

응집과 여과를 이용한 조류의 초고속 제어에 관한 연구

High-rate Removal of Algae by Using of Filtration System with Coagulant Addition

윤상린 · 김동하 · 이영규

Yun, Sang Leen · Kim, Dong Ha · Rhee, Young Kyu

국민대학교 건설시스템공학부

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University

Abstract

Abundant growth of algae in raw water sources caused by eutrophication brings about significant side effects on water supply, such as taste and order problem, oxygen depletion, toxic material secretion, and filter clogging problem in water treatment process, etc. The purpose of this research is to remove the algae and phosphorus compounds in the Pal-dang reservoir promptly by using the upflow filtration system with coagulant addition. The filter tower consisted of sand media and sieve filter with air back-washing process.

By using coagulation and filtration with $132\mu\text{m}$ pore size filter, about 55% and 70% of algae and phosphorus compounds were removed respectively. The experimental conditions were as follows; head loss of 0.2m, linear velocity of 200m/day, and filtration flux of $1000(\text{L}/\text{m}^2/\text{day})$. In the case of filtration with cartridge type filter of $25\mu\text{m}$ pore size, the filtration flux was about 7800 LMH, and the removal ratios of COD, SS, T-P, and Chlo-a. were 61%, 99%, 54%, and 98%, respectively. However, high pressure air back-washing process with should be required for the maintenance of such high filtration flux.

1. 서론

환경부 자료에 의하면 우리나라에는 18,797개의 호소가 있는데, 이러한 호소 등은 대부분 폐쇄성 또는 준 폐쇄성 수역 공간으로서, 현재 대부분의 호소들은 하천을 통한 오염물질의 유입으로 인해 부영양화 현상을 나타내고 있다. 특히 1996년 낙동강에서 남조류의 독소 생산문제, 대청호에서 이취미 문제 등으로 호소들은 이미 수자원으로서의 가치를 잃어가고 있다. 한강수계의 대표적인 호소인 소양호 및 팔당호에서도 조류의 증식이 보고되고 있어서 수도권지역의 상수원 보호를 위해 대책

마련이 시급한 실정이다. 우리나라의 수계들의 오염이 심화되면서 수자원으로서의 가치를 상실하고 갈수록 양질의 수자원 고갈이 예상되고 있지만 생활수준의 향상과 더불어 1일 1인당 물 사용량은 계속해서 증가세에 있다. 1996년 자료에 의하면 810개의 취수장에서 물을 취수하고 있는데 90% 이상을 하천수, 저수지 등의 표류수에 의존하고 있어서 각종 수질오염에 취약한 구조적인 문제점을 안고 있다.^{1) 2)}

팔당호를 비롯한 대부분의 상수원 호소의 경우 수질오염이 나날이 심각해지고 있는 실정이며, 특히 질소와 인의 유입과 이로 말미암은 부영양화

현상 및 조류의 급속한 증식과 녹조현상 등으로 인하여 상수원으로서 수질이 갈수록 악화되고 있다. 이와 같은 오염의 근본적인 해결책은 하수를 비롯한 오수 및 폐수의 완벽한 처리에 의해서만이 가능할 것이기 때문에 향후 상당기간 이와 같은 조류의 이상 증식에 의한 수질악화는 피할 수 없을 것으로 판단된다. 상수원에서의 조류의 증식은 무엇보다도 상수의 맛과 냄새를 유발하게 되어 상수의 가치를 크게 떨어뜨리게 되므로 정수장에서 적절한 처리를 위한 추가 시설의 필요성 또한 나날이 증대되고 있는 실정이나, 현재 이에 적합한 기술의 개발이 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다.³⁾

서울시의 한강 생태계 조사연구에 따르면 현재 한강과 팔당댐 조사에서 발견되는 조류의 종류는 규조류 70종, 녹조류 43종, 남조류 13종, 편모조류 12종, 그리고 유글레라 7종이라고 하며 주로 문제가 발생되고 있는 종은 남조류로는 *Micricystis* sp., *Anabaena* sp. 녹조류로는 *Scenedesmus* sp. 등이 있다.⁴⁾

외국의 경우 인의 응집침전(Flocculation)은 호소수 중의 인을 응결, 침전 시키는 방안으로 용해성 인산염의 고착이 검토되었는데, 황산 알루미늄에 의한 인의 침전이 덴마크의 린비(Lynby)호, 스웨덴의 랭(Lång)호 등 많은 호소에서 시험되어 졌다. 심층수와 표층수에 alum을 적용한 가장 성공적인 예는 미국의 메디칼(Medical)호로 1977년에 5주에 1회 이상의 주기로 표층과 수심 4.5m에 alum이 주입되었다. 그 결과 Chlo-a와 인산염 농도가 획기적으로 감소하였다.⁵⁻⁸⁾

일본의 한 연구소에서 폐지 조각시 부산물로 발생하는 소각재(incinerated ash)를 입상상태로 성형하여 수계오염원에 투입한 결과 질소, 인 및 유기물 처리성능을 약 60% 향상시켰다고 보고되고 있다. 위와 같은 여재를 이용하여 수계오염원내 존재하는 질소, 인 및 조류를 효율적으로 처리할 수 있는 연속 반응의 물리·화학적 처리공정을 개발하고 있으며 생물막 형성에 따른 생물학적 공정 연구의 필요성을 시사하고 있다. 또한 여재의 재료 물질의 개발을 위해 여러 방법이 연구되고 있다. 일본의 경우 수량이 적고 오염농도가 높은 중소 하천, 수로를 중심으로 전국에 걸쳐 현재 230개소에서 각종 정화시설이 설치되어 시험 중에 있고 대표적 오염호수인 Biwa호의 경우 "Biwa호 수

질정화공동 실험센터"를 설치하여 시범 정화 연구사업을 진행하고 있다.^{2,9)}

본 연구에서는 팔당댐으로 흘러 들어오는 경안천과 같은 오염된 지천 중에 함유된 조류와 인성분을 제거하기 위하여 응집제와 금속 sieve망을 복합시킨 여과탑 형태의 분리장치를 개발하고자 한다. 즉 하천에서의 적용이 가능하도록 최대한 구조 및 설치가 간단하고, 저렴한 운전비용으로 가동할 수 있는 고flux(1000L/m²/hr 이상)의 필터형 분리장치를 개발하여, 하천 및 호소수중에 함유된 조류성분을 포함한 고형물질을 효과적으로 분리 제거할 예정이다. 동시에 응집제의 적정량 투입에 의하여 호소 및 하천수 중의 인의 농도를 최소화시킴으로 인하여 부영양화를 방지하며 아울러 조류의 증식을 억제시킴으로서, 팔당호의 수질을 일급수 수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2. 실험 방법

2. 1 조류배양¹⁰⁻¹⁴⁾

조류배양에 사용한 원수는 서울 시내의 A 연못의 원수를 채취하여 조류를 배양하였고, 조류 배양에 사용된 조의 용적은 192L, 조류의 광합성에 사용된 빛은 형광등 40W 1개, 20W 3개를 사용하였고, 밤에는 온도를 약 30℃로 유지하여 배양하였다. 또한 영양물질(KNO₃, K₂HPO₄, KH₂PO₄, MgSO₄·7H₂O, CaCl₂·H₂O, Fe₂(SO₄)₃, NaHCO₃)을 적정 주입하여 조류 증식을 하였다. 조류증식에 사용한 영양물질의 주입량은 표 1과 같다. 배양된 조류는 농축시켜 냉장고에 보관한 후 실험에 사용하였고, 입자가 큰 조류는 Homogenizer로 미

Table 1. Characteristics of Algae cultivate

	Chemicals	Amount(mg/L)
macro nutrient	KNO ₃	80
	K ₂ HPO ₄	11.25
	KH ₂ PO ₄	8.44
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	250
	CaCl ₂ ·H ₂ O	15.47
	Fe(SO ₄) ₃	4.06
	NaHCO ₃	167.97

세하게 분쇄한 후 실험에 사용하였다. 그리고 웅집 실험과 여과탑을 이용한 제거 실험에 사용된 원수는 배양액을 희석하여 사용하였다.

광합성을 하는 조류는 Chlo-a를 함유하고 있으며 이 함량은 조류 건조중량의 1-2 %정도이다. Chlo-a의 측정엔 먼저 적당량의 시료를 GF/C glass fiber filter로 거른 후 거른 필터를 90% 아세톤용액에 담가 Homogenizer 미세하게 간 후 12시간 이상 어두운 곳에서 냉장 보관하여 엽록소를 추출한다. 추출된 용액은 상등수만을 취해 750, 664, 647, 630 nm에서 흡광도를 측정하여 아래의 식에 따라 Chlo-a의 양을 측정하였다.¹⁵⁾

$$\text{Chlo-a(mg/m}^3\text{)} = \left(\frac{11.85(OD664) - 1.54(OD647) - 0.83(OD630)}{V_{\text{sample(L)}}} \right) \times V_{\text{extract(mL)}}$$

OD664, OD647, OD630은 각각의 파장대에서 폭 1cm의 석영셀에 투과한 후 흡광도이고, 각각의 흡광도는 OD750에서의 흡광도를 측정하여 탁도에 대한 보정을 해 주었다

배양수와 배양조내의 침전 조류는 광학현미경 (AFX-II Nikon Japan)을 사용하여 배율 100-400 배에서 촬영하였다. 본실험에 사용된 수질 분석 항목별 분석방법을 정리하여 표 2 에 나타내었다.

2.2 고속 여과탑에 의한 조류 및 인의 제거 실험

본 실험에 사용한 고속여과탑 공정은 원수를 상향류식 흐름에 의하여 모래 및 stainless sieve층을

통과시켜 여과에 의하여 조류와 인을 제거시키는 원리를 응용하여 개발한 것이다. 실험에 사용한 여과탑은 그림 1 및 그림 2와 같이 구성되었으며, 여과탑 내부는 모래층과 sieve, 역세 장치로 구성하였다.

주요 실험 변수로서는 표 3과 같이 수두차, 체류시간, 웅집제등의 운전조건의 변화를 주었으며, 각 운전조건에서의 flux 및 SS, chlo-a, P의 제거효율을 측정하였다. 공기를 이용한 역세에 의한 역세효과를 모래층의 두께와 stainless sieve의 입경을 변화시켜가면서 flux 변화와 각 오염물질의 제거효율을 측정하였다.

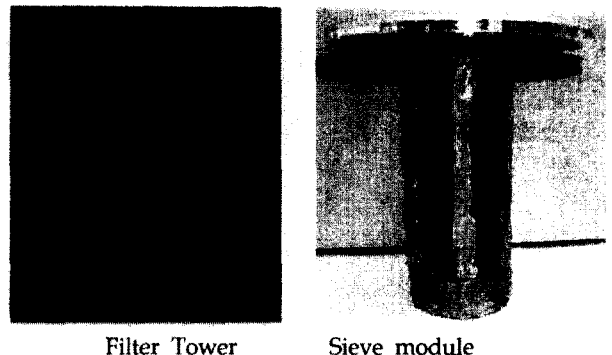
하천수 중에 포함된 인 성분을 제거하기 위하여 웅집제를 이용한 웅집실험을 수행하였다. 웅집제는 PAC(Al₂O₃ 10.3%) PAC_s(Al₂O₃ 17%)을 10배 희석하여 각각 1.03%, 1.7%로 투여하였으며

Table 3. Experimental Conditions

	Condition
Head Loss	0.1m, 0.2m, 0.3m, 1m
Retention Time (min)	1.5, 2.5, 4.5, 6, 8, 10
sieve size	43, 62, 77, 92, 132 μ m
Sand Size	2mm - 3.5mm
Back Washing	Air(2atm), Water
Coagulants	PAC(Al ₂ O ₃ 1.03%), PAC _s (Al ₂ O ₃ 1.7%)

Table 2. Analytical methods¹⁵⁾

Items	Method
SS	2540D, Closed Reflux, Titrimetric Method
pH	pH meter (ORION 501 pH Meter)
T-N	4500N Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
T-P	4500P, Ascorbic acid Method
Chlo-a	Standard Method (Homogenzer)



Filter Tower Sieve module

Fig 1. Filter Tower and sieve module

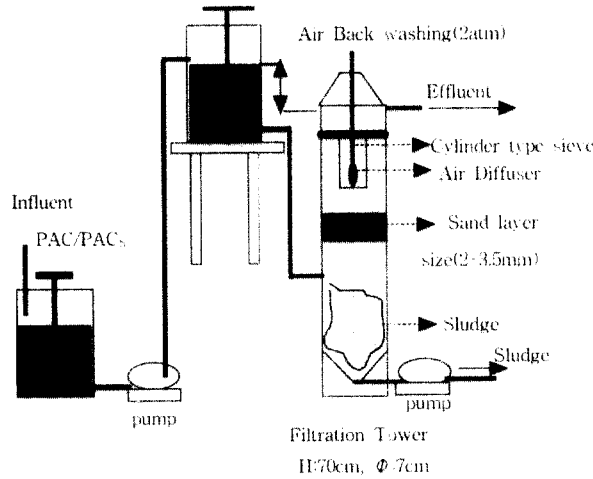


Fig 2. Schematic Diagram of Experimental Setup

Jar-Test에 의해 최적의 응집제 투여량을 결정한 후 연속운전을 시행하였다. 이때, 인과 함께 SS 및 chlo-a의 제거효율도 측정하였다.

2.3 Cartridge Filter에 의한 조류 및 인의 제거 실험
본 실험에서는 막 면적 0.25m² (길이 : 12.5cm, 직경 : 6.4cm)인 Cartridge 타입의 filter(50µm, 20µm, 5µm, 1µm, 0.5µm)를 이용하여 각각의 flux 및 처리효율을 알아보았다.

실험에 사용한 Cartridge filter는 그림 3과 같이 장치하였으며, 실험 조건으로 흡입 3분에 역세 30초를 연속 3회씩 실시하였고 여기서 역세압은 3기압으로 조절하였고 원수중의 질소와 인은 인위적

으로 KNO₃과 K₂HPO₄를 넣어 농도를 조절하였다.

기타 실험장치 구성으로 유량조절을 위한 유량 조정조와 50L 원탱크 반송기 System에 시료 30L를 채우고 시료혼합을 위한 교반 장치와 중앙에 필터를 설치하여 진공 펌프를 이용하여 Section으로 여과액을 뽑아 내었으며, 3기압의 공기를 이용하여 주기적으로 역세를 실시하였다.

3. 실험 결과 및 토론

3.1 조류배양

조류의 배양은 원수에 영양물질(KNO₃, K₂HPO₄, KH₂PO₄, MgSO₄·7H₂O, CaCl₂·H₂O, Fe₂(SO₄)₃, NaHCO₃)을 주입하여 T-N과 T-P의 감소율에 따른 조류의 성장 추세를 조사하였다. 온도는 약 30°C로 유지하였고 수시로 영양물질을 투여하여 배양하였다.

그림 4는 날짜별 조류증식을 나타낸 그림으로 영양물질의 감소추세와 조류증식의 관계가 뚜렷하게 나타났다. 약 12일간의 배양결과, 조류에 의한 SS농도가 70mg/L에서 240mg/L로 3배 이상 증식하여 상당히 빠르게 조류의 배양이 가능함을 알 수 있었다.

조류의 성장추세를 보면 다른 생물과 마찬가지로 S자형을 이루면서 성장하였다. 주로 성장한 종

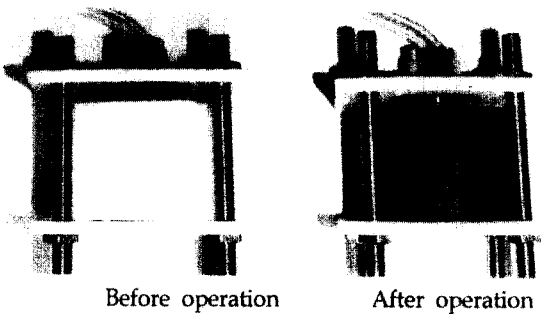


Fig 3. Cartridge Filter Module

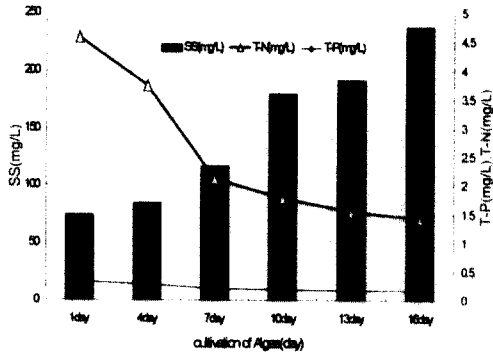


Fig 4. Change of Algae increase

은 녹조류로 추정된다.

3. 2 수두변화에 따른 flux의 비교

수두를 0.1m에서 0.3m까지 변화시켜 가면서 수두 변화에 따른 여과탑의 투과 flux 및 조류성분의 제거효과를 실험하였다. 실험에 사용한 원수는 SS 50mg/L, chlo-a 49.17mg/m³, sieve의 입경 132 μm, 체류시간 1분 30초로 운전하였다.

그림 5는 수두차 0.2m에서 flux의 변화를 나타낸 것으로 투과 flux는 최고 6000 LMH에서 시작하여 4.5시간 운전 후 3945 LMH정도로 유지되었다. 본 실험에서는 30분 간격으로 air를 사용하여 1분간 역세를 실시하였으며, 그 결과 air 역세에 의하여 어느 정도의 flux 회복률을 얻을 수가 있었다. 또한 수두차 0.1m에서 운전시 최고 4000 LMH에서 최저 1500 LMH정도가 유지되었다. 0.1에서 0.3m까지 수두차를 변화 시켰을 때의 flux의 변화는 그림 6에 나타내었다. 수두차 0.3m의 경우 flux의 값이 0.2m 경우보다 낮게 나타나고 있는데 이는 빠른 투과유속의 결과 sieve망 사이에 SS와 조류성분의 폐색이 보다 빠르게 일어났기 때문인 것으로 추정된다.

그림 7는 수두차에 따른 SS의 제거효과를 나타낸 것으로 수두차 0.3m시 35.7%, 0.2m시 33.4%, 0.1m 39.8%의 SS 제거효과가 나타나 수두차에 따른 SS의 제거효과는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3. 3 응집제에 의한 조류 및 인의 제거효과

응집반응에 의한 인과 조류 성분의 제거효과를 알기 위하여 PAC(Poly-aluminum Chloride)와

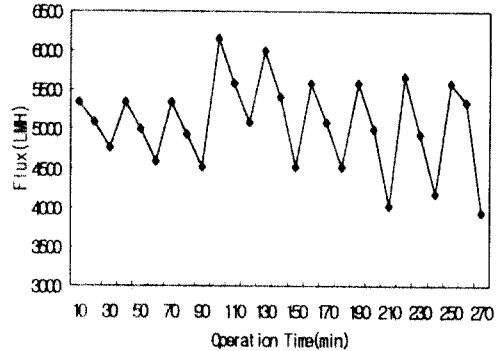


Fig 5. Changes of Filtration Flux at Head Losses 0.2m

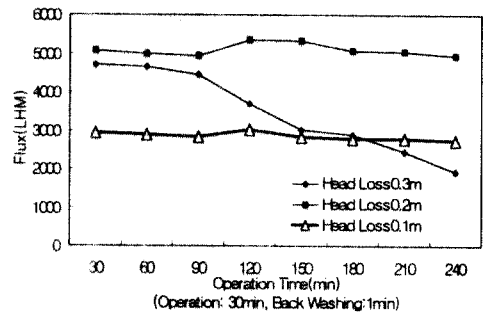


Fig 6. Changes of Filtration Flux at Different Head Losses

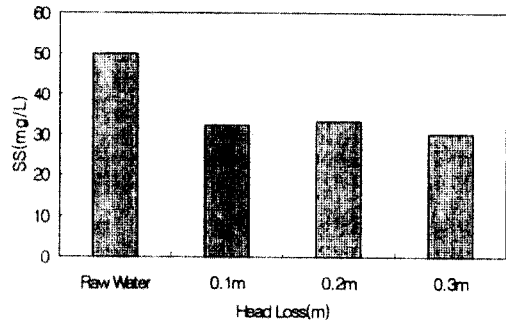


Fig 7. Changes of SS at Different Head Losses

PAC₅(PAC-Strong)의 두 가지 응집제를 사용하여 Jar-Test를 실시하였다. Jar-Test 결과, 그림 8에서와 같이 300mL 반응 volume에 대하여 PAC(Al₂O₃ 1.03%) 1mL를 투여한 다음 급속(250rpm, 1분), 완속(50rpm 10분) 교반 후 침전시켰을 때 SS 85.4%, chlo-a 97.76%가 제거되는 것은

로 나타나, 최적의 응집효과를 얻을 수 있음을 알게 되었다.

PAC_S(Al₂O₃ 1.7%)의 경우에는 그림 9에서와 같이 300mL의 반응 volume에 대하여 0.8mL 투여시 SS 약 96%, Chlo-a 94.2%, T-P 93.1%의 뛰어난 처리효과를 얻을 수 있었다.

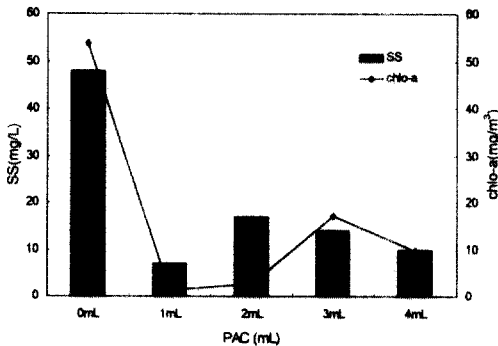


Fig 8. Removal Efficiency by PAC(Al₂O₃ 1.03%)

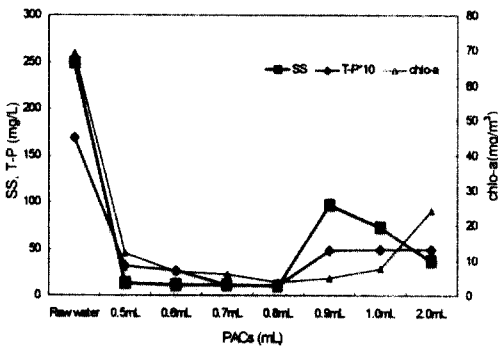


Fig 9. Removal Efficiency by PACS(Al₂O₃ 1.7%)

3. 4 체류시간에 따른 SS와 Chlo-a의 제거효과

표 4와 그림 10은 수두차 0.1m에서 체류시간의 변화에 따른 SS 및 Chlo-a의 제거효율을 나타낸 것으로 이때 응집제 PAC(Al₂O₃ 1.03%)를 원수1L 당 3.3mL 투입한 후 급속 교반(250rpm, 1분)과 완속교반(50rpm, 10분)후 여과탑을 통과시켰다. 체류시간 10분에서의 제거율은 SS 90.4%, Chlo-a 90%로 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 상대적으로, 체류시간 2분으로 운전시 SS 13.4%와 Chlo-a 39.3%의 저조한 처리효율을 얻을 수 있었다. 체류시간 8분이상의 경우에는 양호한 수준의 제거율을

얻을 수 있었지만, 6분 이하의 짧은 체류시간에서는 제거율이 급격하게 떨어지는 경향을 볼 수가 있었다.

그림 11은 2시간 연속 운전후의 체류시간별 flux값을 나타낸 것으로 원수중의 SS농도가 230mg/L로 상당히 높게 진행된 관계로 전반적으로 flux가 낮게 나왔으며, 체류 시간이 길어질수록 flux의 값이 직선적으로 감소하고 있는 경향을 보여주고 있다. flux와 조류의 제거 성능 결과를 고려해 볼 때, 반응탑내 체류시간 8분, 수두 0.1m에서 연속 운전시 조류 및 SS의 제거효율이 60%이상, 투과유속 1000 LMH 이상의 결과를 얻을 수 있을 것으로 추정된다.

Table 4. Removal Efficiency of SS and Chlo-a with Different Retention Time

	Raw Water	2.5min	4.5min	6min	8min	10min
SS (mg/L)	230	199 (13.4%)	183 (20.4%)	178 (22.6%)	70 (69.5%)	22 (90.4%)
Chlo-a (mg/m ³)	35.6	21.6 (39.3%)	18.2 (49%)	24.8 (30.3%)	17.8 (55%)	3.56 (90%)

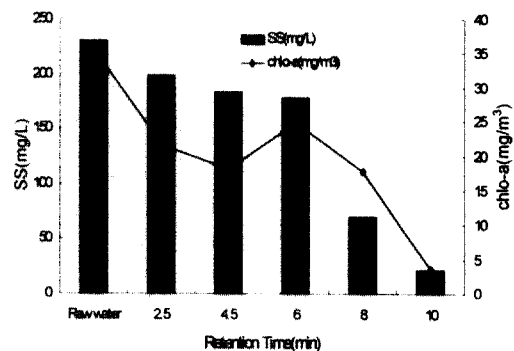


Fig 10. Removal Efficiency of SS and Chlo-a with Different Retention Time

3. 5 Cartridge Filter(5μm, 25μm)에 의한 조류제어

Cartridge Filter의 pore size에 따른 오염물의 제거효과는 Table 5에 나타났다. 응집제를 사용하지 않고 filter를 통과 시켰을 경우의 값으로 0.5 μm의 경우 SS 91%, T-N 25%, T-P 27%, Chlo-a

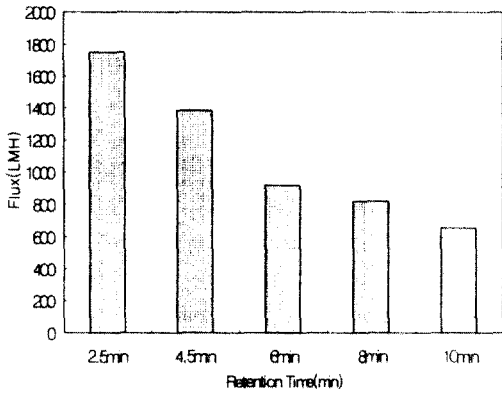


Fig 11. Change of Flux with Different Retention Time

89%의 높은 제거효율을 얻을 수가 있었으나 그만큼 빨리 filter의 폐색이 발생하였으나, pore size가 커질수록 오염물의 제거효과는 낮아지게 되었으며, 이 결과로부터 적당한 pore size를 5 μ m와 25 μ m로 선정하여 진행하였다.

본 실험은 pore size 5 μ m를 사용하여 연속 흡입식으로 flux 및 흡입압의 영향에 대해 살펴보았다. 웅집제 (PACs 1.7%) 9.8mL/원수(12.3L)를 투입하였으며, 실험에 사용한 filter 모듈의 면적은 0.016m²(직경6.4cm, 길이 8cm)이며, 원수의 수질은 SS 60mg/L 이었다.

그림 12는 Cartridge Filter (5 μ m)의 flux와 흡입압력과의 관계를 나타낸 것으로 웅집제의 사용으로 인하여 막의 급격한 폐색 현상이 나타났으며, 그 결과 flux의 급격한 저하 현상을 볼 수가 있었다.

또한 25 μ m를 사용하였을 경우(그림 13)에도 5 μ m의 filter를 사용했을 때와 거의 같은 양상의 막 폐색현상을 볼 수 있었으며, 제거효율은 COD 61%, SS 97%, T-N 33.16%, T-P 53.77%, Chlo-a 98.3% 이었다.

4. 결 론

본 실험은 팔당댐으로 유입하는 오염된 지천내에 존재하는 조류 및 인의 신속한 제거를 목적으로 상향류식 흐름에 의한 여과탑을 고안하였으며, 반응탑 내부에 모래층과 stainless sieve를 설치하여 여과에 의한 조류제거를 도모하였고, 인을 제

Table 5. Removal Efficiency by Different Filter pore size

Items		Raw Water	0.5 μ m	1 μ m	5 μ m	20 μ m	50 μ m
COD	mg/L	63.5	23.5	23.5	36.9	26.8	36.9
	Efficiency		63.5	63.2	42.2	57.9	42.2
SS	mg/L	45	4	4	16	20.0	28
	Efficiency		91.1	91.1	64.4	55.6	37.8
T-N	mg/L	8.22	6.13	6.67	6.40	6.43	6.47
	Efficiency		25.4	18.9	22.1	21.8	21.3
T-P	mg/L	2.45	1.79	1.79	1.84	1.84	1.87
	Efficiency		26.9	26.9	24.9	24.9	23.7
Chlo-a	mg/m ³	41.4	4.5	6	6.5	13.9	22.1
	Efficiency		89.1	85.5	84.3	66.4	46.6

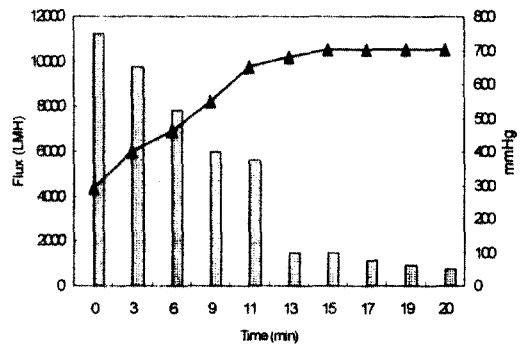


Fig 12. Change of permeation Flux and Suction pressure with 5 μ m Cartridge Filter

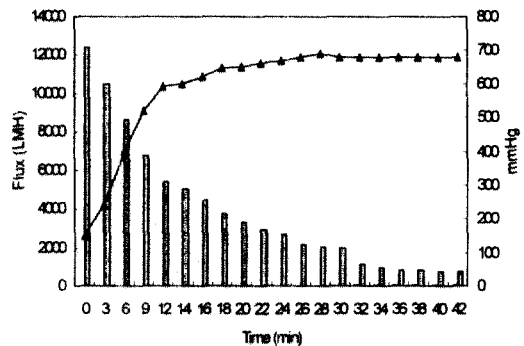


Fig 13. Change of permeation Flux and Suction pressure with 25 μ m Cartridge Filter

거하기 위하여 응집제를 원수중에 투입한 후 여과탑을 통과 시켰다. 이상의 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1) 응집제 PAC와 PACs를 가지고 응집실험을 한 결과, PACs(Al_2O_3 1.7%) 2.6mL/L 사용시 SS 96%, Chlo-a 94.2%, T-P 93.1%의 제거효과를 얻었으며, PAC(Al_2O_3 1.03%) 3.3mL/L 사용시 SS 85.4%, Chlo-a 98%의 양호한 처리효율을 얻을 수 있었다.

2) 수두차 0.1m에서 단계적으로 체류시간을 조절하여 운전한 결과, 여과탑 내부의 체류시간이 8분 이상일 때 좋은 처리효과를 얻을 수 있었다. 즉, 체류시간 8분에서 운전시 SS 70%, Chlo-a 55% 제거되었으며, 이때 투과 flux는 1000 LMH로 나타났다

3) 모래층 두께 10cm, 수두차 0.2m, 체류시간 5분의 조건하에서 원수 1L당 2.36ml의 PACs 응집제를 투입시킨 원수를 여과탑에 통과시킨 결과, SS 59%, Chlo-a 70%, T-P 72%의 양호한 제거효과를 얻을 수 있었으며, 투과 flux는 1500LMH로 양호하게 유지되었다. 한편 여과탑 1.5m의 경우, 수두차 0.2m, 체류시간 10분의 조건 하에서 SS 60%, Chlo-a 48%, T-P 63%의 제거효율을 얻었으며 이때의 투과 flux는 1580 LMH였다.

4) Cartridge Filter를 이용한 조류제거실험 결과 처리효율이 COD 61%, SS 97%, T-N 54%, Chlo-a 98%의 우수한 처리결과를 얻었고 공기를 이용한 역세정 운전 결과 7800 LMH의 높은 flux를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- 류명진, "한강생태계 조사연구", 서울특별시 (1994)
- "수질개선 시스템 개발에 관한 한. 일 심포지움", 한국수질보전학회 (1995. 11)
- 김영신, "한강수계 상수원 수질개선 특별종합대책의 문제점과 대안", 자유기업센터 (1998. 12)
- 곽종운, "Si가 Linking된 고분자의 정수처리 특성과 응용", 수도 제 22권, 제 2호, (1995. 4)
- Mark C. White, Jeffrey D. Thompson, Gregory W. Harrington, and Phillip C. Singer, "Evaluating Criteria for Enhanced Coagulation Compliances", J. AWWA, Vol. 89, 64-77 (1997)
- Crozes, G, White, P. and Marshall, M. "Enhanced Coagulation ; its effect on NOM removal and chemical costs", J. AWWA, Vol. 87, No. 1, 78-95 (1995)
- Rorbert C. Cheng, Stuart W. Krasner, James F. Green, and Kevin L. Waiter "Enhanced Coagulation, a preliminary evaluation". J. AWWA. 91-103 (1995)
- O'Melia C.R. Gray, k.a. and Yao, C.H. "Inorganic Polymer preparation and Characterization", J. AWWA. 136-145 (1995)
- "호소의 부영양화 방지대책에 관한 한 일 세미나", 한국수질보전학회 (1995. 11)
- 김규동, "상수처리에서 조류 제거를 위한 응집 침전공정연구", 서울대학교 도시공학과 석사논문 (1997)
- 전향배, 이영주, 손병용, 안종호, "조류에 의한 여과지 폐색 현황 및 이중여재 급속여과지의 효과분석", 대한환경공학회, 98 추계학술대회 논문초록집, 307-308 (1998.11)
- 공석기, "고율 조류 생세포체 배양지에서 호기 조건 으로 본 조류배양특성", 대한위생학회지. 제 14권, 제 3호, 123-129 (1999)
- 심인식, 임재호, 박수영, 조광명, "황토 현탁액에 의한 남조류 Microcystis sp.의 제거실험", 한국물환경학지 제14권, 제4호, 399-404 (1998.12)
- R. C. Hoehn, D. B. BARNES, B. C. Thompson, C.W. Randall, T. J. Grizzard, and P. Shaffer, "Algae as Source of Trihalomethane Precursors", J. AWWA Vol. 72, No. 6, 344 (1980)
- Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, and WPCF, 18th Edition, (1992)