

군체 크기와 세포수 상관관계를 이용한 녹조 유발 남조류의 세포수 산정 방법

유경아* · 송미애¹ · 변명섭¹ · 이혜진² · 황순진³

국립환경과학원 한강물환경연구소, ¹국립환경과학원 물환경연구부
²국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ³건국대학교 보건환경과학과

The Calculation Method of Cell Count for the Bloom-forming (Green tide) Cyanobacterium using Correlation between Colony Area and Cell Number in Korea. You, Kyung-A*, Mi-Ae Song¹, Myeong-Seop Byeon¹, Hae-Jin Lee², Soon-Jin Hwang³ (Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gyeonggi-do 476-823, Korea; ¹Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea; ²Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gyeongsangbuk-do 717-873, Korea; ³Department of Environmental Health Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

Abstract Harmful Algal Bloom Alert System (HABAS) for drinking water supply is require to fast and accurate count as system monitoring of cyanobacterium occurrence and inducing a response action. We measured correlation between colony size and cell number including genus *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* which are targeted at HABAS, deducted from standard formula, and suggested calculation method from colony size to the number of cell. We collected cyanobacteria samples at Han River (Paldang reservoir), Nakdong River (Dalseong weir, Changnyeonghaman weir) and Geum River (Gobok reservoir) from August to October, 2013. Also, we studied correlation between colony size and cell number, and calculated regression equation. As a result of correlation of harmful cyanobacteria by genus, *Anabaena* spp. and *Aphanizomenon* spp. having trichome showed high correlation coefficients more than 0.93 and *Microcystis* spp. having colony showed correlation coefficient of 0.76. As a result of correlation of harmful cyanobacteria by species, *Anabaena crassa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *A. issatschenkoi*, *Oscillatoria curviceps*, *O. mougeotii* having trichome showed high correlation coefficients from 0.89 to 0.96, and *Microcystis aeruginosa*, *M. wessenbergii*, *M. viridis* having colony showed correlation coefficients from 0.76 to 0.88. Compared with other genus *Microcystis* relatively showed low correlation because even species and colony size are the same, cell density and cell size are different from *Microcystis* strains. In this study, using calculated regression might be fast and simple method of cell counting. From now on, we need to secure additional samples, and make a decision to study about other species.

Key words: cell number, colony size, trichome length, cyanobacteria, Harmful Algal Bloom Alert System (HABAS)

Manuscript received 20 November 2014, revised 24 December 2014,
revision accepted 26 December 2014

* Corresponding author: Tel: +82-31-770-7274, Fax: +82-31-773-2268,
E-mail: angelka@korea.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

서론

최근 들어 우리나라 하천이나 호수에서 남조류 과다 증식에 의한 녹조 현상이 빈번하게 발생하고 있다. 녹조(綠潮, green tide) 현상이란 수중의 식물플랑크톤이 대량으로 증식하여 수체가 녹색 또는 남색을 띠는 것을 말하는데, 우리나라 수계의 수질은 질소와 인이 풍부하기 때문에 적당한 온도와 빛만 있으면 자연스럽게 조류가 증식하고, 여기에 수온이 상승하고 체류시간이 길어지면 남조류가 기하급수적으로 증가한다(You *et al.*, 2013). 전 세계적으로 나타나고 있는 기후변화는 수온 증가와 더불어 강우 패턴의 변화로 예측되고 있으며 이는 결국 유해 남조류 대발생 또는 빈도의 증가를 야기시킨다(Elke and Ghadouani, 2012).

상수원 호수에서 남조류 과다증식은 심미적 또는 생태적 문제와 더불어, 수처리 공정에서의 여과지 폐쇄, 맛·냄새 물질 생성, 남조류 독소 문제 등 먹는물 공급에서부터 건강 위해성까지 여러 가지 문제점을 유발할 수 있다(Watson, 2004; van Apeldoorn *et al.*, 2007; Watson *et al.*, 2007; You *et al.*, 2013).

이에 따라 정부에서는 1998년부터 상수원 주요 호소에 대하여 조류 발생상황을 신속히 물관리 기관에 전파하여 조류 발생으로 인한 피해를 최소화하고 조류 독소로부터 먹는물의 안전성을 확보하고자 조류경보제를 시행하고 있으며, 2013년에는 낙동강 보 구간에도 확대 시범운영하고 있다. 조류경보제의 발령 기준은 클로로필 *a* 농도와 유해 남조류 세포수로 발령 단계에 따른 기준치(주의보 500 cells mL⁻¹, 경보 5,000 cells mL⁻¹, 대발생 1,000,000 cells mL⁻¹)가 설정되어 있는데, 조류 발생 정도에 따른 발령 단계를 즉각적으로 발령하고 대응하기 위해서는 남조류 세포를 신속하고 정확하게 계수하는 것이 무엇보다 중요하다(NIER, 2013).

그러나 남조류는 단일세포의 크기가 매우 작고 이러한 세포가 모여 구형 또는 사상형을 이루며 점액질에 둘러싸여 부정형의 군체(colony 또는 trichome)를 형성하기 때문에 정량분석을 위한 각각의 세포 계수는 많은 시간과 노력이 소모된다. *Anabaena*, *Oscillatoria*와 같은 사상체의 경우 사상체의 수를 세거나 사상체의 길이를 이용하여 간접적으로 세포수를 계산하는 방법을 사용하기도 하나(Ahn *et al.*, 2007), *Microcystis* 군체의 경우 보통 수천 개의 세포로 구성되어 있어 이를 계수하기 위해 작은 군체 또는 각각의 세포로 분해시키는 추가적인 과정이 필요하다(Lawton *et al.*, 1999). 따라서 군체를 형성하

는 남조류의 세포 계수는 분석자의 숙련도 또는 주관에 따라 상당한 차이가 나타날 수 있기 때문에 전통적인 세포 계수법을 대체할 더 간단하고 객관적인 방법이 필요하다(Ahn *et al.*, 2007).

Joung *et al.* (2006)은 *Microcystis* sp.를 대상으로 군체 크기와 세포수 간의 상관관계를 이용하여 군체 형성 남조류 계수에 대한 연구를 수행하였으며, 이 연구를 참고하여 Zhou *et al.* (2012)은 *Microcystis* (*M. flos-aquae*, *M. aeruginosa*, *M. wessenbergii*) 중에 대한 연구를 수행하였다. 두 연구는 *Microcystis* 속만을 대상으로 하였으며 군체의 형태를 구형으로 간주하여 길이를 측정해 부피로 환산하는 방법을 사용하였다.

본 연구에서는 조류경보제 발령기준 대상 남조류인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속을 대상으로 세포수 산정방법 연구를 수행하였다. 구형 또는 부정형의 *Microcystis* 속은 면적을 측정하고 사상형의 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* 속은 길이를 측정하여 종별 군체 크기와 세포수 간의 상관관계를 조사하였고, 종 및 속 별 회귀식을 도출하여 신속 정확한 남조류 세포수 계수의 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 지점

본 연구는 2013년 8월~10월까지 녹조가 발생한 시기

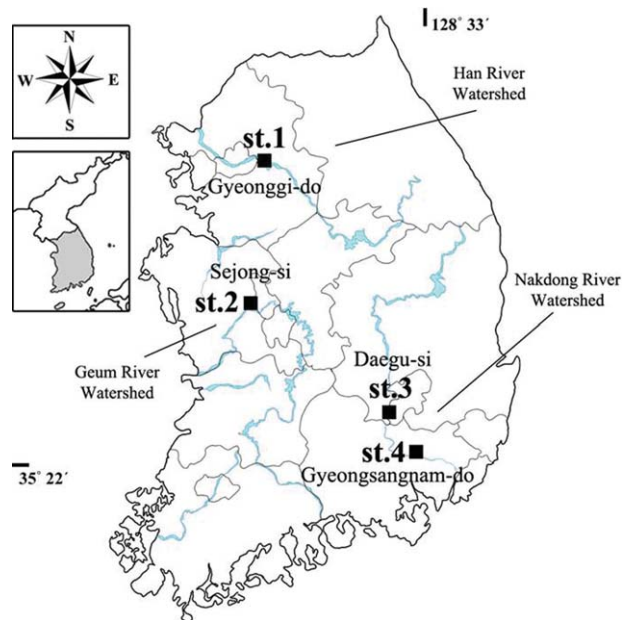


Fig. 1. The map showing the sampling sites.

에 한강 수계의 팔당호와 경안천(st.1), 금강 수계의 고북저수지(st.2), 낙동강 수계의 달성보(st.3)와 창녕함안보(st.4)에서 남조류 시료를 채집하였다(Fig. 1, Table 1). *Anabaena* 속은 한강 수계에서 7월 10일, 10월 10일, *Aphanizomenon* 속은 낙동강 수계에서 8월 1일, 9월 5~13일, *Microcystis* 속은 한강 수계에서 7월 10일, 낙동강 수계에서 9월 5일, 고북저수지에서 9월 21일, *Oscillatoria* 속은 한강 수계에서 7월 10일, 낙동강 수계에서 9월 5일에 채집하였다.

2. 분석방법

남조류 시료는 플랑크톤 네트(mesh size; 20 μm)를 사

용하여 채집하였으며, 검경을 위해 채집한 시료에 lugol's 용액을 넣어 최종농도 1~2%로 고정하였다. 1 mL의 Sedgwick-Rafter Chamber 또는 슬라이드 글라스를 이용하여 200~1,000배 하의 위상차현미경(Carl Zeiss, Microscope Axio Imager A2, Germany)으로 동정 및 계수하였고, 남조류의 동정은 한국담수조류도감(Chung, 1993), 영국담수조류도감(John *et al.*, 2002, 2011), 일본담수조류도감(Hirose, 1977) 등을 참고하였다. 조류경보제 발령 기준 대상 남조류인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속에 대해 *Anabaena* 1종, *Aphanizomenon* 2종, *Microcystis* 3종, *Oscillatoria* 2종의 군체 길이와 면적을 현미경프로그램 ZEN software 2011을 이용하여 측정하였다(Fig. 2). *Microcystis*의 경우 대부분

Table 1. Location of the sampling sites from August to October, 2013.

Watershed		Location		
Han River watershed	st.1	Paldang reservoir 1	Namyangju-si, Gyeonggi-do	37° 31'15.75"N 127° 17'7.01"E
		Paldang reservoir 2	Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do	37° 32'19.04"N 127° 18'45.82"E
		Kyeongan stream	Gwangju-si, Gyeonggi-do	37° 27'56.31"N 127° 17'55.91"E
Geum River watershed	st.2	Gobok reservoir	Yeonsoo-myeon, Sejong-si	36° 36'29.04"N 127° 14'9.82"E
Nakdong River watershed	st.3	Dalseong weir	Dalseong-gun, Daegu-si	35° 44'0.66"N 128° 25'5.32"E
	st.4	Changnyeong-haman weir	Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	35° 22'47.91"N 128° 33'11.71"E

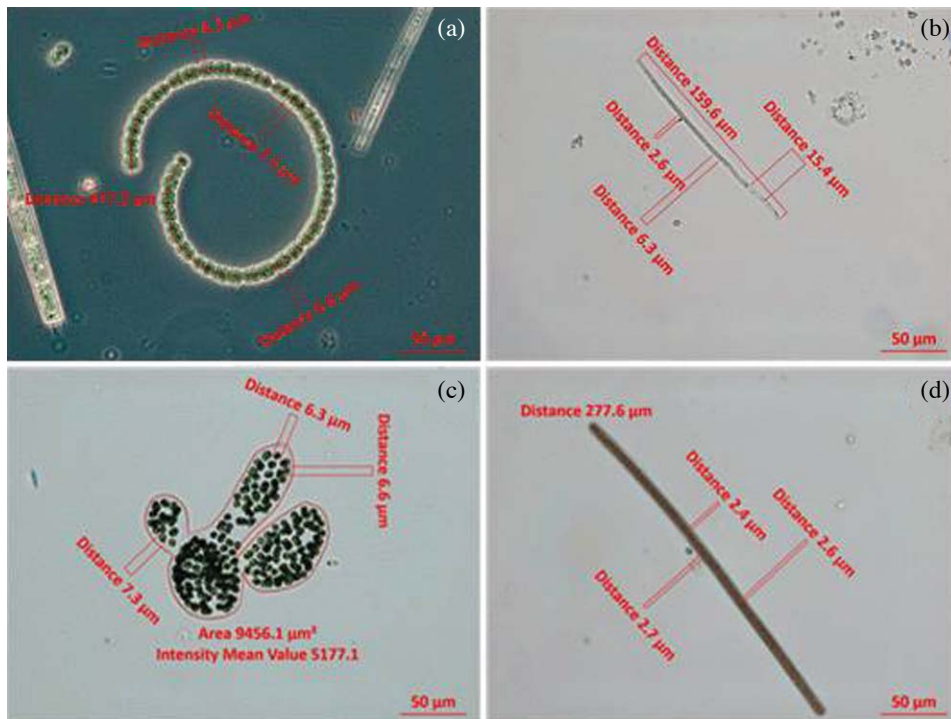


Fig. 2. Microscopic photographs for measurement of harmful cyanobacteria size using ZEN software 2011. (a) *Anabaena crassa*, (b) *Aphanizomenon flos-aquae*, (c) *Microcystis wesenbergii*, (d) *Oscillatoria mougeotii*.

모양이 불규칙하고(John *et al.*, 2011) 여러 군체가 붙어 있는 경우가 많기 때문에 원형으로 간주하기에 어려움이 있어 면적을 측정하는 방법을 사용하였다(NIER, 2009).

결과 및 고찰

1. 남조류 *Microcystis*의 군체 면적과 세포수 상관관계

조류경보제 발령 기준 대상 남조류 중 유일하게 구형에 가까운 *Microcystis* 속의 여러 종 중 국내 수계에서 흔하게 출현하는 *M. aeruginosa* (n=91), *M. wessenbergii* (n=30), *M. viridis* (n=6)를 대상으로 군체 면적과 세포수를 측정하였다. *Microcystis* 종별 군체 면적 및 세포수 간의 상관분석 결과, *M. aeruginosa*의 r^2 값은 0.761, *M. wessenbergii*의 r^2 값은 0.824였으며, *M. viridis*의 r^2 값은 0.887로 높은 상관성을 보였다(Fig. 3). 이는 NIER (2009)의 연구에서 *M. aeruginosa* ($r^2=0.828$, n=250)와

*M. wessenbergii*의 결과($r^2=0.849$, n=209)와 유사하였다. 군체 면적과 세포수 상관식의 기울기는 *M. wessenbergii* (0.012)가 *M. aeruginosa* (0.348)보다 적게 나타났는데, *M. wessenbergii*의 세포 크기가 *M. aeruginosa*보다 더 크며 점액질 내의 세포가 덜 조밀하게 구성되어 있기 때문으로 판단된다(NIER, 2009). *Microcystis* 군체의 부피를 이용하여 분석한 Zhou *et al.* (2012)의 연구에서도 *M. aeruginosa* ($r^2=0.742$, n=61), *M. wessenbergii* ($r^2=0.760$, n=63)의 결과가 본 연구와 유사하게 군체 크기와 세포수의 상관성이 높은 것으로 조사되었다(Table 2). 상관분석을 이용하여 회귀식을 도출해 낸 결과는 다음과 같으며, Y는 군체 1개당 세포수, X는 측정된 군체 면적을 나타낸다.

$$Y=0.035X-2.594 \text{ (Microcystis aeruginosa)}$$

$$Y=0.012X+42.862 \text{ (Microcystis viridis)}$$

$$Y=0.012X-0.468 \text{ (Microcystis wessenbergii)}$$

2. 사상형 남조류의 군체 길이와 세포수 상관관계

조류경보제 발령 기준 대상 남조류 중 사상형 남조류

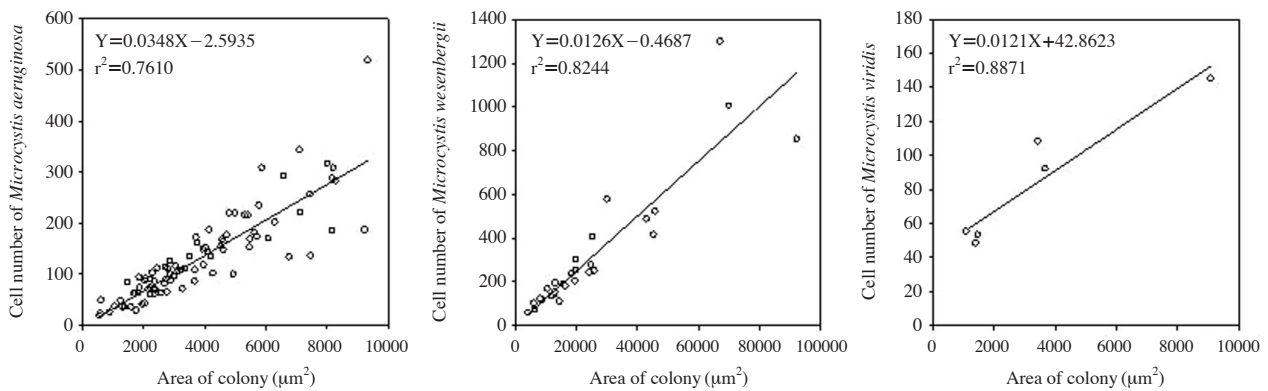


Fig. 3. Regression equation between colony area and cell number of colonial cyanobacteria (*Microcystis* spp.).

Table 2. This study and reference about correlation between colony area (or volume) and cell number of *Microcystis* spp. (x: colony size (μm^2), y: cell number).

Harmful cyanobacteria	Equation	r^2	P value	Sample No.	Colony size	Reference
<i>M. aeruginosa</i>	$y=0.0348x-2.5935$	0.761	<0.0001	91	583~9,342 μm^2	This study
<i>M. viridis</i>	$y=0.0121x+42.8623$	0.887	<0.0001	6	1,103~9,096 μm^2	This study
<i>M. wessenbergii</i>	$y=0.012x-0.468$	0.824	<0.0001	30	4,247~92,263 μm^2	This study
<i>M. aeruginosa</i>	$y=0.0489x+344.49$	0.828	<0.0001	250	275~143,894 μm^2	NIER, 2009
<i>M. wessenbergii</i>	$y=0.0216x-6.6215$	0.849	<0.0001	209	406~107,170 μm^2	NIER, 2009
<i>M. ichthyobalbe</i>	$y=0.0318x+1.1731$	0.847	<0.0001	37	849~47,789 μm^2	NIER, 2009
<i>M. flos-aquae</i>	$y=0.0022x+517$	0.817	<0.01	58	-	Zhou <i>et al.</i> , 2012
<i>M. aeruginosa</i>	$y=0.0015x+1122$	0.742	<0.01	61	-	Zhou <i>et al.</i> , 2012
<i>M. wessenbergii</i>	$y=0.0013x+1489$	0.760	<0.01	63	-	Zhou <i>et al.</i> , 2012
<i>M. sp.</i>	$y=0.00195x+1731$	0.727	<0.0001	20	-	Joung <i>et al.</i> , 2006

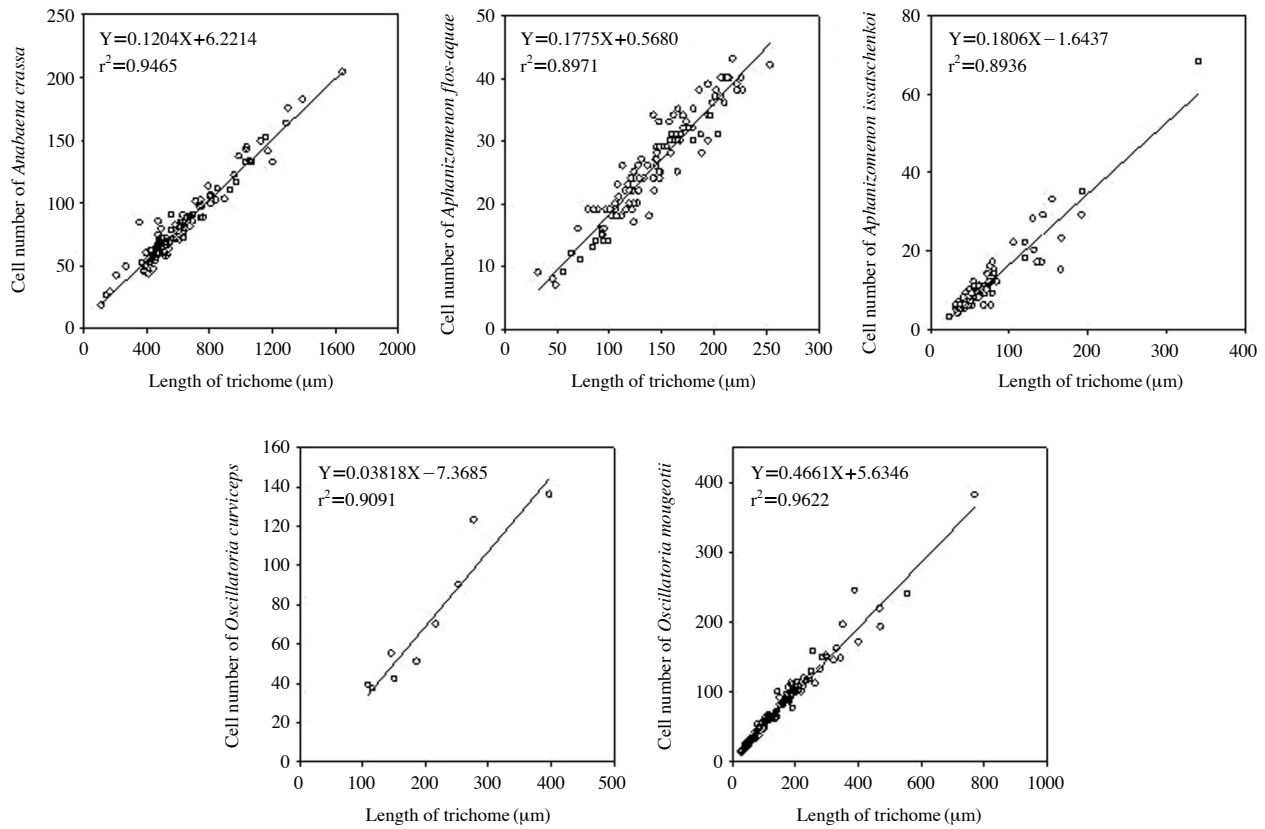


Fig. 4. Regression equation between trichome length and cell number of filamentous cyanobacteria (*Anabaena* spp., *Aphanizomenon* spp., *Oscillatoria* spp.).

Table 3. This study and reference about correlation between trichome length and cell number of *Anabaena* spp., *Aphanizomenon* spp. And *Oscillatoria* spp. (x: trichome length (µm), y: cell number).

Harmful cyanobacteria	Equation	r ²	P value	Sample No.	Trichome length	Reference
<i>Anabaena crassa</i>	$y=0.12x+6.221$	0.946	<0.0001	97	115~1,649 µm	This study
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	$y=0.1775x+0.568$	0.897	<0.0001	112	32~254 µm	This study
<i>A. issatschenkoi</i>	$y=0.18x-1.643$	0.893	<0.0001	75	24~342 µm	This study
<i>Oscillatoria curviceps</i>	$y=0.381x-7.368$	0.909	<0.0001	9	110~398 µm	This study
<i>O. mougeotii</i>	$y=0.466x+5.634$	0.962	<0.0001	101	28~772 µm	This study
<i>Anabaena circinalis</i>	$y=0.1162x+1.5354$	0.977	<0.0001	146	12~990 µm	NIER, 2009
<i>A. macrospora</i>	$y=0.1129x+2.8673$	0.962	<0.0001	92	42~1,037 µm	NIER, 2009
<i>A. spiroides</i>	$y=0.1524x-2.2565$	0.981	<0.0001	78	31~2,373 µm	NIER, 2009
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	$y=0.1931x+0.8779$	0.932	<0.001	94	15~143 µm	NIER, 2009
<i>Oscillatoria limosa</i>	$y=0.5043x$	0.842	<0.0001	144	46~594 µm	NIER, 2009

인 *Anabaena* 속, *Aphanizomenon* 속, *Oscillatoria* 속의 여러 종 중 국내 수계에서 출현 빈도가 높은 *Anabaena crassa* (n=97), *Aphanizomenon flos-aquae* (n=112), *A. issatschenkoi* (n=75), *Oscillatoria curviceps* (n=9), *O. mougeotii* (n=101)를 대상으로 군체 길이와 세포수를 측정하였다. 사상형 남조류의 중별 군체 길이와 세포수 간의 상관분석 결과 *A. crassa*의 r²값은 0.946, *A. flos-*

*aquae*의 r²값은 0.897, *A. issatschenkoi*의 r²값은 0.893, *O. curviceps*의 r²값은 0.909, *O. mougeotii*의 r²값은 0.962로 나타나 매우 높은 상관성을 보였다(Fig. 4). NIER (2009)의 연구결과에서도 *Aphanizomenon flos-aquae* (r²=0.932, n=94), *Anabaena* spp. (r²=0.962~0.981, n=316), *Oscillatoria limosa* (r²=0.842, n=144)가 본 연구와 유사하게 매우 높은 상관성을 나타냈다(Table

3). 상관분석을 이용하여 회귀식을 도출해 낸 결과는 다음과 같으며, Y는 사상체 1개당 세포수, X는 측정된 사상체 길이를 나타낸다.

$$Y=0.120X+6.221 \text{ (Anabaena crassa)}$$

$$Y=0.178X+0.568 \text{ (Aphanizomenon flos-aquae)}$$

$$Y=0.180X-1.643 \text{ (Aphanizomenon issatschenkoi)}$$

$$Y=0.381X-7.368 \text{ (Oscillatoria curviceps)}$$

$$Y=0.466X+5.634 \text{ (Oscillatoria mougeotii)}$$

본 연구에서는 현미경의 프로그램을 사용하여 남조류의 불규칙한 면적 또는 곡선 등의 길이를 직접적으로 측정하였다(Fig. 2). 그러나 이러한 software 사용이 불가능한 경우에는 사상형 남조류의 경우 종에 따라 곡선으로 휘어지는 등의 다양한 형태를 갖기 때문에 현미경상 직접적으로 사상체의 길이를 측정하는 것은 어렵다(Walsby and Avery, 1996). 이에 따라 Olson의 사상형 남조류 길이 측정법(Olson, 1950)이 개발되어 자연 상태(Gibson, 1975; Booker and Walsby, 1981; Oliver and Walsby, 1984)와 배양 상태(Konopka *et al.*, 1978; Konopka, 1982)에서의 사상형 남조류에 대한 길이 측정법으로 사용되

었으며, 이후에는 컴퓨터 이미지 프로그램을 이용하여 자동으로 분석하는 방법이 고안되기도 하였다(Walsby and Avery, 1996). 이러한 기존의 연구 방법을 적용한다면 software 대안으로 사상형 남조류의 길이 측정도 가능할 것으로 보인다.

3. 조류경보제 발령 단계별 남조류 군체수 산정

앞서 분석한대로 군체 크기와 세포수의 상관성이 남조류 속별로 중간 차이가 크지 않기 때문에 속 단위로 묶어 상관분석을 하였다. *Microcystis* 속(n=127)의 상관분석 결과 r²값은 0.765, *Aphanizomenon* 속(n=187)의 r²값은 0.931, *Oscillatoria* 속(n=111)의 r²값은 0.911로 나타났으며, *Anabaena* 속은 *A. crassa* 단일 종만 조사되어 제외하였다(Figs. 4, 5). 사상형 남조류가 구형 남조류보다 상관성이 더 높았는데 이는 본 연구와 동일한 방법으로 사상형(r²=0.84~0.98)과 구형(r²=0.83~0.85) 남조류를 조사한 연구 결과나 *Microcystis*를 대상으로 군체 면적 대신 부피를 이용하여 세포수와의 상관분석을 한 연구 결과(r²=0.73~0.81)와도 일치하였다(Joung *et al.*, 2006; NIER, 2009; Zhou *et al.*, 2012). *Microcystis* 속

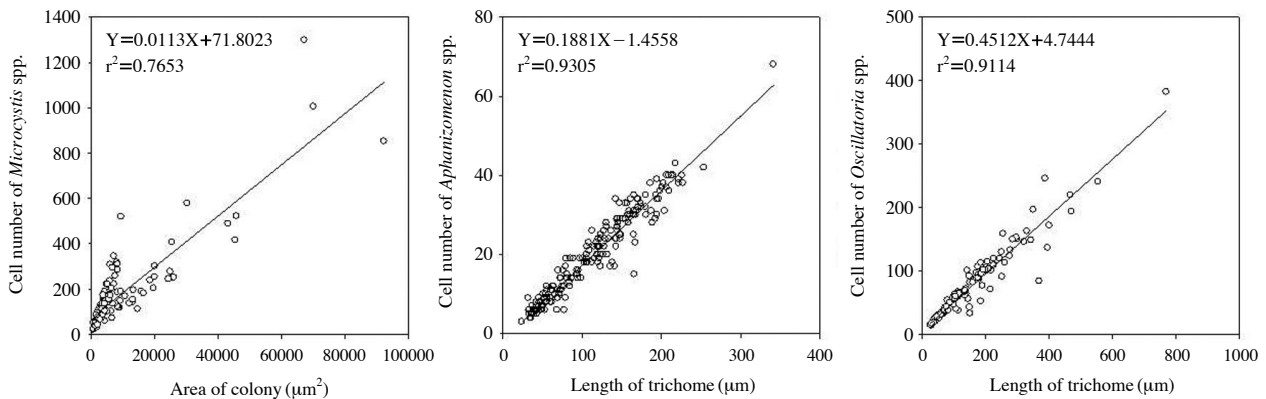


Fig. 5. Regression equation between colony area (or trichome length) and cell number in genus of harmful cyanobacteria.

Table 4. The calculation of cyanobacterial colony (or trichome) numbers by HABAS (harmful algal bloom alert system).

Harmful cyanobacteria	Average colony size (µm ²) or trichome length (µm)	Average cell number	Colony (or trichome) number		
			Caution (500 cells mL ⁻¹)	Warning (5,000 cells mL ⁻¹)	Outbreak (1,000,000 cells mL ⁻¹)
<i>Anabaena crassa</i>	650	84	6	59	11,838
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	143	26	19	192	38,422
<i>A. issatschenkoi</i>	75	12	42	423	84,555
<i>Microcystis aeruginosa</i>	3,815	130	4	38	7,684
<i>M. viridis</i>	3,368	84	6	60	11,976
<i>M. wesenbergii</i>	24,979	313	2	16	3,192
<i>Oscillatoria curviceps</i>	206	71	7	70	13,997
<i>O. mougeotii</i>	169	85	6	59	11,828

의 군체 면적과 세포수 간 상관성이 사상형 남조류보다 낮은 이유는 동일한 종, 동일한 크기의 군체라도 *Microcystis* strain에 따라 점액질 내의 세포 밀집 정도와 세포 크기에 차이가 있기 때문이다(Chen *et al.*, 2009). 군체 크기와 세포수 상관관계는 남조류 종과 속 간에 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 속 단위로 구분하여 회귀식을 도출하였다.

$$Y=0.011X+72 \text{ (Microcystis spp.)}$$

$$Y=0.452X+5 \text{ (Oscillatoria spp.)}$$

$$Y=0.188X-1 \text{ (Aphanizomenon spp.)}$$

본 연구를 통해 도출된 회귀식을 이용하여 각각의 군체 면적(또는 길이)을 측정하고 세포수로 환산하는 방법이 정확할 수 있으나, 우선적으로 분석용 software가 없으면 측정이 불가능하고 또한 불규칙적인 군체 면적 또는 곡선의 사상체 길이를 측정하는 것 역시 세포수 계수 만큼 많은 시간이 소요될 수 있다. 따라서 조류경보제 발령 단계별 세포수 기준에 맞춰 군체수를 산정하였다(Table 4). 이는 불규칙적인 군체를 형성하는 *Microcystis* 속과 세포 사이 격막의 구분이 명확하지 않은 *Oscillatoria* 속, *Aphanizomenon* 속의 세포 계수가 어렵고 분석자 간의 편차가 클 수 있기 때문에 세포수 대신 군체수로 대체하여 계수할 수 있도록 제시하였다.

호주(Hötzel and Croome, 1999)와 핀란드(Finish Environment institute, 2003) 등 남조류 대발생이 빈번하여 이를 관리하고 있는 나라에서는 구형 또는 사상형의 군체를 형성하는 남조류 계수 시에 종별 군체당 평균 세포수를 조사, 총 세포수로 환산하는 방법을 이용하여 군체를 계수하고 있다. 또한 군체가 큰 경우에는 군체 일부의 세포를 계수한 뒤 전체 군체 크기를 예측하는 방법도 제시하고 있다. 국내에서도 조류경보제 발령 기준으로 유해 남조류 세포수를 제시하고 있기 때문에 남조류의 군체당 세포수 산출방법에 대한 연구를 통해 합리적인 남조류 계수법 제시가 필요하다고 하겠다(NIER, 2008). 이를 위해서는 본 연구 결과와 더불어 국내 수계에 출현하는 남조류의 종별 군체 크기, 군체당 세포수에 대한 조사 연구가 많이 수행되어 표준화된 값의 도출이 우선되어야 할 것이다.

적 요

국내 상수원을 대상으로 시행하고 있는 조류경보제는 남조류 발생 현황을 취·정수장 등 물관리 기관에 전파

하여 대응조치를 유도하는 제도로 신속하고 정확한 남조류 계수를 필요로 한다. 따라서 조류경보제 발령 기준 대상 남조류인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속의 군체 크기와 세포수의 상관관계를 조사하고 회귀식을 도출하여 군체 크기로 세포수를 계산할 수 있는 방법을 알아보고자 하였다. 2013년 8월부터 10월까지 남조류가 과다증식한 시기에 한강(팔당호), 낙동강(달성보, 창녕함안보) 및 금강(고북저수지)의 대표지점에서 남조류 시료를 채집하였으며, 조류경보제 발령 기준 대상 남조류 속의 종별 군체 크기와 세포수의 상관관계를 조사하여 종 및 속별 회귀식을 산정하였다. 남조류의 속별 상관분석 결과는 사상형인 *Anabaena*와 *Aphanizomenon*의 r^2 값이 0.93 이상으로 높은 상관성을 보였으며 구형의 *Microcystis*는 0.76의 상관계수 값을 나타냈다. 종 별 상관분석 결과 사상형 남조류 *Anabaena crassa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *A. issatschenkoi*, *Oscillatoria curviceps*, *O. mougeotii*는 r^2 값이 0.89~0.96의 범위로 높은 상관성을 나타냈으며, 구형인 *Microcystis aeruginosa*, *M. wessenbergii*, *M. viridis*는 0.76~0.88의 상관계수 값을 나타냈다. 다른 속에 비해 상대적으로 *Microcystis*의 상관성이 낮게 나타난 이유는 동일한 종, 동일한 크기의 군체라도 *Microcystis* strain에 따라 점액질 내의 세포 밀집 정도와 세포 크기에 차이가 있기 때문이다. 본 연구 결과 도출한 회귀식을 이용하여 군체 크기 측정값을 세포수로 환산하는 방법이 기존의 세포 계수법과 비교할 때 신속하고 간편할 것으로 보인다. 향후 남조류 종별 더 정확한 회귀식을 도출하기 위해서는 많은 시료수 확보와 더불어 다른 종들에 대한 조사 연구가 진행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Ahn, C.Y., S.H. Joung, S.K. Yoon and H.M. Oh. 2007. Alternative Alert System for Cyanobacterial Bloom, Using Phycocyanin as a Level Determinant. *The Journal of Microbiology* 45(2): 98-104.
- Booker, M.J. and A.E. Walsby. 1981. Bloom formation and stratification by a planktonic blue-green alga in an experimental water column. *British Phycological Journal* 16(4): 411-421.
- Chen, W., L. Peng, N. Wan and L.R. Song. 2009. Mechanism study on the frequent variations of cell-bound microcystins in cyanobacterial blooms in Lake Taihu: implications for water quality monitoring and assessments. *Chemosphere* 77(11): 1585-1593.

- Chung, J. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea, Academy Publishing Company, Seoul, 496pp.
- Elke, S.R. and A. Ghadouani. 2012. Effects of rainfall patterns on toxic cyanobacterial blooms in a changing climate: Between simplistic scenarios and complex dynamics. *Water Research* **46**: 1372-1393.
- Finnish Environment Institute. 2003. Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary and International Lakes. 100pp.
- Gibson, C.E. 1975. Cyclomorphosis in natural populations of *Oscillatoria redekei* Van Goor. *Freshwater Biology* **5**(3): 279-286.
- Hirose, H.M., T. Akiyama, K. Imahori, H. Kasaki, S. Kumana, H. Kobayashi, E. Takahashi, T. Tsumura, M. Hirano and T. Yamagishi. 1977. Illustration of the Japanese Freshwater Algae. Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan, 932pp.
- Hötzel, G. and E. Croome. 1999. A phytoplankton Methods Manual for Australian Freshwaters. Land and Water Resources Research and Development Corporation, 58pp.
- John, D.M., B.A. Whitton and A.J. Brook. 2002. The freshwater algae flora of the British Isles: An identification guide to Freshwater and Terrestrial Algae. Cambridge University Press and The Natural History Museum, Cambridge, 720pp.
- John, D.M., B.A. Whitton and A.J. Brook. 2011. The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge University Press, Cambridge, 878pp.
- Joung, S.H., C.J. Kim, C.Y. Ahn, K.Y. Lang, S.M. Boo and H.M. Oh. 2006. Simple method for a cell count of the colonial cyanobacterium, *Microcystis* sp. *The Journal of Microbiology* **44**(5): 562-565.
- Konopka, A. 1982. Buoyancy regulation and vertical migration by *Oscillatoria rubescens* in Crooked Lake, Indiana. *British Phycological Journal* **17**(4): 427-442.
- Konopka, A., T.D. Brock and A.E. Walsby. 1978. Buoyancy regulation by planktonic blue-green algae in Lake Mendota, Wisconsin. *Archiv für Hydrobiologie* **83**(4): 524-537.
- Lawton, L., B. Marsalek, J. Padisák and I. Chorus. 1999. Determination of cyanobacteria in the laboratory. p. 347-367. *In: Toxic Cyanobacteria in Water* (Chorus, I. and J. Bartram, eds.). E & FN Spon, London, UK.
- National Institute of Environmental Research. 2008. Report on implementing the algae alert system 2008. National Institute of Environmental Research, 176pp.
- National Institute of Environmental Research. 2009. Study on the alert criteria of harmful algal bloom alert system (II). National Institute of Environmental Research, 197pp.
- National Institute of Environmental Research. 2013. Research on implementing the harmful algal bloom alert system for weir in the Nakdong River watershed. National Institute of Environmental Research.
- Oliver, R.L. and A.E. Walsby. 1984. Direct evidence for the role of light-mediated gas vesicle collapse in the buoyancy regulation of *Anabaena flos-aquae* (cyanobacteria). *Limnology and Oceanography* **29**(4): 879-886.
- Olson, F.C.W. 1950. Quantitative estimates of filamentous algae. *Translations of the American Microscopical Society* **69**(3): 272-279.
- Van Apeldoorn, M.E., H.P. van Egmond, G.J.A. Speijers and G.J.I. Bakker. 2007. Toxins of cyanobacteria. *Molecular Nutrition & Food Research* **51**: 7-60.
- Walsby, A.E. and A. Avery. 1996. Measurement of filamentous cyanobacteria by image analysis. *Journal of Microbiological Methods* **26**(1-2): 11-20.
- Watson, S.B. 2004. Aquatic taste and odor: a primary signal of drinking-water integrity. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* **67**: 1779-1795.
- Watson, S.B., M. Charlton, Y.R. Rao, T. Howell, J. Ridal, B. Brownlee, C. Marvin and S. Millard. 2007. Off flavours in large waterbodies: physics, chemistry and biology in synchrony. *Water Science and Technology* **55**: 1-8.
- You, K.A., M.S. Byeon, S.J. Youn, S.J. Hwang and D.H. Rhew. 2013. Growth characteristics of blue-green algae (*Anabaena spiroides*) causing tastes and odors in the North-Han River, Korea. *Korean Journal of Limnology* **46**(1): 135-144.
- Zhou, Q., W. Chen, H. Zhang, L. Peng, L. Liu, Z. Han, N. Wan, L. Li and L. Song. 2012. A flow cytometer based protocol for quantitative analysis of bloom-forming cyanobacteria (*Microcystis*) in lake sediments. *Journal of Environmental Sciences* **24**(9): 1709-1716.