환경영향평가 Vol. 29, No. 1(2020), pp.37~44 J. Environ. Impact Assess. 29(1): 37~44(2020) ISSN 1225-7184
https://doi.org/10.14249/eia.2020.29.1.37

Research Paper

Chlorophyll-a의 히스토그램 분석을 통한 녹조발생 우심지역 분류

이새로미 · 안창혁 · 박재로
한국건설기술연구원 국토보전연구본부

Classification of the Algal Monitoring Points by Histogram Analysis of Chlorophyll-a

Saeromi Lee · Chang Hyuk Ahn · Jae Roh Park
Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약: 본 연구에서는 Chlorophyll-a (Chl-a)값을 빈도분석인 히스토그램(histogram)을 통해 녹조관리가 필요한 지점을 분류 하고자 하였다. 누적도수분포곡선(ogive curve)에 따라 지점별 녹조발생정도를 분석하였고, 히스토그램의 형태에 따라 관리지점을 3단계로 분류하였다. 4대강 중 한강에서 저농도의 Chl-a가 가장 많이 나타났고, 금강과 영산강 지점에서 높은 농도의 Chl-a가 빈번하게 나타났다. 히스토그램의 패턴에 따라 녹조의 관리 정도를 분류 할 수 있었는데, 한강의 경우 집중관리가 필요한 지점이 나타나지 않았고, 금강과 영산강은 대부분의 지점에서 녹조관리가 필요한 것으로 나타났다. 마지막으로 낙동강은 중류 및 하류 지점부터 녹조관리가 필요한 지점으로 분류되었다. 본 연구결과를 통해 빈도분석이 녹조발생의 우심지역 판단의 보조지표 활용 가능성 여부를 확인하였다.

주요어: 녹조, 히스토그램, 엽록소-a, 수질측정망, 녹조우심지역

Abstract: In this study, we analyzed the value of Chl-a by histogram to classify the points where algal management is required. The degree of algal bloom by point was analyzed using the ogive curve, and the algal control points were classified into three stages according to the shape of the frequency distribution table. Of the four major rivers, low concentration of Chl-a appeared most frequently in the Han River, while the high concentration of Chl-a was frequently found at the points of the Geum and the Yeongsan Rivers. In the case of the Han River, no apprehensive areas were found that require intensive management, while most points on the Geum and the Yeongsan Rivers required algal management. Finally, the Nakdong River basin was identified as points requiring algal management from the mid to downstream. The results of this study have confirmation of the possibility that the frequency distribution could be used as a supplementary indicator to express the algal bloom.

Keywords: Algal bloom, Histogram, Chlorophyll-a, Water quality measuring system, Algal apprehensive area

First Author: Saeromi Lee, Tel: +82-31-910-0059, E-mail: saeromi@kict.re.kr, ORCID: 0000-0003-3352-5607
Corresponding Author: Jae Roh Park, Tel: +82-31-910-0302, E-mail: jrpark@kict.re.kr, ORCID: 0000-0002-0961-2797
Co-Author: Chang Hyuk Ahn, Tel: +82-31-910-0743, E-mail: chahn@kict.re.kr, ORCID: 0000-0002-6761-0693

Received: 30 October, 2019. Revised: 9 December, 2019. Accepted: 16 December, 2019.

www.kci.go.kr

I. 서 론

녹조발생은 하천환경 및 기후변화 등 다양한 원인으로 지속적인 사회적 문제로 인식되고 있으며 이와 관련된 연구는 지속적으로 증가하고 있다(Kim et al. 2019a; Kim et al. 2019b, Kim et al. 2019c; Park et al. 2019). 최근에는 고도산화처리(Nam 2019), 천연소재활용 녹조제어제(Jung et al. 2019), 굴패각(Yang et al. 2019) 등 다양한 새로운 조류관리기술이 개발되거나 검증과정에 있지만, 이러한 기술들이 모두 현장에 적용되지는 않으며 실제 활용되는 기술은 일부에 불과하다.

녹조관리에 있어 다양한 한계점을 극복하기 위해서는 현장에서 발생하는 발생 정도를 파악하고, 이에 맞는 기술을 현장에 적절하게 적용 하는 것이 무엇보다 중요하다. 최근 정부 (2019) 에서 발표한 "여름철 녹조 및 고수온·적조 대책"은 녹조가 집중적으로 발생 하는 곳을 선별하여 중점 관리하는 내용이 포함되어 있으며, 관련하여 Byeon et al.(2016)은 다양한 수처리기술에 대해 녹조발생정도에 따른 기술 적용안을 제시한 바 있다. 또한, 한국수자원공사(2016)에서는 "녹조띠"가 상습 발생하는 우심지역을 총 5가지 유형(지류유입부, 점오염원 유입부, 상수원 취수시설, 만곡/정체구역, 구조물 앞 정체부)으로 선정하여 관리하는 것을 제안하였다. 이외에도 환경부에서는 실시간수질지수(real time water quality indx, RTWQI)를 활용하여 국내 수질을 공간적으로 평가하고 실시간수질정보시스템을 통해 자료를 공개하고 있다.

하지만 이러한 방법들은 "녹조띠" 발생 유무를 육안으로 모니터링 해야 하며 실시간수질지수 기법의 경우 녹조발생을 정확히 대변할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 이러한 한계점을 극복하고자 본 연구에서는 지속적으로 수집되고 있는 수질측정망 자료 중에서도, 조류 색소를 나타내는 대표 항목인 Chl-a의 발생빈도를 통계분석 함으로써 녹조발생 우심지역의 선정 및 분류를 시도하였다. 히스토그램(histogram)은 *Spirulina platensis*의 내부에 있는 나노입자 크기별 분석(Kalabegishvili et al. 2012), 조류 대발생(algal bloom) 지점의 매개변수 비교분석에 활용된 사례가 있으며(Krawczyk et al. 2004) 이외에도 효율적인 패턴 분석이 가능하여 많은 분석 분야에 활용되고 있다. 본 연구에서는 주요 수질측정망 관측 지점의 Chl-a 농도범위에 따른 빈도를 시각적으로 제시하고, 기존의 농도분석과는 다른 히스토그램 패턴 분석을 실시하여 우심지역 구분에 대한 검토를 하였다.

II. 연구방법

1. Chl-a data 수집

Chl-a 값의 취득은 환경부 물환경정보시스템의 수질측정망 자료를 활용하였으며 국내 4대강 수계의 주요지점을 대상으로 하였다(Figure 1). 각 수계 및 주요지점은 한강(본류 10, 지류 4), 금강(본류 7, 지류 4), 영산강(본류 6, 지류 2), 낙동강(본류 14, 지류 4)로 구분하였으며 공간적 구분을 위해 Figure 1과 같이 모식화 하였다. Data 수집 기간은 2008년에서 2019년까지 4대강 사업이 시작된 기점을 토대로 분석하였다. 분석에 앞서 수계별로 조류경보제가 발령되거나 녹조가 빈번히 발생한 대표지점(algal bloom points)을 선별하였는데, 한강은 "영등포", 금강은 "부여", 영산강은 "죽산", 낙동강은 "금곡"이 이에 해당된다.

2. 히스토그램 분석

히스토그램은 측정값이 존재하는 범위를 몇 개의 구간으로 나누고, 각 구간에 속하는 측정값의 출현도수를 그래프로 표현한 것이므로 패턴 분석에 용이하다. Chl-a 값의 농도 기준은 WHO (world health organization)의 "Thresholds of risk associated with potential exposure to cyanotoxins"를 참고하였다(Table 1). WHO에 따르면 Chl-a를 low, moderate, high risk of exposure의 3단계로 나누고 있는데 이 기준을 근거로 측정된 Chl-a 값의 히스토그램을 각 지점마다 작성하였으며 각 지점간의 조류발생 상대비교를 위하여 누적도수분포곡선(ogive curve)을 활용하였다.

www.kci.go.kr

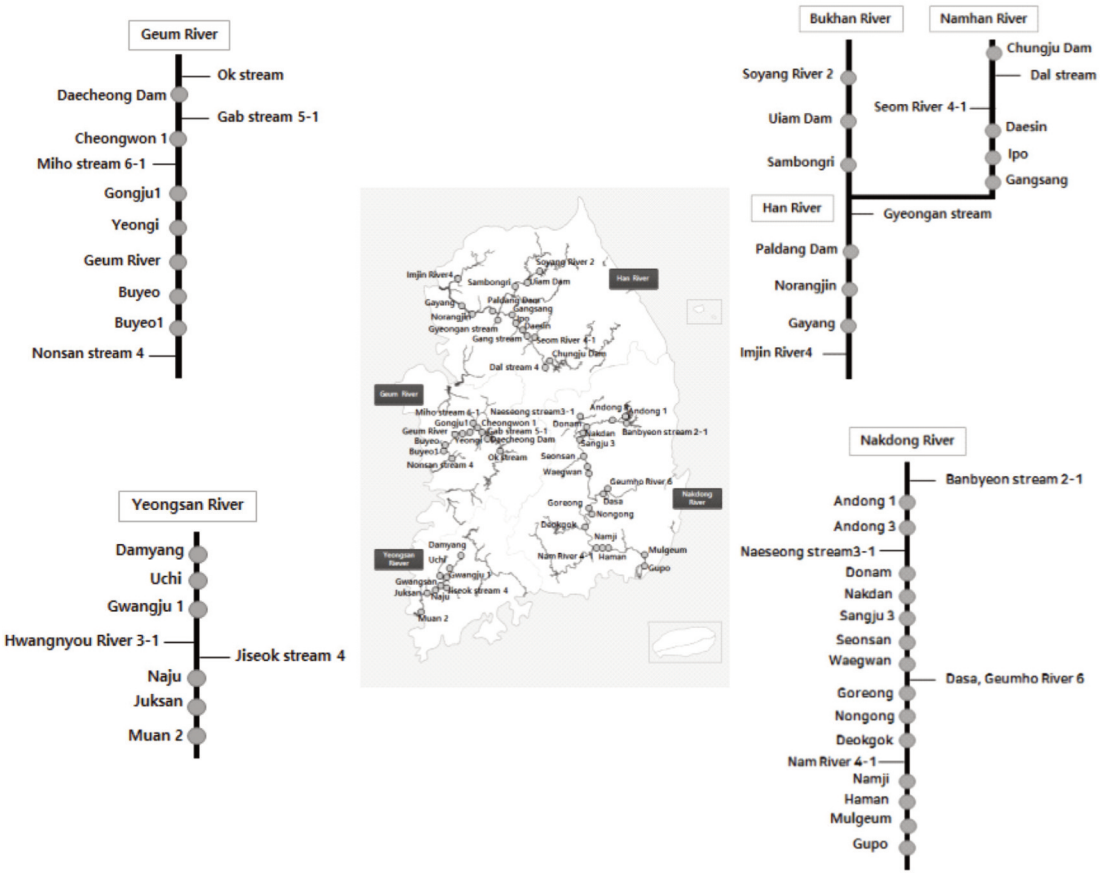

Figure 1. Data sampling points and River schematic diagram.

Table 1. WHO's thresholds of risk associated with potential exposure to cyanotoxins.

Indicator (units)	Exposure Rate		
	LR (Low Risk)	MR (Moderate Risk)	HR (High Risk)
Chlorophyll-a (μg/L)	<10	10 - ≦50	> 50
Cyanobacteria cell counts (#/L)	< 20,000	20,000 - < 100,000	≧ 100,000
Microcystin (μg/L)	<10	10 - ≦20	> 20

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 4대강 대표지점 Chl-a 히스토그램 분석

Figure 2에 4대강의 녹조발생빈도를 나타내었다. 녹조발생빈도를 분석한 결과 모든 수계에서 MR 단계가 높게 나타났다. 낙동강과 한강에서는 HR 단계가 낮게 나타난 반면, 영산강과 금강에서는 HR 단계가 상대적으로 높게 나타났다. 이를 동등한 비율로 비교하기 위하여 Ogive curve로 표현한 결과, 한강과 낙동강이, 금강과 영산강이 서로 유사한 양상으로 나타났다. 이는 Chl-a 농도를 50 μg/L를 기준으로 할 때, 즉 MR 단계를 기준으로 한강과 낙동강은 LR 단계를 주로 나타나는 것이고, 금강과 영산강은 HR 단계도 많이 출현한다는 것을 시사한다(Figure 2a).

Ogive curve에서 50%인 값을 비교하면, 한강은 16 μg/L, 금강은 37 μg/L, 영산강은 36 μg/L, 낙동강은 23 μg/L로 나타났다(Figure 2b). 분석결과에 의하면 한강은 4대강 중에서는 낮은 농도의 Chl-a

www.kci.go.kr

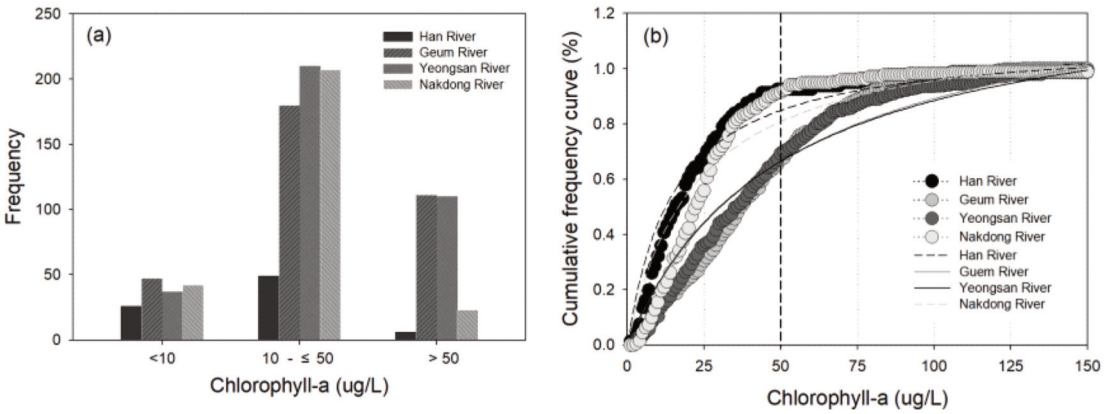

Figure 2. Frequency of occurrence for the algal bloom points in the major four Rivers. (a) Frequency distribution of Chl-a potential exposure level, (b) Ogive curve of Chl-a concentration in the major four Rivers.

출현 횟수가 많았으며, 금강과 영산강은 37, 36 μg/L 이상의 Chl-a 농도가 50% 이상빈도로 나타났다.

2. 주요 지점 누적도수분포곡선(ogive curve) 분석

Figure 3에는 각 수계에 대한 ogive curve를 나타내었다. 한강의 각 지점에 대해 Chl-a 농도가 50 μg/L 일 때 누적빈도값(CFC%)을 확인한 결과, 모든 지점에서 80% 이상의 값이 나타났다. 제일 낮은 지점은 82.3%로 가양지점 이었고, 달천4, 소양강2, 의암댐, 충주댐, 팔당댐에서는 100%로, 이는 50 μg/L 이

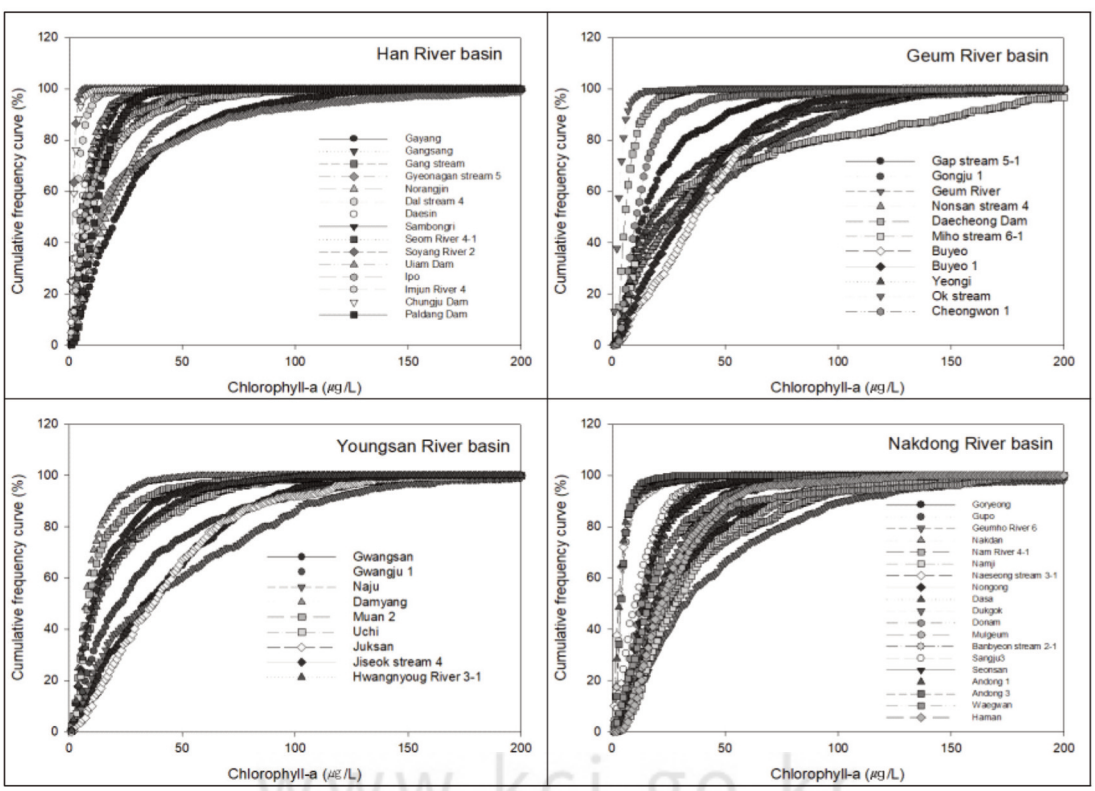

Figure 3. Ogive curve of major points of the water quality measuring network.

www.kci.go.kr

상의 Chl-a 값이 거의 발생하지 않는 것을 의미한다. 금강은 대청댐, 옥천 지점에서 100% 값을 보였고, 그 외 지점은 70~90% 범위, 60%때의 낮은 값이 4곳(공주1, 금강, 미호천6-1, 부여)에서 관찰되었다. 영산강은 100%인 지점이 관찰되지 않았고, 나주지점에서 59.9%로 매우 낮은 값이 확인되었으며, 광산, 죽산 지점에서 각각 64.9%, 66.9%로 낮은 값의 CFC%가 다른 수계와 비교하여 많이 관찰되었다. 낙동강은 안동3이 100%로, 안동3만 유일하게 100% 값이 나타났고, 그 외 지점은 대부분 70~90%의 범위를 보였으며, 금호강6만 낙동강 지점에서 65.9%로 60%때의 낮은 CFC%값이 관찰되었다.

4대강 지점에서 50 μg/L CFC%가 가장 낮은 값이 관찰된 지점은 영산강의 나주지점이었다. 각 수계의 50 μg/L CFC% 값의 평균값은 한강, 금강, 영산강, 낙동강 순으로 96.0±6.2%, 80.2±13.1%, 81.4±13.9%, 90.4±9.8%로 나타났다. 이는 4대강 수계 중에 한강이 낮은 농도의 Chl-a가 주로 관찰되는 것을 확인 할 수 있었으며, 금강과 영산강에서 높은 농도의 Chl-a가 빈번하다는 것을 시사한다. 이는 앞서 제시한 수계별 대표지점의 결과와 유사하였다.

3. Chl-a 값 히스토그램 패턴 분석

각 지점에 대해 히스토그램을 작성 했을 때 총 3가지 타입으로 분류 할 수 있었다. Type A의 경우 LR의 발생빈도가 HR보다 현저하게 높을 경우, Type B는 MR의 발생빈도가 높을 경우이지만 A와 C타입이 아닌 것, Type C는 LR보다 HR의 발생빈도가 높은 경우이거나, HR이 전체에 10% 이상 발생한 경우이다(Figure 4). Type B의 경우는 MR의 발생빈도가 높은 경우로만 한정할 경우, Type C처럼 고농도의 녹조가 빈번하게 발생하는 지역에 대해서도 과소평가될 수 있는 점을 고려하였다. 특히 Figure 4의 box-plot에 나타난 것과 같이 단순히 Chl-a 농도로만 구분할 경우는 발생빈도에 의한 히스토그램 결과와는 달리 Type B와 Type C의 구분이 명확하지 않은 점을 미루어 볼 때 조류발생 우심지역의 구분이 어려운 것으로 판단된다.

각 수계에서 세부지점에 대한 분류 결과는 Table 2와 같다. 한강은 대부분 Type A(80%)로 이루어져 있었고, Type B(20%)의 경우는 3지점에서 관찰되었다. 3지점의 특징은 도시를 관통하는 하천이라는 공통점을 가지고 있었으며, 1지점은 지류, 2지점은 본류의 하류지점이었다.

금강은 Type A 27%, Type B 27%, Type C 46%로 모든 패턴이 관찰되었다. 한강과 달리 금강은 Type C가 나타났는데, HR발생빈도가 높은 Type C가 관찰된 지점은 도시하천 지류1지점과 하류본류 3지점이었다. 영산강 또한 금강과 마찬가지로 모든 타입이 관찰되었고, C타입 역시 하류본류 3지점에서 나

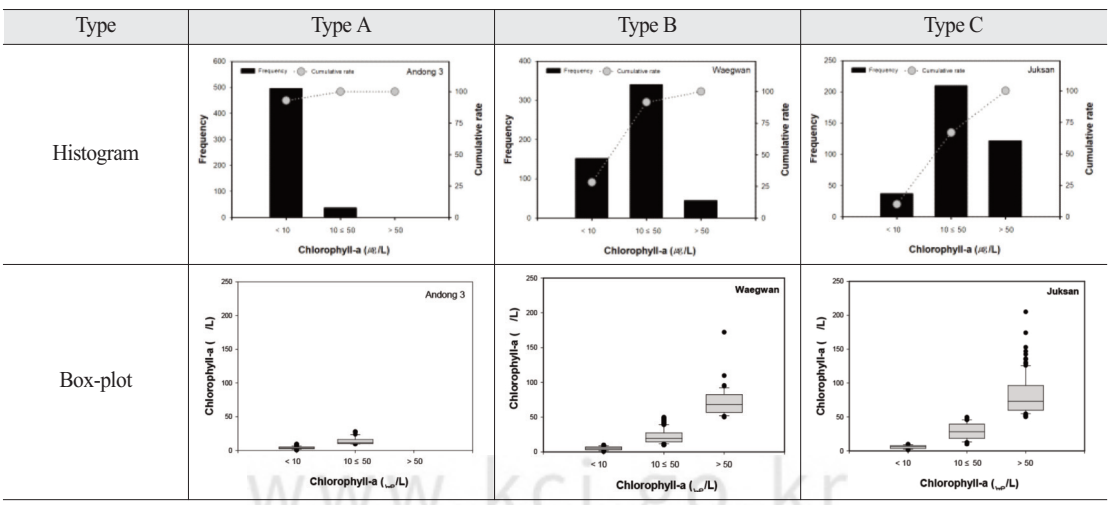

Figure 4. Type classifications of frequency distribution and box-plot.

Table 2. Classifications of frequency distribution table type of the water quality measuring network points

River	Monitoring points			Type
Han River	1		Soyang River*	A
	2		Uiam Dam*	A
	3		Sambongri*	A
	4		Chungju Dam**	A
	5	T	Dal stream 4**	A
	6	T	Seom River 4-1**	A
	7		Daesin**	A
	8	T	Gang stream**	A
	9		Ipo**	A
	10		Gangsang**	A
	11	T	Gyeongan stream 5	B
	12		Paldang Dam	A
	13		Norangjin	B
	14		Gayang	B
	15	T	Imjin River 4	A
Guem River	16	T	Ok stream	A
	17		Daecheon Dam	A
	18	T	Gab stream 5-1	B
	19		Cheongwon 1	A
	20	T	Miho stream 6-1	C
	21		Yeongi	C
	22		Gongju 1	B
	23		Geum River	C
	24		Buyeo	C
	25		Buyeo 1	C
	26	T	Nonsan stream 4	B

River	Monitoring points			Type
Youngsan River	27		Damyang	A
	28		Uchi	B
	29		Gwangju 1	B
	30	T	Hwangnyoun River 3-1	B
	31	T	Jiseok stream 4	A
	32		Gwangsan	C
	33		Naju	C
	34		Juksan	C
	35		Muan 2	A
Nakdong River	36	T	Banbyeon stream 2-1	A
	37		Andong 1	A
	38		Andong 3	A
	39	T	Naeseong stream 3-1	A
	40		Donam	A
	41		Nakdan	A
	42		Sangju 3	A
	43		Seonsan	A
	44		Waegwan	B
	45	T	Geumho River 6	C
	46	T	Dasa	A
	47		Goreong	C
	48		Nongong	B
	49		Deokgok	B
	50	T	Nam River 4-1	C
	51		Namji	C
	52		Haman	B
	53		Mulgeum	B
	54		Gupo	C

*main stream point, **tributary point

타났다.

낙동강도 금강과 마찬가지로 모든 패턴이 관찰되었으며 이 중 안동에서 선산까지의 상류지점은 Type A로만 이루어졌다. 그러나 금호강으로 유입하는 작은 지류인 '다사'지점을 배제 하면, 왜관 아래지점에서는 Type B와 Type C가 주로 관찰되었다.

본 결과에서와 같이 Chl-a를 중심으로 히스토그램의 패턴 분류에 따라 모든 지점 분류가 가능하다. 이 중 Type A의 경우 저농도의 Chl-a가 주로 관찰되기 때문에 녹조관리에 있어서 중점이 되는 지점에서는 배제될 수 있을 것이다. 그러나 Type B의 경우는 주로 10~50 μg/L의 Chl-a가 발생하지만, 50 μg/L 초과의 높은 수준의 Chl-a값도 나타나기 때문에 향후 녹조발생억제를 위한 인공습지, 식생도입, 점오염원 관리와 같은 사전저감기술 등을 적용할 수 있는 지점이라고 판단된다. 반면에 Type C의 경우에는 고농도의 Chl-a가 다수 관찰되기 때문에 집중적으로 관리해야 할 지점으로 분류 할 수 있으며 필요시에는 녹조제거선, 약품살포와 같은 사후처리기술이 도입 될 수 있을 것이다.

www.kci.go.kr

IV. 결과 및 고찰

본 연구에서는 4대강 대표지점 및 수질측정망 주요 지점의 Chl-a 값을 통해서 히스토그램분석 기법을 적용하여 발생정도 및 패턴분석을 할 수 있었다. Ogive curve의 50 μg/L CFC%를 통해 녹조발생빈도 정도를 수계별 지점에 따라 비교 분석할 수 있었고, 히스토그램 형태로는 3단계로 구분된 녹조발생 우점지역 분석이 가능하였다.

50 μg/L CFC% 분석을 통해 한강이 낮은 농도의 Chl-a가 주로 나타나는 것을 확인하였고, 금강과 영산강에서 높은 농도의 Chl-a 값이 빈번하게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 히스토그램 패턴 분석에서는 도시를 관통하는 하천 그리고 본류의 하류 구간에서 높은 농도의 Chl-a가 빈번하게 발생하는 것을 확인하였다. 이처럼 Chl-a 값을 통해서도 녹조가 발생하는 우심지역을 분류를 할 수 있었고, 특히 패턴 분류는 녹조에 대한 대응을 지점별로 관리 할 수 있는 보조적인 기준을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 Chl-a만을 기준으로 하였지만 국내에서 활용되고 있는 조류경보제의 남조류 세포수를 적용 한다면 보다 정확한 녹조발생에 대한 지점 분석과 분류가 가능 할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구결과는 계절에 상관없이 모든 시기의 Chl-a 값을 활용하였기 때문에 정확히 녹조발생에 대한 결과를 제시하고 있다고 판단할 수 없지만, 여름철의 녹조가 빈번한 지점이라면, 겨울철 규조류 번성 또한 유사한 환경조건에서 관찰되기 때문에(Yeo 2009; Jeong et al. 2014), 농도로 표현하는 것보다 횟수의 결과인 히스토그램으로 표현함으로써 “algal bloom points”를 구별하는데 용이 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 「(19주요-대2-전략) 수자원·환경분야 미래기술 개발을 위한 특화전략연구(2)(20190158)」과제와 환경부의 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(112149).

References

Bae YH, Shin HG. 2015. Toxicities of Several Coagulants on Earthworm and the Effect of Sewage Sludges Coagulated by Mixtures of Those Coagulants on the Population Growth of Earthworm Eisenia andrei. Journal of Korea Society of Waste Management, 32(2): 182-190 [Korean Literature]

Park GI, Bae YH. 2012. Ecotoxicological effects of Alum and Ferric chloride on the population of Eisenia fetida (Annelida ; Oligochaeta). Jornal of Korea Organic Resource Recycling Association, 20(1): 50-60 [Korean Literature]

Byeon KD, Kim GY, Lee IJ, Lee S, Park JR, Hwang TM, Joo JC. 2016. Investigation and Evaluation of Algae Removal Technologies Applied in Domestic Rivers and Lakes. J. Korean Soc. Environ. Eng, 38(7): 387-394 [Korean Literature]

Jeong BK, Kim YJ, Jung SW, Lee HY, Shin YS. 2014. Temporal Variation and Identification of a Centric Diatom, *Stephanodiscus* spp. during Winter-spring Blooms in the Yeongsan River. Korean Journal of ecology and environment, 47(4): 273-281 [Korean Literature]

Jung HY, Kim YH. 2019. Effectiveness of elimination inflowing algae in water treatment plant using natural algae remover. Journal of The Korean Society of Water and Wastewater , 33(4): 311-319. [Korean Literature]

Kalabegishvili T, Kirkesali E, Rcheulishvili A. 2012. Synthesis of gold nanoparticles by blue-green algae *Spirulina platensis* (No. JINR-E-14-2012-31). Frank Lab. of Neutron

www.kci.go.kr

Physics.

Kim SH, Hong SC, Yi PG, Jang SH, Suh JM, Sivarkumar S, Park JS, Jung ES. 2019a. Water Quality Measurement using Amphibious Drones and Development of Chlorophyll-a Prediction Formula Through Temperature and DO. Journal of the Korean Society of Urban Environment, 19(2): 111-121 [Korean Literature]

Kim SJ, Chung SW, Park HS, Cho YC, Lee HS, Park YJ. 2019b. Analysis of Environmental Factors Associated with Cyanobacteria Dominance in Baekje Weir and Juksan Weir. Journal of Korean Society on Water Environment, 35(3): 257-270 [Korean Literature]

Kim YJ, Lee SJ, Ahn GG. 2019c. Characteristics of chemical water quality and the empirical model analysis before and after the construction of Baekje Weir. Korean Society of Environmental Biology, 37(1): 48-59 [Korean Literature]

Korea Water Resources Corporation. 2016. Development of algae bloom control and countermeasure in the weir for the River systems. pp. 161-173 [Korean Literature]

Krawczyk H, Ebert K, Neumann A. 2004. Algae Bloom detection in the Baltic Sea with MERIS data. In Proc. MERIS User Workshop.

Nam SH, Lee JW, Kim EJ, Koo JW, Hwang TM. 2019. Elimination of Microcystin-LR by UV/Chlorine Oxidation Process. Joural of Korean Society of Water Science and Technology, 27(4): 15-23 [Korean Literature]

Park DY, Park HS, Chung SW. 2019. Analysis of Water quality variation by lowering of water level in Gangjeong-Goryong Weir in Nakdong River. Journal of Environmental Impact Assessment, 28(3): 245-262 [Korean Literature]

Yang JH, Ryu KW, Kim JH, Lee YS, Ko JC. 2019. Characteristics of Phosphorus Removal and Reaction Crystals Using Calcined Oyster Shell. Journal of the Korean Society for Environmental Technology: 20(4): 236-242 [Korean Literature]

Yeo HG. 2009. Phytoplankton community and phytohydrographic characteristics of the inside and outside of Saemangeum reservoir. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 10(8): 2021-2025 [Korean Literature]

www.kci.go.kr