

정수처리과정중 응집및 여과에 미치는 조류의 영향

임영성 · 송원섭 · 조주식¹⁾ · 이홍재²⁾ · 허종수²⁾

마산시 칠서정수사업소, ¹⁾순천대학교 농화학과, ²⁾경상대학교 농화학과

The Effect of Algae on Coagulation and Filtration of Water Treatment Process

Young-sung Lim, Won-Seb Song, Ju-Sik Cho¹⁾, Hong-Jae Lee²⁾, Jong-Soo Heo²⁾ (Masan City Chilseo Water Treatment Office, Chilseomyun Hamngun Kyongnam, Korea, ¹⁾Dept. of Agricultural Chemistry, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea, ²⁾Dept. of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, Chin Ju 660-701, Korea)

ABSTRACT : Seasonal variations of dominant algae species and the effects of these algae on coagulation and filtration of water treatment were investigated at Chilseo water treatment plant in downstream of Nakdong river from January in 1995 to December of 1998. The water quality of Nakdong river was found to be a hyper eutrophic state during the investigation periods. In the measurement, Chlorophyll-a contents ranged 20.7~180.9 $\mu\text{g}/\ell$ and total nitrogen contents(T-N) and total phosphorus contents(T-P) exceeded more than 3.4 mg/ℓ and 0.1 mg/ℓ , respectively. The changes in dominant algae species was in the order of *Stepanodiscus sp.*, *Asterionella sp.*, *Melosira sp.*, *Microcystis sp.* and *Synedra sp.* from spring to winter. *Microcystis sp.* especially, was blooming during summer and *Synedra sp.* and *Stepanodiscus sp.* during winter. Although most diatomous algae appeared in the water treatment process caused filter clogging and reduced efficiency of coagulation and sedimentation, *Synedra sp.* and *Stepanodiscus sp.* were revealed as the main trouble algae. Malfunction of water treatment process caused by *Synedra sp.* and *Stepanodiscus sp.* started at the algae concentrations of 800cells/ml and 1,820cells/ml, respectively. When chlorophyll-a content was 18.9 $\mu\text{g}/\ell$, the optimum amounts of coagulant were found to be 40 mg/ℓ of Alum and 16 mg/ℓ of PACS. Under condition of chlorophyll-a content of 154.1 $\mu\text{g}/\ell$, addition of Alum at the level of 75 mg/ℓ and PACS at the level of 35 mg/ℓ showed the lowest turbidity. The result indicates that increased amounts of the coagulants should be added for a better water treatment as chlorophyll-a contents increased. Addition of Alum at the amount of 60 mg/ℓ and 30 mg/ℓ of PACS removed *Stepanodiscus sp.* algae at the rate of 85% and 83%, respectively. In case of *Synedra sp.*, 50 mg/ℓ of Alum and 25 mg/ℓ of PACS showed removal rates of 79% and 81%, respectively. *Synedra sp.* algae at the standing crops of 1,500cells/ml started filter clogging and a filtering process was completely inhibited after 8 hours. At this situation, the filter clogging by *Synedra sp.* algae occurred at the depth of 5cm from the top anthracite layer. On the other, other algae did filter clogging at the depth of 10cm.

Key words : coagulation, filtration, humic substance

서론

인구증가와 생활수준향상에 따른 물수요량의 증가는 상수원수의 부족을 야기시키고 있을 뿐만 아니라 영양염류 부하량이 증가하여 상수원수의 부영양화를 가속화시키고 있다. 현행 우리나라 수질관리는 유기성오염물질의 저감에만 목적을 두어 유기물처리장의 증설을 가져왔으나 조류의 영양원인 무기질소 및 인의 처리율은 약 20% 수준으로 미흡하여 완전히 처리되지 않은 이들 영양염류는 정제된 호소나 하천으로 유입되어 과도한 조류를 번식시켜 부영양화 현상을 유발시킨다.^{1,2,3)}

정수장으로 유입된 조류는 응집시키는데 다량의 응집제가 소요될 뿐만 아니라 응집이 잘 되지 않으며, 조류의 대사산물 및 분해에 의해 생성되는 humic substance는 염소와 반응하여 THM(Trihalomethane)를 생성시키고 부유(浮遊)성질로 인하여 침전되지 않은 floc이 여과지로 유입되는 경우 급속모래여과지가 조류에

의해 폐쇄되어 여과지속시간을 단축시킨다.^{4,5)} 조류나 그에 유래하는 유기물을 함유한 상수는 배수계통에 slime을 생성하기 쉬우며, 각종 맛과 냄새를 유발할 수 있다.⁶⁾

낙동강은 상류지역의 영양염류 유입량 증가로 인하여 부영양화가 되어 매년 전 계절에 걸쳐 다양한 조류가 다량 발생하는 등 하천이면서 호소의 수환경 특성을 나타내고 있다.^{3,9)}

향후 상수원수 수질관리의 기본은 부영양화의 제어 여부에 달려 있으며 조류의 종류와 양을 측정하는 것은 수질오염의 정도를 파악하는 직접적인 지표도 되고, 부영양화 장애의 예측과 대책수립을 위해서도 중요하다.

따라서 본 연구에서는 낙동강 원수에 대한 정수처리과정의 주요 공정인 응집과 여과에 미치는 조류의 장애를 조사하기 위하여 원수에서 발생하는 조류 현황을 조사하였고 조류가 정수처리과정의 응집과 여과에 미치는 영향을 실제 정수장에서 적용 사례를 중심으로 조사하였다.

재료 및 실험방법

공시수질

본 연구에 사용한 공시수질은 낙동강 중하류지역인 칠서정수장의 취수원수를 1995년 1월부터 1998년 12월까지 매일 채수하여 실험한 결과 Table 1과 같다. 수온과 pH는 각각 평균 15.8°C와 7.8이었으며, BOD와 COD는 각각 평균 4.0mg/l와 6.2mg/l으로 하천수 수질등급 3급수 이상의 수질이었다.

조류의 동정 및 Chlorophyll-a 측정

조류의 동정⁷⁾과 개체수 조사는 현미경 검경으로 하였으며, 조류의 Chlorophyll-a 농도측정⁸⁾은 시료 100ml를 GF/C여지(pore size 0.45µm)로 여과시킨 다음 90% acetone을 가한 후 조직 마쇄기로 마쇄 및 원심분리후 4°C에서 24시간 방치후 색소를 추출하여 분광광도계로 흡광 663nm, 645nm, 630nm 및 750nm 에서 흡광도를 측정하여 Chlorophyll-a량을 추계하는 방법으로 Optical density 흡광도를 사용하였다.

$$Y = 11.64X_1 - 2.16X_2 + 0.10X_3$$

$$X_1 = OD663 - OD750$$

$$X_2 = OD645 - OD750$$

$$X_3 = OD630 - OD750$$

$$\text{Chlorophyll-a}(\mu\text{g/l}) = \frac{Y \times \text{상등액량(ml)}}{\text{시료량(l)}}$$

조류가 정수처리에 미치는 영향

조류가 응집침전에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Jar-test를 수행하였다. 즉 조류의 chlorophyll-a 농도가 각각 18.9, 38.4, 87.2, 115.7 및 154.1µg/l 인 취수원수 각각을 1l 비이커에 담고, 여기에 응집제 PACS와 Alum 농도를 단계적으로 증가시킨 다음 150rpm 1분, 60rpm 5분 및 20rpm 5분씩 각각 교반시키고, 방치 5분후 상등수 수면 5cm 아래에서 시료를 채취하여 탁도를 분석하였다. 또한 조류가 여과지 폐쇄에 미치는 영향을 조사하기 위하여 정수장 실제 급속여과지에서 여과지 유입조류 개체수와 여과 지속시간을 조사하였으며, 여층 깊이별 조류 개체수를 조사하였다.

Table 1. Characteristics of water quality in Nakdong River

	Temperature (°C)	pH	BOD COD		Turbidity NTU	Alkalinity NH ₄ ⁺ -N NO ₃ ⁻ -N		
			--- (mg/l) ---			----- (mg/l) -----		
Max.	27.3	8.8	6.6	10.2	42.5	74	1.63	3.6
Min.	3.6	6.9	2.8	4.5	6.5	24	0.01	1.7
Mean	15.8	7.8	4.0	6.2	17.1	46	0.31	2.7

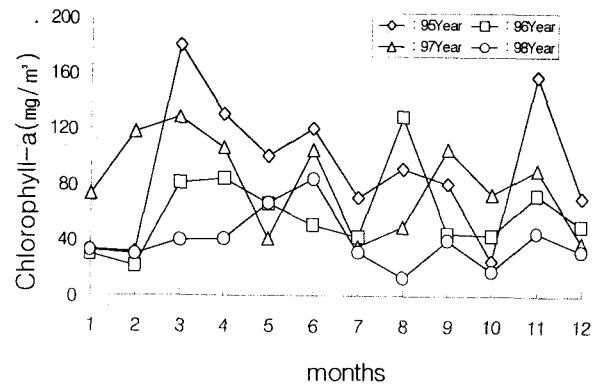


Fig. 1. Variation of chlorophyll-a concentration in Nakdong river

실험 결과

Chlorophyll-a 농도 및 조류동정

Chlorophyll-a 농도 변화

1995년부터 1998년까지 조류의 chlorophyll-a 농도를 측정된 결과 Fig. 1에서 보듯이와 같이 chlorophyll-a 월 평균 농도는 최저 20.7µg/l에서 최고 180.7µg/l 범위로 나타나 미국 EPA 부영양화 기준치인 12µg/l를 훨씬 상회하므로 수질상태가 년중 부영양 또는 과영양 상태인 것으로 평가되었다. 1995년에는 심한 갈수로 인해 자정능력 상실로 chlorophyll-a 농도가 전반적으로 높았으며, 1998년에는 적절히 내린 비의 영향으로 chlorophyll-a 농도가 낮게 나타났다. 월별로 보면 3, 4, 6, 8, 9 그리고 11월에 조류가 과다 번성하여 chlorophyll-a 농도가 전반적으로 높게 나타났다.

박등⁹⁾은 낙동강 하류 물곰의 chlorophyll-a 농도가 45~812µg/l의 범위로 나타났다고 보고하여 낙동강 하류보다 chlorophyll-a 농도가 다소 낮게 나타났다.

조류동정

월별 낙동강에 출현되는 조류분포를 알아보면 Table 2와 같이 1월에 규조류인 *stepanodiscus sp.*를 비롯하여 녹조류, 남조류 등 다양한 분포를 보였으며 우점종도 다양하였다. 각 월별로 빈번하게 나타나는 조류군은 Table 2와 같이 다양하게 나타나고 있다.

우점종 천이과정을 보면 *Stepanodiscus sp.* → *Asterionella sp.* → *Melosira sp.* → *Microcystis sp.* → *Synedra sp.* → *Stepanodiscus sp.*로 천이되었다. 초여름에는 녹조류가 우점종이며 봄, 가을, 겨울의 갈수기에는 규조류가 우세하며, 늦여름과 초가을에는 남조류가 우세하였다.

박등⁹⁾은 낙동강 하류지역에는 여름철에 *Microcystis aeruginosa*, 겨울철에는 *Stepanodiscus hantzschii*가 우점종이라고 보고하여 낙동강 중.하류지역의 우점종 천이과정은 비슷한 경향을 나타내고 있었다.

Table 2. Dominant species of algae appeared in Nakdong River

	Algae species	Dominant species
Jan.	<i>Stepanodiscus</i> , <i>Oscillatoria</i>	<i>Stepanodiscus</i>
Feb.	<i>Stepanodiscus</i> , <i>Oscillatoria</i>	<i>Stepanodiscus</i>
Mar.	<i>Stepanodiscus</i> , <i>Oscillatoria</i>	<i>Stepanodiscus</i>
Apr.	<i>Astroionella</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Scendesmus</i> , <i>Stepanodiscus</i>	<i>Stepanodiscus</i>
May	<i>Melosira</i> , <i>Scendesmus</i> , <i>Stepanodiscus</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Asterionella</i>	<i>Asterionella</i>
June	<i>Closterium</i> , <i>Eudonina</i> , <i>Anabena</i> , <i>Pediastrum</i> , <i>Melosira</i> , <i>Microtinum</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Chlorella</i>	<i>Melosira</i>
July	<i>Eudonina</i> , <i>Golenkina</i> , <i>Dictyosphaerium</i> , <i>Microtinum</i> , <i>Melosira</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Pandorina</i>	<i>Melosira</i>
Aug.	<i>Microcystis</i> , <i>Pediastrum</i> , <i>Golenkina</i> , <i>Microtinum</i> , <i>Dictyosphaerium</i> , <i>Synedra</i>	<i>Microcystis</i>
Sep.	<i>Microcystis</i> , <i>Microtinum</i> , <i>Pediastrum</i> , <i>Melosira</i> , <i>Synedra</i>	<i>Melosira</i>
Oct.	<i>Synedra</i> , <i>Pediastrum</i> , <i>Melosira</i> , <i>Fragilaria</i>	<i>Synedra</i>
Nov.	<i>Synedra</i> , <i>Stepanodiscus</i> , <i>Melosira</i> , <i>Meridon</i> , <i>Peridon</i> , <i>Fragilaria</i>	<i>Synedra</i>
Dec.	<i>Stepanodiscus</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Fragilaria</i>	<i>Stepanodiscus</i>

조류 생육에 미치는 환경요인

T-N과 T-P의 영향

조류의 생육에 미치는 영양염류인 T-N과 T-P의 영향을 보면 Fig. 2에서 보는바와 같이 총질소의 경우 1996년에는 총질소 농도가 증가할수록 chlorophyll-a 농도는 증가하였고, 총질소 농도가 감소하면 chlorophyll-a 농도도 감소하여 총질소 농도변화와 chlorophyll-a 농도의 변화가 같은 경향으로 나타났으나 1997년에는 다소 상반된 경향을 보였다. 총인의 경우 총인 농도변화가 거의 없음에도 불구하고 chlorophyll-a 농도는 큰 폭으로 증감하였다. 조류의 영양물질중 질소와 인이 물에서 가장 부족한 원소이지만 조류생장량의 크기를 결정하는 중요한 요인으로 작용하며 식물성플랑크톤이 요구하는 질소와 인의 비는 평균 10:1~20:1의 범위에 있으며 질소와 인의 비가 20:1이상일때는 인이 제한요인이고 역으로 10:1이하이면 질소가 제한요인이다. 총인 농도가 0.1~0.2mg/l 이상의 호소에서는 조류의 증식은 질소 제한하에 있지만 그 이하에서는 인이 제한요인으로 작용한다¹⁰⁾. 낙동강에는 총질소와 총인의 농도가 각각 3.4mg/l와 0.10mg/l 이상으로써 년중 과영양 상태임으로 조류생육에 필요한 영양소가 풍부하여 조류가 과대 증식할 수 있는 것으로 사료된다.

수온의 영향

조류의 생육에 미치는 수온의 영향을 보면 Fig. 3과 같이 년중 수온이 낮은 겨울철인 1996년 2월에는 chlorophyll-a 농도가 20.7µg/l로 가장 낮게 나타났는데 비하여 1997년 2월에는 chlorophyll-a 농도가 117.3µg/l로 높게 나타나 상반된 경향을 나타내었으며, 년중 수온이 가장 높은 8월의 경우 1996년에는 128.2µg/l이었던

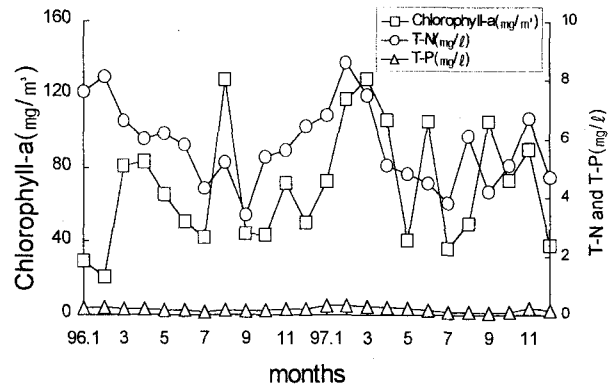


Fig. 2. Variation of Chlorophyll-a and T-N, T-P concentration in Nakdong River

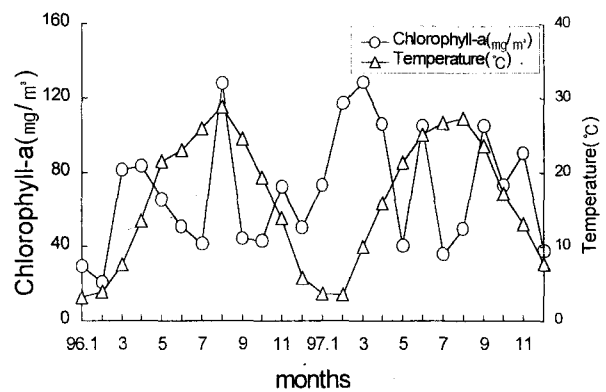


Fig. 3. Variation of Chlorophyll-a concentration and temperature in Nakdong River

데 비해 1997년에는 49.6µg/l로 낮게 나타났다. 1997년 2월에 *Stephanodiscus sp.*가 과다발생하여 chlorophyll-a 농도가 높게 나타났으며, 1997년 8월에는 적절히 내린 비의 영향으로 조류가 일시 소멸되어 chlorophyll-a 농도가 낮게 나타난 것으로 사료되며 *Stephanodiscus sp.*는 수온이 10°C 이하인 겨울철에 높은 현존량을 보여 낮은 수온에서도 증식제한을 받지 않음을 알 수 있었다.

광합성속도와 조류의 증식속도는 수온의 영향을 받는 것으로 알려져 있고 저수온에서도 조류가 생육하기에 적합한 환경요인이 갖추어지면 조류증식량이 아주 높게 나타날 수 있으며, 수온이 높은 하절기에도 강우에 의해 영양물질 희석, 일조량 감소, 고탁도 등의 복합적인 요인에 의해 광합성속도가 현저하게 저하되어 조류증식량이 감소할 수 있다.

조류에 의한 정수장애

정수장애

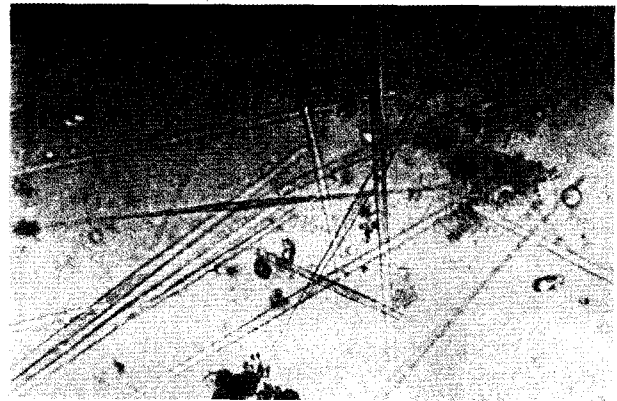
낙동강을 취수원수로 하는 마산시 칠서정수장에서 조류에 의해 발생한 정수장애 내용과 발생을 조사한 결과 Table 3에서 보는바와 같이 정수장애를 일으키는 조류는 대부분 규조류와 남

Table 3. Interference in water treatment and frequency according to algae species

	Species	Interference in water treatment	Frequency (%)	Season
Diatom	<i>Stephanodiscus sp.</i>	Filter clogging	42	spring winter
		Coagulation interference		
	<i>Synedra sp.</i>	Filter clogging	38	winter
Coagulation & sedimentation interference				
Blue-green algae	<i>Melosira sp.</i>	Filter clogging	10	summer autumn
		Taste & order		
		Filter clogging		
Taste & order				
	<i>Microcystis sp.</i>	Coagulation & sedimentation interference		

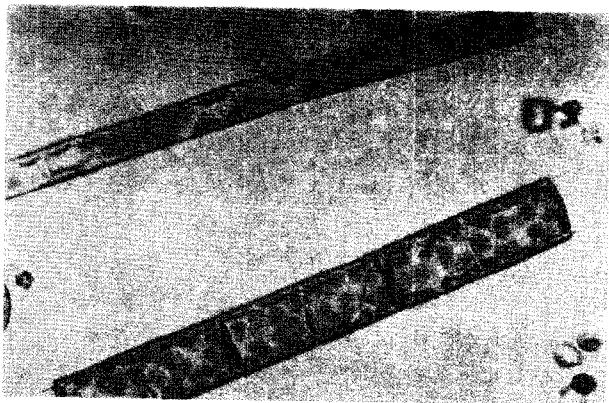


Stephanodiscus sp.

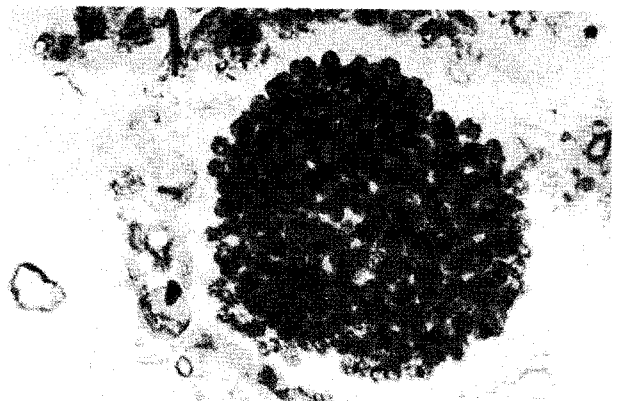


Synedra sp.

Photo. 1. Algae induced interference of water treatment



Melosira sp.



Microcystis sp.

Photo. 2. Algae induced interference of water treatment

조류로서 *Stephanodiscus sp.*, *Synedra sp.*, *Melosira sp.* 및 *Microcystis sp.* 이었으며 이들 조류에 의한 대표적인 정수장애는 여과지 폐쇄, 응집불량 및 이취미 유발이었다. 조사기간 동안 정수장애 발생율은 규조류인 *Stephanodiscus sp.*가 봄과 겨울에 42%로서 가장 높았다. 특히, *Synedra sp.*는 겨울에 38%의 발생율을 보였으며 가장 심한 정수장애를 일으켰다. *Melosira sp.*는 여름과 가을에 약10%, 남조류인 *Microcystis sp.*는 여름에 약 10%의 발생율을 나타내었다.

박동¹¹⁾은 수온이 높은 시기에는 남조류가 대량증식하여 수체 내 pH상승, 산소고갈, 어류의 폐사, 이취미발생 및 정수처리과정의 여과폐쇄등 수이용상에 많은 문제점을 일으켰다고 보고하였다.

정수장애 발생시 조류 개체수

조류에 의한 정수장애가 발생하였을 때의 조류 개체수를 조사해 본 결과 Table 4에서 보는바와 같이 크기가 작고 둥근 *Stephanodiscus sp.*는 원수 1ml에 1,820개체수가 존재할 때 정수장애가 나타난 반면 길이가 길고 바늘 모양인 *Synedra sp.*는 원수 1ml에 800개체수가 존재할 때 정수장애가 발생되었다. *Melosira sp.*는 1,650개체수, *Microcystis sp.*는 입체적으로 집적하여 무리를 이루고 있어 정확한 개체수를 셀수 없었으므로 군으로 표기하여 1ml에 16개군이 존재할 때 정수장애가 발생하였다.

정수장애가 발생했을 때의 조류 최대 개체수를 보면 원수 1ml당 *Stephanodiscus sp.*는 46,000개체수, *Synedra sp.* 12,800개체수, *Melosira sp.* 8,360개체수, *Microcystis sp.*는 58개군이 출현되었다.

조류가 응집에 미치는 영향

무기응집제와 콜로이드 및 현탁물질과의 응집반응은 응집제 양이온이 가수분해된 착화합물과의 표면전하 중화에 의한 응집과 생성된 미세플록이 가교반응에 의해 플러화되는 2단계 반응으로 이루어지며 조류 및 조류유래의 유기물질이 이들의 한쪽 혹은 양쪽 모두의 반응을 방해하여 상등수의 탁도 상승, 상등수에 응집제 양이온 잔류, 응집제 주입량 증가와 같은 응집침전장애를 일으키는 것으로 알려져 있다. 또한 조류로부터 분비되는 세포의 유기물질(EOM)이나 세포표면유기물질(SOM)에 의해 조류표면의 친수성이 아주 높으면서도 강한 (-)전하를 띠고 있어 응집저해를 불러일으킨다¹⁰⁾.

Table 4. Algae standing crops initiated time of interference in water treatment

Species	Algae standing crops(cells/ml)
<i>Stephanodiscus sp.</i>	1,820 ~ 46,000
<i>Synedra sp.</i>	800 ~ 12,800
<i>Melosira sp.</i>	1,650 ~ 8,360
<i>Microcystis sp.*</i>	16* ~ 58

* : population/ml-population of three dimensional

탁도 제거

조류가 응집침전에 미치는 영향을 조사하기 위하여 chlorophyll-a 농도와 응집제인 Alum 주입량에 따라 Jar - test를 행하여 처리수의 탁도를 측정된 결과 Fig. 4와 같이 초기 원수 탁도가 9.2NTU이며 chlorophyll-a 농도가 18.9µg/l 이고, Alum 주입량은 40mg/l 일 때 탁도는 2.0NTU가 가장 양호했으며, chlorophyll-a 농도가 87.2µg/l 과 154µg/l 일 때 Alum주입량은 각각 50mg/l 과 75mg/l 일 때 탁도가 가장 양호하였다.

응집제 PACS 주입량에 따른 탁도 변화를 보면 Fig. 5에서 보는바와 같이 초기 원수 탁도가 9.2NTU이고 chlorophyll-a 농도가 18.9µg/l 일 때 최적 PACS 주입량은 16mg/l로서 처리수 탁도가 2.1NTU로 양호하였으며, 초기원수 탁도 12.3NTU이고 chlorophyll-a 농도가 154.1µg/l 일때는 PACS를 35mg/l로 증가 투입하여야 처리수 탁도가 2.4NTU로 양호하여 chlorophyll-a 농도가 높을수록 응집제 주입량을 증가시켜야 제거율이 향상되어지는 경향을 볼수 있었다.

이상의 결과로 미루어 볼 때 조류의 다량증식은 수중의 pH를 상승시켜 응집제의 용해도를 증가시키므로 응집제 종류에 따라 다소 차이는 있겠지만 응집제 형성을 저해하여 응집 침전을 방해하므로 기대하는 처리수 탁도를 위해서는 과량의 응집제 주입이 요구되는 것으로 사료된다.

조류 개체수 제거

응집제 Alum 주입량에 따른 조류 종류별 개체수 제거율을 조사해 본 결과 Fig. 6에서 보는바와 같이 *Stephanodiscus sp.*는 원수 1ml당 36,000개체수가 존재할 때 Alum 35mg/l를 주입시 제거율이 58%이었으나 Alum을 60mg/l으로 증가 주입하였을 때 85%의 제거율을 보였다. *Synedra sp.*는 Alum 50mg/l 일 때 79%의 제거율을 보였으며, *Melosira sp.*와 *Microcystis sp.*는 각각 Alum 주입량을 40mg/l와 60mg/l 일 때 86%의 제거율을 보였다.

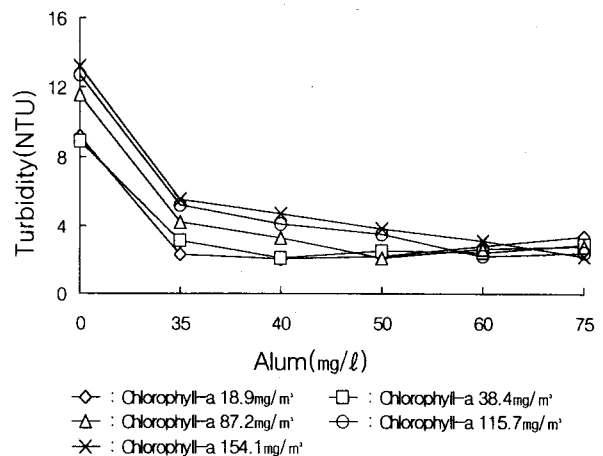


Fig. 4. Variation of turbidity according to chlorophyll-a concentration and Alum dosage

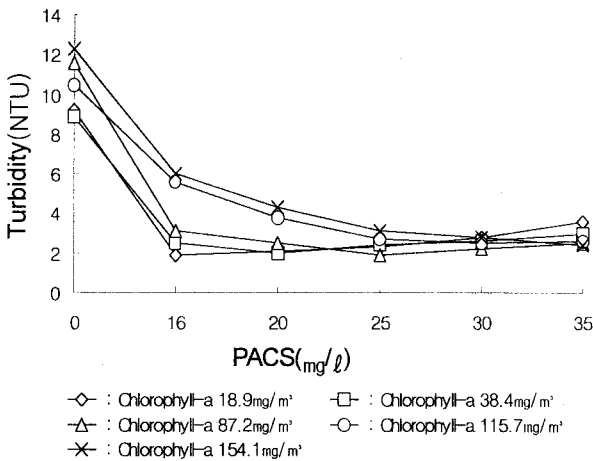


Fig. 5. Variation of turbidity according to chlorophyll-a concentration and PACS dosage

응집제 PACS를 주입하였을 경우 Fig. 7에서 보는바와 같이 *Stephanodiscus*는 PACS 30mg/l를 주입시 83% 제거율을 보였으며, *Melocira sp.*는 PACS 20mg/l 주입시 87%의 제거율을 나타내었다.

따라서 조류종류와 유입 개체수 및 응집제 종류에 따라 다소 차이는 있지만 응집제를 최적으로 주입하면 응집침전에서 조류의 개체수를 약 80%이상 제거할 수 있었다.

응집제 PAC를 사용했을 경우 조류 제거율은 조류의 형태나 조류가 생산하는 유기물질에 의해 조류의 종류에 따라 다르며, 규조류, 녹조류, 남조류 순으로 처리성이 떨어졌고 같은 규조류라도 *Chlorella sp.*, *Microcystis viridis*, 및 *Nitzschia*의 제거율은 높지만 *Synedra sp.*의 제거율은 낮았으며, *Melocira granulata* (19,390cell/ml)는 PAC 최적응집주입량에서 95%의 제거율을 보였으며, *Microcystis aeruginosa*는 PAC 90mg/l 주입시 90% 제거되었다고 보고하였다¹⁰⁾.

조류가 여과에 미치는 영향

침전에서 침강되지 않은 조류는 급속모래여과지로 유입되어 퇴적되며 퇴적된 조류의 크기는 점토 같은 부유물질이 완전히 응결되지 않은 플럭보다는 더 크다. 그러므로 조류는 여과지로 더 깊이 퇴적 할 수 없고 모래여과지의 표면층에서 퇴적되기 때문에 손실수두가 급격하게 증가한다. 일반적으로 1~3일 이상 여과할 수 있었던 것이 10시간 이하, 경우에 따라서는 수시간 혹은 그 이하에서 폐쇄되어 버리는 경우도 있으며, 연속여과시간이 단축되어지기 때문에 역세척 회수가 증가하여 정수효율의 현저한 저하를 가져오게 된다.

여과지속시간

조류에 의한 여과지 폐쇄 장애를 알아보기 위해서 여과지에 유입되는 조류개체수에 따른 여과지속시간을 측정한 결과 Table 5에서 보는바와 같이 *Stephanodiscus sp.*는 여과지 유입 개체수

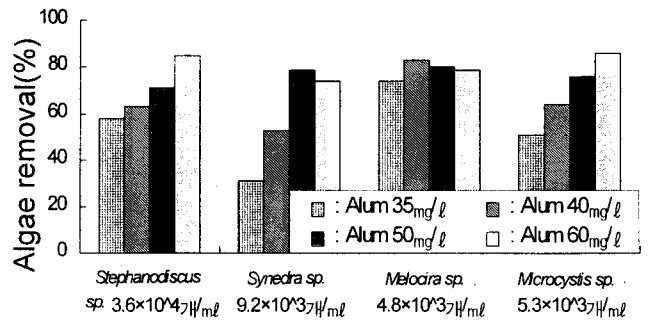


Fig. 6. Removal rate of algae standing crop according to Alum dosage

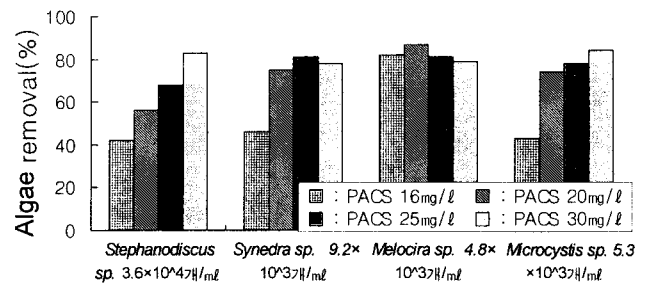


Fig. 7. Removal rate of algae standing crop according to PACS dosage

가 1ml당 2,000개일 때 여과지속시간이 23hr인 반면 *Synedra sp.*는 1ml당 1,500개일 때 여과지속시간이 8hr으로 여과지를 조기폐쇄시켰다.

여과지 폐쇄를 일으키는 대부분의 조류는 규조류로서 단단한 껍질을 가지고 있어 사멸하여도 껍질은 분해되지 않고 장시간 동안 그 형태를 유지하고 있으며, 특히 *Synedra sp.*가 여과지 폐쇄의 원인이 큰 것은 다른 조류종에 비해 침전에서 제거율이 낮아 여과지에 부하를 많이 주며 그 껍질 길이가 아주 커서 여층표면에서 역류가 빨리 진행되어 여층의 유효공극을 감소시키기 때문인 것으로 생각된다.

*Synedra acus*는 응집침전 제거율이 다른 대형 규조류가 90% 이상인 것에 비해 70% 수준이며, 통상은 2~3일 동안 여과를 계속할 수 있지만 *Synedra acus*가 여과지 유입수중에 증가하면 여과지속시간은 짧아져 5~6시간까지 단축되었다고 보고하였다¹²⁾.

조류 역류

여과지에서 조류의 진입깊이를 조사하기 위하여 여재깊이에 따른 조류 역류율을 측정한 결과 Table 6에서 보는바와 같이 크기가 작고 둥근 *Stephanodiscus sp.*는 안트라사이트 표층 10cm까지에서 98% 역류되었고, 길이가 길고 바늘 모양인 *Synedra sp.*는 안트라사이트 표층 5cm까지에서 역류율이 97%로 대부분 안트라사이트 표층 10cm 깊이에서 역류되었다.

Table 5. Filtration continuous time according to influent of algae standing crops

	<i>Stephanodiscus sp.</i>	<i>Synedra sp.</i>	<i>Melosira sp.</i>
Influent(cells/ml)	2,000	1,500	1,000
Size(μ m)	4.5~33	50~400	4~14
Filtration continuous time(hrs)	23	8	15

Table 6. Removal rate of algae standing crops according to bed depths (%)

Bed depths(cm) (Anthracite)	<i>Stephanodiscus sp.</i>	<i>Synedra sp.</i>	<i>Melosira sp.</i>
5	90	97	95
10	8	3	5
15	2	-	-
20	-	-	-

여층내에서 진입한 조류는 여과초기에 어느정도의 여과깊이에서 포착되어지면 여과 경과시간에 따라 점점 여과층의 깊은쪽으로 진행되지는 않았다. 이러한 현상은 크기가 큰 가는 형태 규조류의 퇴적이 일반적인 급속모래여과 메카니즘 같은 표면 응집, 응결로 수행되는 것이 아니라 모래입자 사이의 틈에서 기계적인 억류에 의해 수행되기 때문이다.

적 요

낙동강 원수에 대한 정수처리과정의 주요 공정인 응집과 여과에 미치는 조류의 장애를 조사하기 위하여 낙동강 하류지역인 칠서정수장 취수원에서 1995년 1월부터 1998년12월까지 발생하는 계절별, 종별 조류 천이과정과 조류가 응집과 여과에 미치는 영향을 실제 정수장에서 적용 사례를 중심으로 조사한 결과는 다음과 같다.

취수원인 낙동강의 Chlorophyll-a 농도는 최저 20.7 μ g/l에서 최고 180.9 μ g/l 이었고,총질소와 총인인 농도는 각각 3.4mg/l와 0.1mg/l 이상으로 년중 과영양상태로 평가되었다. 조류 우점종은 *Stephanodiscus sp.* \rightarrow *Asterionella sp.* \rightarrow *Melosira sp.* \rightarrow *Microcystis sp.* \rightarrow *Synedra sp.* \rightarrow *Stephanodiscus sp.*로 천이되었다. 정수장에는 여과지 폐쇄 및 응집, 침전불량 이었고, 장애 발생 빈도는 *Stephanodiscus sp.*와 *Synedra sp.*가 각각 42%와 38%이었다. 조류 개체수가 *Stephanodiscus sp.*와 *Synedra sp.*는 각각 1,820cells/ml와 800cells/ml일 때 정수장애가 시작되었다.

Chlorophyll-a 농도가 18.9 μ g/l 일 때 Alum과 PACS의 최적응집제 투입량은 각각 40mg/l 과 16mg/l 에서 처리수 탁도가 가장 양호하였으며, Chlorophyll-a 농도가 154.1 μ g/l 로 증가될 때 Alum과 PACS의 최적응집제 투입량은 각각 75mg/l 과 35mg/l 에

서 처리수 탁도가 양호하여 Chlorophyll-a 농도가 증가할수록 응집제 투입량이 증가하였다.

응집제를 최적으로 투입하였을때의 조류 제거율은 *Stephanodiscus sp.* 경우 Alum과 PACS 투입량이 각각 60mg/l 과 30mg/l 일 때 각각 85%와 83%이었으며, *Synedra sp.* 경우 Alum과 PACS 투입량이 각각 50mg/l 과 25mg/l 일 때 각각 79%와 81%이었다.

여과지에 유입된 *Synedra sp.*의 개체수가 1,500cells/ml일 때 여과지 폐쇄를 유발하였고, 이 때 여과지속시간은 8hr이었다. 여과지 폐쇄를 일으키는 대부분의 조류는 안트라사이트 표층으로부터 10cm 깊이에서 억류되었으며, *Synedra sp.*는 표층 5cm 깊이에서 97% 억류되었다.

참 고 문 헌

1. 신항식 (1991) 상수의 고도처리 기법. 한국수도협회지. 54 : 32~72
2. 환경부. 전국 호소 환경현황조사 및 주요호소영향권역설정 (1994)
3. 하경, 김현우, 주기재 (1995) 낙동강 하류의 식물성 플랑크톤 천이과정. 인제대학교 부설 환경연구소 제4회 심포지움 발표논문집 : 21~39
4. 정팔진 (1996) 상수의 조류에 의한 문제점과 해결방안. 제9회 한국수도협회 심포지움 논문집 : 99~100
5. 조주석, 김정배, 이만호, 김중구, 소명이, 유일수, 김윤용 (1995) 침전지의 flocc 부상원인 및 제어방안에 대한 고찰. 부산광역시 상수도본부 수질검사소 상수도 수질개선 대책 세미나. 65~77
6. Scgindler, D. W. (1971) Carbon, nitrogen and phosphorus and the eutrophication of fresh water lakes. j. Phycol. 7 : 321~329
7. 정 (1993) 한국담수조류도감 아카데미서적
8. 환경부 (1994) 수질오염공정시험방법
9. 박흥기, 정종문, 최은재, 송미정, 유상원, 서인숙 (1998) 낙동강 하류(물금)의 식물플랑크톤과 수질과의 관계. 부산광역시 상수도본부 수질검사소 상수도연구보. 4 : 67~88
10. 낙동강환경관리청 (1998) 상수도에서의 조류장애 및 저감대책
11. 박혜경, 천세억, 박승익, 이문호, 유재근 (1991) 국내 주요 댐호에 있어서 계절별 및 조류종 천이. 한국수질보전학회지. 8 : 150~158
12. Hiroshi Konno, Asuhisa Sato, Yasumoto Magara (1997) 가는 형태 규조류의 길이와 여과입자의 크기가 급속모래 여과 공정에서 여과지 폐쇄에 미치는 영향. 한국수도협회. 24(1) : 41~47