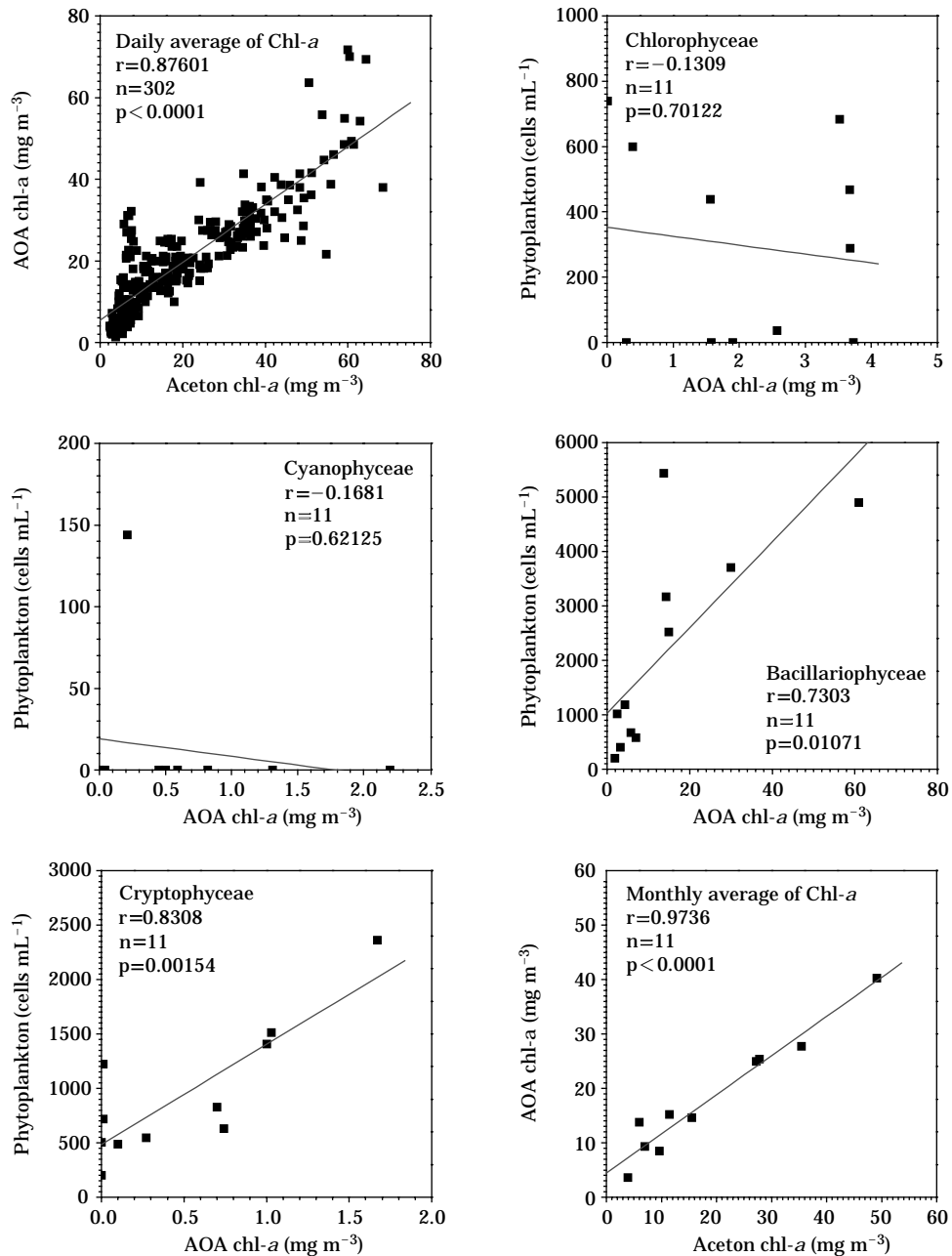
Fig. 5. The monthly average of chlorophyll a concentration measured by Algae Online Analyzer (AOA) and Acetone extraction method (Extraction).

각각 측정된 일일 평균 엽록소 농도는 서로 높은 상관성을 보였다 ( $r=0.87$ ,  $n=302$ ,  $p<0.001$ ) (Fig. 6). 한편, 자동측정기의 엽록소 농도는 높은 밀도를 보였던 규조 ( $r=0.73$ ,  $p=0.010$ )와 크립토조 ( $r=0.83$ ,  $p=0.00154$ )의 변동에 대해 매우 높은 상관을 보인 반면, 남조 ( $r=-0.16$ ,  $p=0.62$ )와 녹조 ( $r=-0.13$ ,  $p=0.70$ ) 등에 대해서는 상관성을 보이지 않았다 (Fig. 6). 이상의 결과는 자동측정기가 밀도가 높은 조류에 대해서는 비교적 정확히 표현하는 반면, 밀도가 낮은 남조와 녹조에 대해서는 분석능력이 낮은 것으로서 식물플랑크톤 밀도가 낮거나 청정수역에 대해서는 기술적 보완이 요구되었다.

자동측정기에 의한 각 조류분류군별 엽록소량과 조류 현존량과의 관계를 종합해 보면, 크립토조 *Cryptomonas*의 변화에 가장 민감하였고, 높은 밀도를 보였던 규조류는 전체적으로 유사한 변화를 보였으나, 급격한 현존량 증가시 자동측정법에 의한 엽록소의 변화는 나타나지 않았다. 따라서 수중내 식물플랑크톤의 밀도가 극히 낮은 시기 또는 빈영양호 수역에서는 자동측정기보다 고전적인 아세톤추출에 의한 흡광광도법에 의한 측정이 타당할 것으로 판단되었다.

## 2. 자동측정기의 적용 및 타당성 평가

연구결과, 자동측정기를 이용한 엽록소 측정은 흡광광도법과 상당히 높은 상관성을 보여 현장 적용 가능성을 나타냈다고 판단되었다. 그러나 식물플랑크톤 분류군의 변화를 표현하는 해상력은 조류의 계절적 천이로 인하여 기술적 한계를 보였다. 이는 자동측정기가 다양한 조류가 발산하는 형광색소를 어느 정도는 분리할 수 있다고 판단되지만 수중내 다양한 요소 (탁도를 포함한 환경요인)



**Fig. 6.** Relationship between chlorophyll-*a* concentrations measured by Algae Online Analyzer (AOA) and Acetone extraction method at daily and monthly, and between standing crop of each phytoplankton and AOA chlorophyll-*a* concentration.

가 존재할 경우 간섭으로 인하여 해상력 감소가 일어날 수 있으며 (D'sa *et al.*, 1997), 조류밀도가 현저히 감소할 경우 해상력 감소가 불가피한 것으로 판단되었다. 따라서 팔당호처럼 규조류가 우점하는 부영양호수에서의 자동측정기의 적용은 부분적으로 어느 정도 인정되지만 조류현존량의 변화가 심한 수역이나 현탁물질로 인한 간섭 등

이 예상되는 수역에서의 적용은 반드시 흡광광도법 및 조류 직접분석이 병행되어야 할 것으로 사료되었다. 뿐만 아니라 국내 측정기 관리에 관한 인식부족으로 고장 시 수리가 요구될 경우 신속히 대처할 수 있는 환경조성이 요구된다.

## 적 요

호수내 엽록소를 상시적으로 측정하기 위한 자동측정기(AOA)를 적용하고 타당성을 평가하기 위하여 서울-경기지역 상수원수인 팔당호 현장수가 직접 유입되는 제2 취수장에서 시료를 채취하였다. 분석은 조류 현존량 및 종 조성 분석, 흡광광도법과 자동측정기에 의한 엽록소 측정 등을 동시에 실시하여 그 결과를 비교 조사하고 현장 적용 가능성을 평가하였다. 연구결과, 조류분류군별 엽록소 기여도는 규조류가 83.6%로 가장 높았으며, 녹조류, 남조류, 크립토조류의 순으로 나타났다. 자동측정법과 흡광광도법에 의한 엽록소 농도는 전체적으로 매우 유의한 상관성을 보였으나( $r=0.87$ ,  $n=302$ ,  $p<0.001$ ), 시기 또는 종 조성에 따라 차이를 보였다. 자동측정기의 민감도는 크립토조( $r=0.83$ ,  $p=0.00154$ )와 규조( $r=0.73$ ,  $p=0.010$ )가 높았으며, 현존량이 낮은 녹조( $r=-0.13$ )와 남조( $r=-0.16$ )에 대해서는 상관성을 보이지 않았다. 결과적으로 엽록소 자동측정법은 고전적인 아세톤 추출 방법에 비해 신속성과 경제성은 매우 인정되지만 출현종의 밀도나 종 천이 등을 고려한 조류분석 및 엽록소 직접 측정 등이 병행되어야 할 것으로 사료되었다.

## 사 사

본 연구는 2004년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며(KRF-2004-050-C00018), 본 연구에 도움을 주신 한국수자원공사 팔당권 관리단 김대연, 이주한씨에게 감사드립니다. 아울러 원고의 수정 및 내용의 진보를 위해 도움을 주신 심사위원님들께 진심으로 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

공동수, 윤일병, 류재근. 1996. 팔당호의 물수지 및 수문특성, *육수지* **29**: 51-64.  
 김백호, 강윤호, 한명수. 2004. 겨울철 녹조발생 원인종 *Stephanodiscus hantzschii*의 생물학적제어를 위한 미소생물 제제의 적용실험, *육수지* **37**: 236-240.  
 김성수, 이경혁, 임재림, 이성열, 임재철, 전화조. 2005. 한강수계 담, 냄새의 효율적 처리를 위한 Pilot plant 운영연구. 한국물환경학회 공동심포지움. p. 27-30.  
 박해경, 정원화. 2003. 팔당호의 장기간 식물플랑크톤 발생추

이. 한국물환경학회지 **19**: 673-684.  
 신호상, 안혜실. 2003. 정수장에서 조류기인 냄새물질의 처리 효율 조사연구, 한국물환경학회지 **29**: 27-33.  
 채선화, 윤명희, 김성수, 이경혁, 안효원. 2004. 활성탄 흡착에 의한 용존 무기물질 및 맛, 냄새 제거. 대한상수도학회, 한국물환경학회 공동심포지움. A20~A26.  
 한명수, 이후량, 홍성수, 김영옥, 이 경, 최영길, 김세화, 유광일. 2002. 철원북방 DMZ내의 중영양호 토교저수지의 생태학적 연구 V. 경안천(팔당호)과 토교저수지에서 식물플랑크톤의 크기별 현존량과 Chlorophyll a의 계절 변동, 환경생물 **20**: 91-99.  
 환경관리공단. 2001. 한강수계 수질자동측정망 확대설치 타당성 조사.  
 환경관리공단. 2002. 낙동강·금강·영산강 수계의 수질자동측정망 확대설치 타당성 조사.  
 환경부. 1994. 수질자동측정망 구성 및 효율적 운영관리방안.  
 환경부. 1996. 수질오염공정시험법.  
 Dionogo, C.P., D.F Millie, A.M. Spaner and P.B. Johnsen. 1992. Spore and geosmin production by *Stretomyces Tandae* on several media. *J. Agric. Fd. Chem.* **40**: 122-125.  
 D'sa, E.J., S.E. Lohrenz, V.L. Asper and R.A. Walters. 1997. Time series measurements of chlorophyll fluorescence in the oceanic bottom boundary layer with a multisensor fiber-optic fluorometer. *J. Atm. Ocean. Techn.* **14**: 889-896.  
 Gerber, N.N. 1979. Volatile substances from actinomycetes, their role in the odor pollution of water. *CRC Crit. Rev. Microbiol.* **7**: 191-214.  
 Jensen, S.E. and C.J. Anders. 1994. Actinomycetes as a factor in odour problems affecting drinking water from the north Saskatchewan river. *Water Res.* **28**: 1398-1401.  
 Jiménez, F.J., B.B. Rodriguez and V. Rodriguez. 1987. Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in mediterranean costal water. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **105**: 161-173.  
 Larcher, W. 1994. Photosynthesis as a tool for indicating temperature stress events. p. 261-277. In: Schulze, E.D. and M.M. Caldwell, (Eds) *Ecophysiology of Photosynthesis*. Springer, Berlin.  
 Lichtenthaler, H.K., C. Buschmann and M. Knapp. 2005. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFd of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica* **43**: 379-393.  
 Mohammed, G.H., W.D. Binder and S. Gillies. 1995. Chlorophyll fluorescence: A review of its practical forestry

- applications and instrumentation. *Scan. J. For. Res.* **10**: 383-410.
- Odate, T. and M. Yanada. 1993. Phytoplankton carbon biomass estimated from the size-fractionated chl. *a* concentration and cell density in the northern coastal waters from spring bloom to summer. *Bull Plankton Soc. Japan* **39**: 127-144.
- Ounis, A., S. Evain, J. Flexas, S. Tosti and I. Moya. 2001. Adaptation of a PAM-fluorometer for remote sensing of chlorophyll fluorescence. *Photosynthesis Research* **68**: 113-120.
- Rascher, U., M. Liebig and U. Luttge. 2000. Evaluation of light-response curves of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. *Plant, Cell and Environment* **23**: 1397-1405.
- Saarinen, T. and J. Liski. 1993. The effect of industrial air pollution on chlorophyll fluorescence and pigment contents of Scots pine (*Pinus sylvestris*) needles. *Eur. J. For. Path.* **23**: 353-361.
- Schreiber, U. and W. Bilger. 1993. Progress in chlorophyll fluorescence research: major developments during the past years in retrospect. *Prog. Bot.* **54**: 151-173.
- Schreiber, U. and W. Bilger. 1987. Rapid assessment of stress effects on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements. p. 27-53. *In*: Tenhunen, J.D. and E.M. Catarino, (Eds) *Plant Response To Stress*, Springer-Verlag, Berlin.
- Schreiber, U. 1994. New Emitter-Detector-Cuvette Assembly for Measuring Modulated Chlorophyll Fluorescence of Highly Diluted Suspensions in Conjunction with the Standard PAM Fluorometer. *Journal of Biosciences* **49**: 646-655.
- Ulrich, S., F.M. Jochen, H. Anke and G. Rolf. 2002. New type of dual-channel PAM chlorophyll fluorometer for highly sensitive water toxicity biotests. *Photosynthesis Research* **74**: 317-330.

(Manuscript received 3 June 2006,  
Revision accepted 15 June 2006)