

낙동강 중·하류수역에서 클로로필 a 최대농도 출현지역 평가

신 성 교 · 백 경 훈 · 송 미 경¹

(부산시 정책개발실, ¹부경대학교 환경공학과)

The Evaluation for Maximum Chl. a Site Observed in the Mid to Lower Nakdong River. Shin, Sung-Kyo, Kyung-Hoon Baek and Mi-Koung Song¹(The Institute for Policy Development, Busan Metropolitan City, ¹Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University)

The frequent occurrence of excessive phytoplankton populations in the downstream Nakdong River has been an important water quality problem in recent years. The limnological survey of the Nakdong River was conducted from January 1997 to December 1999 on once or twice per month. A typical phenomenon of eutrophication appears with the persistent algal bloom due to high nutrients in the mid-lower part of the river. This study showed that the point at which Chl. a concentration reaches maximum was affected by the water temperature and the flow rate. For example, Chl. a concentration reached maximum after around 380, 240 and 120 hours which were estimated from the time of flow at low ($\leq 10^{\circ}\text{C}$), mean ($10\sim 20^{\circ}\text{C}$) and high ($\geq 20^{\circ}\text{C}$) water temperature conditions, respectively. It was estimated that increase coefficients of phytoplankton (Chl. a) on the water temperature are 0.201, 0.254 and 0.289 day⁻¹, on the contrary, decrease coefficients are -0.012, -0.128 and -0.193 day⁻¹ in low, mean and high water temperature. Therefore, to prevent formation of Chl. a maximum concentration in the specific water resource, it is necessary to increase the discharge of dam as well as to decrease.

Key words : Nakdong river, maximum Chl. a site, water temperature, flow rate

서 론

낙동강 중·하류수역은 유역 내에서 미처리된 채 배출되는 다량의 질소와 인으로 연중 심각한 부영양화현상이 발생하고 이로 인해, 생·공용수 이용 및 농·수산업과 레크레이션영역 등에 많은 악영향을 초래하고 있으며, 특히 상수원 수질오염으로 인한 피해는 심각한 실정이다. 부산시 상수취수원인 낙동강하류는 해마다 여름철에는 남조류와 녹조류가 대량번식하고 겨울철에는 규조류가 대량번식하여 식물플랑크톤의 높은 밀도로 인해 정수처리에 상당한 장애를 일으키고 있다(이 등, 2001). 부영양화된 수역의 수질관리를 위해서는 식물플랑크톤

성장의 제한요소인 질소와 인을 처리할 수 있는 고도처리시설의 설치가 우선시 되어야 한다. 이에 환경부 등 중앙정부 및 지방자치단체는 낙동강 하류지역의 상수원 수질개선을 위해 고도처리시설의 설치와 하천유지용수의 추가공급 대안 등을 마련하고 있다(정부합동, 1999). 하지만 고도처리시설의 확충을 위한 재원 확보 및 처리 효율성 그리고 하천유지용수 공급을 위한 댐 건설시기 등을 고려한다면 낙동강 중·하류수역의 부영양화 현상을 조기에 제어하기는 어려운 실정이다.

일반적으로 식물플랑크톤의 성장은 영양염 농도, 일사량, 수온, 식물플랑크톤의 사멸속도, 침강속도 및 동물플랑크톤의 포식작용 등에 의해 결정되며 (Jan, 1993), 특히 하천에서는 하천유량의 증감에 따라 최대현존량의

* Corresponding author: Tel: 051) 888-4317, Fax: 051) 888-4309, E-mail: skshin@metro.busan.kr

위치가 하천의 상·하류로 이동한다 (Thebault and Qotbi, 1999). 낙동강은 중류지역의 금호강을 통해 과잉량의 영양염이 공급되어 하류수역은 높은 영양염 농도를 보이고 있다 (조와 신, 1995). 따라서, 낙동강 중·하류수역에서 식물플랑크톤의 사멸과 동물플랑크톤의 포식작용이 일정하다고 가정하면 식물플랑크톤 최대현존량의 위치는 수온에 의한 식물플랑크톤의 성장속도와 하천유량 변동에 의한 체류시간에 따라 상·하류로 이동하게 될 것이다. 특히, 낙동강 하류수역은 동계 갈수기에는 하천흐름이 둔화되어 호소적 성격을 보이고 하계 강수량이 집중된 풍수기에는 하천흐름이 빨라져 하천적 성격을 보이는 등 매우 다양한 수리학적 특성을 가지고 있다. 이러한 결과 식물플랑크톤의 현존량을 나타내는 간접지표인 Chl. *a* 농도 역시 계절별 공간별로 다양한 특성을 보이는데 대체적으로 동계 갈수기에는 Chl. *a*의 지점별 최대농도가 보다 하류지역에서 나타나고 춘·추계에는 보다 상류지역에서 나타나는 변화를 보이고 있다 (신, 1996).

낙동강에서의 식물플랑크톤에 관한 연구로는 AGP 실험을 통한 식물플랑크톤의 성장 및 영양염반포화계수 산정 (조와 신, 1998a), 부영양화에 의한 식물플랑크톤의 동태 및 수질변동 (Joo *et al.*, 1997; 조와 신, 1998b; 송등, 2000) 등 최근 식물플랑크톤에 대한 다양한 연구가 이루어졌다. 하지만 식물플랑크톤의 최대현존량과 수온·하천유량과의 관계, 특정상수원에서의 식물플랑크톤 대량증식 제어에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 낙동강 중·하류수역에서 수온과 하천유량이 식물플랑크톤의 성장에 미치는 영향을 평가하고 식물플랑크톤 최대현존량과 수온·하천유량의 정량적 관계를 규명하며, 수질에측에 필요한 식물플랑크톤의 성장계수와 사멸계수를 산정함으로써 특정취수장에서 식물플랑크톤 과다성장에 따른 피해예방을 위한 최대현존량지점의 이동 가능성에 대해 연구해 보고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지역 및 연구방법

연구대상지역은 낙동강 중·하류수역으로 중류의 왜관지점부터 낙동강하구둑까지로 하였으며, 각 지점별 수질 및 유량조사는 1997년 1월부터 1999년 12월까지이며, 조사횟수는 1997년 2월에서 12월까지는 월 2회, 1997년 1월 및 1998년과 1999년은 월 1회씩 총 47회에



Fig. 1. Sampling stations in the Nakdong River and tributaries.

- Monitoring water quality and flow rate
- Monitoring water quality only

걸쳐 실시하였다.

수질조사지점은 영양염 유입부하가 큰 금호강 유입인 왜관지점과 금호강 유입 후인 하류의 고령, 적포, 남지, 삼랑진, 물금 및 하구둑을 비롯한 총 7개 지점을 선정하였다 (Fig. 1). 수질조사는 강 횡단면의 중간지점에서 표층수를 채수하여 수온 및 Chl. *a* 항목에 대해 분석하였으며, 수질오염공정시험방법에 따라 수온은 현장에서 봉상수온도계를 이용·측정하였고 Chl. *a*는 흡광광도법을 이용하여 90% acetone에 20시간 용출시킨 후 흡광도를 측정하였다. 유량조사는 왜관, 고령, 적포, 남지지점에서 실시하였으며, 조사지점에서의 유속은 회전식 유속계 (Valeport BFM008)를 이용하였다. 수심은 목자판과 측심기를 이용하여 유속 및 단면적을 계산하였고 수질오염공정시험방법 중 유속-면적법을 이용하여 유량을 산정하였다 (환경부, 1996).

Table 1. The time of flow in each station by the variation of flow rate.

(unit: hour)

Flow (m ³ /s)	1 (24.0 km)	2 (1.0 km)	3 (17.0 km)	4 (31.3 km)	5 (5.2 km)	6 (4.9 km)	7 (22.6 km)	8 (5.4 km)	9 (17.2 km)	10 (19.7 km)	11 (19.3 km)	12 (26.7 km)
10	180.3	20.1	263.0	122.4	28.9	17.2	99.1	91.2	272.8	352.8	969.3	2051.0
20	116.3	14.8	113.0	62.4	17.0	10.6	58.1	45.8	137.1	177.4	484.7	1025.5
30	88.7	10.5	80.5	49.8	12.7	8.1	43.6	30.6	91.4	118.3	323.9	685.0
40	75.0	8.2	63.6	42.9	10.5	6.8	35.9	23.0	68.9	89.2	242.9	513.7
50	41.6	5.2	53.2	38.2	9.2	6.0	31.1	18.4	55.1	71.4	194.8	411.8
60	36.7	4.5	46.1	35.0	8.2	5.4	27.8	15.4	46.2	59.8	162.3	343.1
70	33.2	4.0	41.1	32.4	7.5	4.9	25.3	13.2	39.6	51.3	139.5	294.7
80	30.3	3.6	37.2	30.3	6.9	4.6	23.4	11.6	34.8	45.1	122.0	257.9
90	28.2	3.3	34.1	28.5	6.5	4.3	21.8	10.4	31.1	40.4	108.7	229.6
100	26.6	3.0	32.0	27.1	6.1	4.0	20.5	9.4	28.1	36.5	97.9	206.7
110	25.2	2.8	30.1	25.9	5.8	3.9	19.5	8.6	25.7	33.4	89.2	188.3
120	23.9	2.6	28.1	24.8	5.5	3.7	18.5	7.9	23.7	30.8	81.8	172.6
130	22.8	2.5	26.4	23.8	5.3	3.6	17.7	7.3	22.0	28.6	75.7	159.6
140	21.9	2.3	24.9	22.9	5.1	3.4	16.9	6.9	20.6	26.8	70.3	148.2
150	21.1	2.2	23.5	22.1	4.9	3.3	16.3	6.4	19.3	25.2	65.7	138.6
160	20.5	2.1	22.3	21.4	4.7	3.2	15.7	6.1	18.3	23.9	61.8	130.2
170	20.1	2.0	21.3	20.7	4.6	3.1	15.3	5.8	17.5	22.8	58.3	122.8
180	19.7	2.0	20.5	20.2	4.4	3.0	14.8	5.5	16.7	21.9	55.2	116.2
190	19.3	1.9	19.9	19.8	4.3	3.0	14.4	5.3	16.0	21.0	52.4	110.3
200	18.9	1.8	19.4	19.3	4.2	2.9	14.0	5.1	15.5	20.4	49.9	104.9
220	18.3	1.7	18.4	18.5	4.0	2.8	13.3	4.7	14.4	19.0	45.5	95.6
240	17.7	1.6	17.5	17.9	3.8	2.7	12.7	4.5	13.6	17.9	41.8	87.8
260	17.2	1.5	16.8	17.3	3.7	2.6	12.2	4.2	12.8	16.9	38.8	81.4
280	16.8	1.4	16.2	16.9	3.6	2.5	11.7	3.9	12.1	16.1	36.2	75.8
300	16.3	1.3	15.8	16.6	3.4	2.4	11.3	3.8	11.6	15.4	34.0	71.1
350	15.5	1.2	14.7	15.7	3.2	2.3	10.5	3.4	10.4	13.9	29.4	61.3
400	14.7	1.1	13.7	14.9	3.0	2.2	9.8	3.0	9.6	12.8	25.9	53.9
500	13.6	1.0	12.2	13.6	2.6	2.0	8.7	2.6	8.3	11.1	21.0	43.5
600	12.7	0.8	11.1	12.6	2.4	1.8	8.0	2.3	7.4	10.0	17.7	36.5
800	11.4	0.7	9.6	11.2	2.1	1.6	7.0	1.9	6.2	8.5	13.6	27.7

1: Waekwan ~ Kangjung,

3: after confluence with Kumho R. ~ Koryung,

5: after confluence with Hwei R. ~ before confluence with Hwang R.,

7: Jukpo ~ before confluence with Nam R.,

9: Namji ~ Bonpo,

11: after confluence with Milyang R. ~ Mulgum,

2: Kangjung ~ before confluence with Kumho R.,

4: Koryung ~ before confluence with Hwei R.,

6: after confluence with Hwang R. ~ Jukpo,

8: after confluence with Nam R. ~ Namji,

10: Bonpo ~ before confluence with Milyang R.,

12: Mulgum ~ Estuary Barrage

2. 구간별 유하시간 산정

연구대상지역에서의 유하시간을 산정하기 위해 건설부의 낙동강 하상의 평면도 및 횡단면도 자료와 미국 공병단 수문센터에서 개발한 수리모델인 HEC-2모델을 이용하였다. 본 연구 조사지점인 왜관에서 하구둑까지 HEC-2수리모델을 시뮬레이션하여 유량 변화에 따른 각 구간별 거리 및 유하시간을 Table 1에 나타내었다(백, 1998).

결과 및 고찰

1. 최대 Chl. a 농도 분포 특성

1997년부터 1999년까지 총 47회의 조사결과로부터

연도별 Chl. a 농도 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 조사기간 중 Chl. a 농도 분포는 1997년에 17~82 µg/L로 다른 해에 비해 다소 높은 농도를 보였고 1998년은 10~46 µg/L, 1999년은 8~54 µg/L로 1997년 농도 분포에 비해 비교적 낮은 농도를 나타냈다. 지점별 Chl. a 농도 분포는 다량의 영양염이 유입하는 금호강 합류 후 하류지역에 이룰수록 Chl. a 농도가 서서히 증가하는 경향을 보였고 1997년의 경우는 삼랑진지점에서 82 µg/L의 최고 농도를 보인 후 급격히 감소하였다.

낙동강 유역내 15개 기상관측소의 연평균 강수량과 Chl. a 농도가 가장 높게 나타나는 지점을 비교한 결과 조사기간 중 연평균 강수량이 1,327 mm로 가장 적었던 1997년에는 Chl. a 최고농도가 삼랑진지점에서 82 µg/L

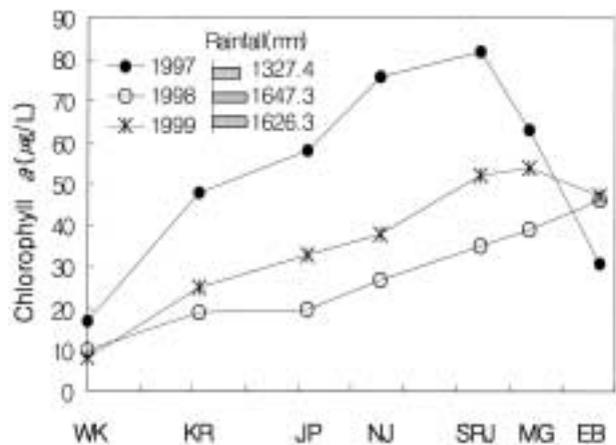


Fig. 2. Annual mean concentration of Chl. *a* and rainfall in the Nakdong River (n = 23 (1997), 12 (1998), 12 (1999)).

WK: Waekwan, KR: Koryung, JP: Jukpo, NJ: Namji, SRJ: Samranggin, MG: Mulgum, EB: Estuary Barrage

로 가장 높은 농도가 나타났고 강수량이 가장 많았던 1998년 (1,647 mm)에는 하구둑지점에서 46 µg/L의 높은 농도를 보였으며, 1,626 mm의 강수량을 보였던 1999년에는 물금지점에서 54 µg/L의 높은 농도가 나타났다. 이는 연도별 평균수온이 15.5~17.6°C로 비교적 일정하기에 강수량 변화에 따른 하천유량 및 유속의 증감이 낙동강 중·하류수역에서 Chl. *a* 최고농도지점 형성에 크게 관여함을 알 수 있었다. 하천유량에 따른 유하시간 즉, 생물이 성장할 수 있는 기간인 체류시간(Moss *et al.*, 1989)이 변화하여 하천유량이 작은 시기에는 Chl. *a* 최고농도지점이 보다 상류에서 형성되고 유량이 많은 시기에는 하류쪽에서 형성되었다. 다시 말해서, 하천유량이 적은 시기에는 하천 유하시간의 증가로 인해 상류지점에서 식물플랑크톤의 최대현존량을 보였고 유량이 많은 시기에는 짧은 유하시간으로 인해 최하류역에서 최대현

존량을 나타냈다. 유역내 강수량이 가장 적었던 1994년 (806 mm) 4월에서 1995년 (891 mm) 6월사이에는 Chl. *a*의 최대농도 (217.6 µg/L)가 보다 상류인 남지에서 나타났으며 (Shin *et al.*, 2000), 1996년의 경우 (976 mm)도 남지에서 Chl. *a* 최대농도 (243.2 µg/L)를 보였다 (낙환청, 1996). 2000년의 경우는 강수량이 1,261 mm로 Chl. *a* 최대농도는 삼랑진 (139.0 µg/L)에서 나타나 본 조사와 유사한 결과를 나타내었다 (낙동강조사월보, 2000). 하지만 식물플랑크톤의 최대현존량 지점의 형성은 강우시 식물플랑크톤의 희석 및 광 차단 등에 따른 광합성활동이 저하되고 하천유속의 급격한 증가로 인해 식물플랑크톤이 하구해역으로 유출되어 최대성장이 관찰되지 않는 경우도 있으리라 사료된다 (Moss and balls, 1989).

수온 변화에 따른 Chl. *a* 최고농도 지점과의 관계를 살펴보기 위해 수온이 10°C 이하의 저수온기, 10~20°C의 상온기, 20°C 이상의 고수온기로 구분하여 Chl. *a* 최고농도 특성을 분석하였다 (Table 2).

저수온기, 상온기, 고수온기에 대해 각 조사지점의 Chl. *a*의 최고농도가 나타나는 출현빈도를 보면, 저수온기에는 하구둑지점이 7회로 가장 많았으며, 상온기와 고수온기에는 삼랑진지점이 각각 6회와 5회로 가장 많은 출현빈도를 보였다. 이는 수온 증감에 따른 식물플랑크톤의 성장속도가 변화하여 나타난 결과로 저수온기에는 수온 저하에 따른 식물플랑크톤의 성장둔화로 인해 하천 유하시간이 긴 최하류지점인 하구둑에 이르러서야 최대현존량지점이 출현하고 상온기에는 수온 상승으로 인해 식물플랑크톤 성장의 활성화로 저수온기의 최대현존량지점보다는 상류지점인 삼랑진지점에서 형성되었다. 그리고 고수온기에는 상온기에서 나타난 삼랑진지점보다 상류지점에서 최고농도 지점이 형성되어야 함에도 불구하고 삼랑진지점에서 5회의 높은 빈도와 다른 시기와는 달리 중류의 적포지점에서도 4회의 출현빈도를 보여 뚜렷하게 식물플랑크톤의 성장속도 증가의 결과라

Table 2. Number of maximum Chl. *a* concentration at each station in the Nakdong River.

Temperature condition	Chl. <i>a</i> (µg/L) (mean)	Flow rate* (m ³ /s) (mean)	No. of Maximum Chl. <i>a</i> concentration						
			Sum.	KR	JP	NJ	SRG	MG	EB
≤ 10°C	ND~192 (55)	51.7~1,038.5 (200.8)	13	-	-	1	1	4	7
10~20°C	1~177 (45)	54.0~1,841.6 (382.9)	16	1	1	3	6	2	3
> 20°C	ND~107 (30)	94.3~6,947.0 (937.0)	18	-	4	3	5	4	2

* Flow rate at Namji

KR: Koryung; JP: Jukpo; NJ: Namji; SRG: Samranggin; MG: Mulgum; EB: Estuary Barrage

단정지을 수는 없었다. 하지만 Table 2에서 보는 바와 같이 고수온기에 남지지점 평균유량이 937 m³/s로 상온기의 평균유량 382 m³/s에 비해 월등히 높아 이로 인한 하천유속의 증가로 식물플랑크톤의 하류 이동속도가 증가하여 삼랑진지점에서 최고농도 지점이 형성된 것으로 사료된다.

하천의 경우 호수와는 달리 수온 뿐만 아니라 유속이 복합적으로 작용하여 최대현존량지점이 결정된다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 수온·유속 변화와 식물플랑크톤 최대농도 지점 출현과의 관계를 보다 구체적으로 살펴보기 위하여 낙동강하류의 대표유량 지점인 남지지점의 유량이 500 m³/s 이하인 경우에 대해서만 수온별 Chl. a 최대농도 지점의 출현빈도를 살펴보았다 (Fig. 3). Fig. 3에서 보면 저수온시 (≤10°C) 하구둑 및 물금지점 (A)에서 Chl. a 최대농도 지점을 형성하다가 평수온시 (10~20°C) 물금 및 삼랑진지점 (B)에서 나타나고, 고수온시 (≥20°C) 삼랑진 및 남지지점 (C)에서 Chl. a 최대농도가 형성되는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 다시 말해서, 낙동강 하류수역에서 식물플랑크톤의 최대현존량은 저수온시라도 유량감소로 인한 긴 체류시간으로 인해 최대현존량지점이 하류에서 형성되고 반대로 고수온시에는 보다 상류지역에서 유량 변화에 따라 식물플랑크톤의 최대현존량이 형성됨을 알 수 있었다. 이러한 경향은 프랑스의 Lot강에서도 동일하게 나타나고 있음이 보고된 바 있다 (Thebault and Qotbi, 1999).

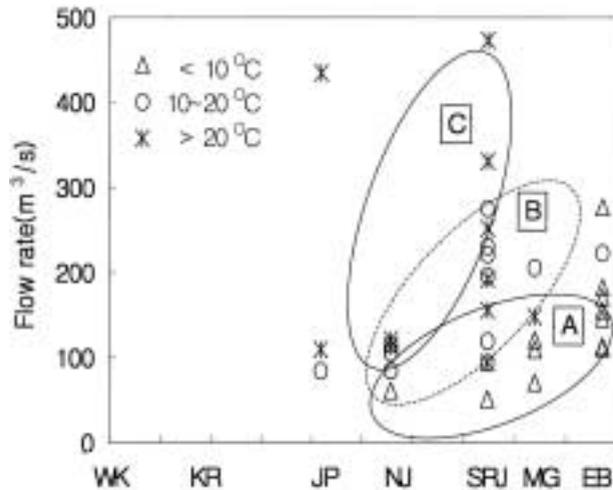


Fig. 3. Relationship between sites found to be maximum Chl. a concentration and flow rates in the Nakdong River.
 WK: Waekwan, KR: Koryung, JP: Jukpo, NJ: Namji, SRG: Samranggin, MG: Mulgum, EB : Estuary Barrage

2. 식물플랑크톤의 최대성장시간

수온과 유속이 Chl. a 최대 농도형성지점에 미치는 영향을 보다 정량적으로 살펴보기 위해 측정된 유량자료와 Table 1의 왜관에서 하구둑까지의 구간별 유하시간 결과를 이용하여 총 47회의 조사시기별 최대농도를 보이는 지점까지 도달하는데 소요되는 시간을 각각 계산하였다 (Fig. 4). 최대 농도에 이르는 유하시간과 수온과의 관계를 보면 (Fig. 4 (a)), 온도의 증가에 따라 최대성장지점 도달시간이 줄어드는 현상이 확연히 나타났으며, Fig. 4 (b)에서는 수온별 평균 Chl. a 최고농도를 나타내는 지점까지의 유하시간은 수온이 증가할 수록 짧아짐을 알 수 있다.

이와 같이 수온별 최대농도를 보이는 지점까지 도달하는데 소요되는 시간을 산정한 결과 저수온시 평균적으로 380시간이 경과한 후 최대농도를 보였고 최대농도 이후 완만한 감소 추세를 보였다. 그리고 상온시에는

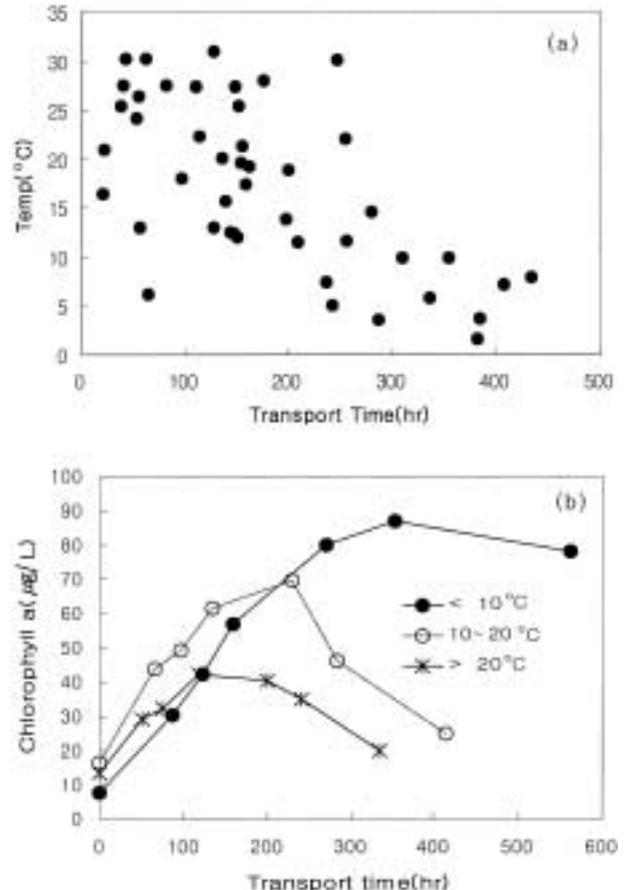


Fig. 4. Changes in maximum Chl. a concentration (a) and average Chl. a concentration (b) during downstream transport in the Nakdong river.

240시간에서 최고농도를 보였으며, 고수온시는 보다 빠른 시간인 120시간 정도에 최고농도에 이르는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 온도가 일정하다고 가정하면, 계절에 따라 댐 방류량 등 하천유량의 조절을 통해 식물플랑크톤 최대현존량지점을 상·하류로 이동시켜 특정상수원에서 조류의 과다번식을 막을 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 댐 방류량이 증가하면 하천유속의 증가로 식물플랑크톤의 최대성장지점이 하류로 이동할 것이고 반면에 댐 여유수량이 부족한 경우에는 오히려 방류량을 줄여 유속을 더욱 느리게 하여 특정지점의 식물플랑크톤 최대 농도를 상류로 이동시킴으로서 대단위 상수원으로 이용되는 특정취수장에서 식물플랑크톤의 최대 농도가 나타나는 것을 막을 수 있을 것으로 사료된다.

3. 식물플랑크톤의 성장·사멸계수

식물플랑크톤의 농도는 최상류지점에서의 식물플랑크톤 농도, 식물플랑크톤의 성장, 동물플랑크톤에 의한 포식, 식물플랑크톤의 호흡 및 침강에 의해 결정되며 (Van Stevenick *et al.*, 1992), 특정시간에서 식물플랑크톤의 농도는 식 (1)로서 표현할 수 있다.

$$P(t_x) = P(t_0) e^{P-(G+R+S)t} \quad (1)$$

여기서, $P(t_x)$: t 시간 후의 식물플랑크톤농도 (mgC/L)

$P(t_0)$: 최상류지점의 식물플랑크톤농도 (mgC/L)

P : 식물플랑크톤의 성장 (day^{-1})

G : 동물플랑크톤에 의한 포식 (day^{-1})

R : 식물플랑크톤의 호흡 (day^{-1})

S : 식물플랑크톤의 침강 (day^{-1})

이 때, 식 (1)의 P 가 $G+R+S$ 보다 큰 값을 보일 때는 식물플랑크톤이 증가단계에 있으며, 식물플랑크톤의 양은 식 (2)와 같이 간략화 할 수 있다 (Sandgren, 1988).

$$P(t_x) = P(t_0) e^{k_1 t} \quad (2)$$

여기서, k_1 : 증가단계의 식물플랑크톤 순비성장계수 (day^{-1})

그리고 식 (1)의 P 가 $G+R+S$ 보다 적을 때는 식물플랑크톤이 감소단계에 있으며, 식물플랑크톤 양은 식 (3)과 같이 간략화 할 수 있다.

$$P(t_x) = P(t_0) e^{k_d t} \quad (3)$$

여기서, k_d : 감소단계의 식물플랑크톤 순비사멸계수 (day^{-1})

Table 3. Estimation results of specific rate at increasing and decreasing phase using the equation for phytoplankton development in the Nakdong River.

Temperature condition	Specific rate (day^{-1})	
	Increasing phase (k_1)	Decreasing phase (k_d)
< 10°C	0.201	-0.012
10~20°C	0.254	-0.128
> 20°C	0.289	-0.193

이상의 관계식과 총 47회의 실측자료를 이용하여 초기농도 및 x 시간 후의 ($P(t_x)$)를 통해 식물플랑크톤의 증가 및 감소단계에서 성장·사멸계수를 산정하였다. 낙동강 중·하류수역에서 온도별 식물플랑크톤의 성장·사멸계수의 산정 결과를 Table 3에 나타내었으며, 식물플랑크톤의 활성이 큰 20°C 이상의 고수온시 성장계수가 0.289 day^{-1} 이었고 사멸계수는 -0.193 day^{-1} 로 나타났다.

이러한 관계식과 앞으로의 AGP실험연구 등을 통하여 유역 상황에 맞는 식물플랑크톤 최대농도만 계산되면 식 (2) 및 하천유속에 따른 유하시간 자료로서 식물플랑크톤의 농도가 최대가 되는 지점의 예측이 가능할 것으로 사료된다. 또한 이러한 계수값들은 향후 수질개선대책 마련을 위한 수질모델링 등 과학적 수질예측 기법의 적용에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

적 요

낙동강 중·하류수역에서 1997년 1월부터 1999년 12월사이 3년간의 수온, Chl. *a*, 유량변동을 모니터링하였다. 유량별 Chl. *a* 지점별 분포는 강수량에 따른 하천유량의 증감으로 인해 Chl. *a* 최대농도지점이 상·하류로 이동하였고, 수온별 Chl. *a*의 최대농도 분포 역시 수온 변화에 따라 상·하류로 이동하여 하천유속과 수온이 식물플랑크톤 최대현존량 (Chl. *a*) 지점 형성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하천유하시간을 이용하여 식물플랑크톤 최대성장시간을 수온별로 구분한 결과 저수온시에는 평균적으로 380시간, 상수온시는 240시간, 고수온시는 120시간 정도에서 최고농도에 이르는 것으로 나타났다. 낙동강 중·하류수역에서 식물플랑크톤 농도 예측을 위한 수온별 성장 및 사멸계수는 10°C 이하에서는 0.201과 -0.012 day^{-1} , 10~20°C에서는 0.254와 -0.128 day^{-1} 그리고 20°C 이상에서는 0.289와 -0.193 day^{-1} 로

각각 산정되었다. 이러한 결과로부터 영양염 공급이 풍부한 낙동강 중·하류수계에서는 식물플랑크톤의 최대농도 지점이 수온과 유속에 크게 영향을 받으며, 따라서 상수원과 같은 특정지점에서 식물플랑크톤의 최대현존량이 형성되는 것을 막기 위해서는 댐 방류량 조절을 통해 최대현존량지점을 상·하류지역으로 이동시킴으로써 식물플랑크톤 농도를 줄이는 효과를 얻을 수 있을 것으로 추정된다.

인 용 문 헌

- 낙동강연구센터. 2000. 낙동강조사월보. 부산광역시. 37-48호.
- 백경훈. 1998. 낙동강수계의 주요구간별 유하시간 예측. 부산광역시 낙동강연구센터. 낙동강조사월보 **19**: 3-10.
- 송미경, 박청길, 이석모, 백경훈, 신성교, 송교욱. 2000. 동계 낙동강 하류 물금수역에서의 수질악화 원인구명, 한국물환경학회지 **16**(3): 305-314.
- 신성교. 1996. 자생 BOD를 고려한 낙동강의 수질관리. 부산수산대학교 대학원 박사학위논문: 66-67.
- 이철우, 정철우, 한승우, 강임석, 이정호. 2001. 산화와 응집공정을 이용한 조류제거. 대한환경공학회지 **23**(9): 1527-1536.
- 정부합동. 1999. 낙동강수계물관리종합대책.
- 조경제, 신재기. 1995. 낙동강 중·하류의 엽록소 a 분포와 변동. 한국육수학회지 **28**(4): 421-426.
- 조경제, 신재기. 1997. 낙동강 중·하류에서 무기 N·P 영양염의 변동. 한국육수학회지 **30**(2): 85-95.
- 조경제, 신재기. 1998. 낙동강 주요 담수조류의 성장 및 영양염 반포화계수. 한국육수학회지 **13**(2): 235-240.
- 조경제, 신재기. 1998. 낙동강 하류에서 동·하계 무기 N·P 영양염류와 식물플랑크톤의 동태. 한국육수학회지 **31**(1): 67-75.
- 조경제, 신재기, 광승국, 이옥희. 1998. 담수산 *Stephanodiscus* 속 구조류의 오염지표성 평가. 한국육수학회지 **31**(3): 204-210.
- 환경부. 1996. 수질오염공정시험방법.
- Jan Köhler. 1993. Growth, production and losses phytoplankton in the lowland River Spree. I. Population dynamics. *J. Plankton Res.* **15**(3): 335-349.
- Joo, G.J., H.W. Kim, K. Ha and J.K. Kim. 1997. Long-Term of the Eutrophication of the Lower Nakdong River. *Kor. J. Lim.* **30**: 472-480.
- Moss, B., I. Booker, H. Balls and K. Manson. 1989. Phytoplankton distribution in a temperate floodplain lake and river system. I. Hydrology, nutrient sources and phytoplankton biomass. *J. Plankton Res.* **11**: 813-838.
- Moss, B. and H. Balls. 1989. Phytoplankton distribution in a temperate floodplain lake and river system. II. Seasonal changes in the phytoplankton communities and their control by hydrology and nutrient availability, *J. Plankton Res.* **11**: 839-867.
- Sandgren, D. 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, New York: 227-260.
- Shin, S.K., K.O. Song and C.K. Park. 2000. Evaluation of Autochthonous BOD caused by Production of Algae at Different Spatial and Temporal Scales in the Eutrophic Nakdong River. *J. KSWQ.* **16**(3): 365-375.
- Thebault, J.M. and A. Qotbi. 1999. A Model of phytoplankton development in the Lot River (France). Simulations of scenarios, *Wat. Res.* **33**(4): 1065-1079.
- Van Stevenick, de Ruyter, W. Admiraal, L. Breebaart, G. M.J. Tubbing and B. van Zanten. 1992. Plankton in the River Rhine: structural and functional changes observed during downstream transport. *J. Plankton Res.* **14**(10): 1351-1368.

(Received 9 Nov. 2001, Manuscript accepted 25 Feb. 2002)