

미세기포를 이용한 오염 호소수의 정화에 관한 연구

김 준 영 · 박 창 원* · 이 종 경* · 장 인 성
호서대학교, *(주) 한국호소정화기술단
(2006년 8월 17일 접수; 2007년 3월 6일 채택)

Study on the Treatment of Contaminated Lake Water Using Micro Air Bubbles

Jun-Young Kim, Chang-Won Park*, Jong-Kyung Lee* and In-Soung Chang

Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

**Korea Clean Lake Engineering Cooperation*

(Manuscript received 17 August, 2006; accepted 6 March, 2007)

Many lakes or irrigative reservoirs in Korea are rapidly contaminated due to the ever increasing pollutants. Although lots of treatment processes have been recommended and practiced, economical and technical improvement is currently needed. In this study, contaminated irrigation reservoir was treated using the proposed process which is consisted of fine air bubbles, coagulation and flotation. Fine bubbles, approximate diameter of 3 to 10 μm , were generated using cavitation in the pressurized tank and polyaluminum chloride was used as coagulants. This fine bubbles, coagulation and flotation effectively controlled the low density algae, for example, Chlorophyll-a was removed more than 97 %. Removal efficiency of COD, SS, T-N and T-P were 80.7%, 94.3%, 64.1% and 92.4%, respectively. Pollutants released from the sediments was removed more than 80% of organics and 60-70 % of nutrients. Consequently, fine bubbles coagulation and flotation process could be effectively used as an alternative treatment method for the purpose of control of lake water quality.

Key Words : Eutrophication, Flotation, Float, Fine bubbles, Lake water, Reservoir.

1. 서 론

농업용수로 사용되고 있는 상당수의 국내 저수지가 유입오염부하와 내부생산부하의 증가 등의 이유로 등외의 수질을 보이고 있어 오염도가 매우 높은 실정이다. 또한 호소 및 저수지에서 영양염류의 유입으로 인한 부영양화가 진행될수록 조류의 대량 번성으로 인해 녹조현상이 발생하며 조류 성장 시 발생하는 독소가 급속히 수중 생태계를 파괴하며 수질오염이 악화되고 있다¹⁾. 21세기 물 부족 시대를 살아가고 있는 현시점에서 이러한 저수지들의 수질 개선을 위한 각별한 관심과 노력이 절실히 요구되거나 수질개선을 위한 구체적인 대안이 없는 실정이다. 더구나 안락한 친환경 휴식 레저 공간에 대한

요구가 높아지고 있으므로, 저수지의 수질을 개선하여 양호한 상태로 유지 관리함으로써 쾌적하고 아름다운 수변공간을 조성할 필요성이 대두되고 있다.

호소 및 저수지의 수질개선 대책은 크게 호소 내부 대책과 호소 외부 대책으로 나누어 볼 수 있다.

호소 외부 대책으로는 호소로 유입되는 하수의 적절한 종말처리와 비점오염원 관리를 들 수 있다. 이러한 방법들은 보다 근본적이고 원천적인 대책으로 장기적인 안목에서 취해지는 조치이다. 반면에 인공 수초섬 설치 및 수중포기와 같은 호소 내부 대책들은 단시간 내에 정화 효과를 기대할 수 있는 방법들이다. 그러나 이와 같은 일반적인 호소수의 정화방법은 호소수 정화와 함께 저질토에 포함된 오염물질을 호소 외부로 제거하는 기능을 갖추지 못해 실질적으로 호소수 정화의 한계를 드러내고 있다.

호소오염 정화를 위해 수중포기 후 응집/부상에 의한 정화공정은 비교적 단기간 내에 효과를 볼 수

Corresponding Author : In-Soung Chang, Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea
Phone: +82-41-540-5744
E-mail: cis@hoseo.edu

있다. 부상 공정을 위해서 기포를 생성하는 원리는 단순한 압력 차에 의한 공기의 용해도 차이 또는 노즐의 크기에 비례해서 생성되기 때문에 비교적 크기가 큰 기포가 발생한다. 이렇게 생성된 기포는 부상속도가 빠르고 수중 체류시간이 짧아서 밀도가 낮은 성분이나 편 플록과의 충돌효율과 충돌기회의 증가를 저감시키는 요인이 된다^{2,3)}.

결국 부상공정의 핵심은 단위체적당 미세기포 개수의 증가와 기포의 크기를 미세하게 수중에 확산시킴으로써 플록과의 충돌효율과 충돌기회를 증가시키는 것이다^{4,5)}. 따라서 본 연구에서는 미세기포를 발생시킬 수 있는 미세기포 응집 부상 장치를 적용하여 호소수의 수질개선 타당성을 확인하고자 하였다. 저수지의 오염물질을 제거하기 위해 응집, 혼화, 부상 과정이 호소수체 내부에서 일체형으로 이루어지도록 하여, 상승되는 미세 기포에 응집처리 후 형성된 플록 및 밀도가 낮은 조류 성분을 흡착, 포집하여 각 오염물질을 제거하는 부상공정을 A 시 소재 S 저수지에 적용하였다. 미세기포를 이용한 부상공정과 연속적으로 용출과정을 반복하면서 수질분석을 통한 수질개선의 가능성을 탐색하였고, 아울러 부상공정 시 저질토로부터 용출되는 퇴적오염물질의 제거율을 알아보았다.

2. 연구 및 분석방법

2.1. 연구대상

A 시 관내 농업용수로 사용되고 있는 저수지 중의 한 곳인 S 저수지는 평균수심이 3~4m, 유역면적이 842ha, 만수면적이 30ha로써 저수량이 $1.3 \times 10^6 \text{m}^3$ 이다. S 저수지도 타 저수지들과 마찬가지로 수질이 등 외로써 주변 축산농가와 농가에서 유입되는 영양물질에 의한 오염이 부영양화의 진행을 촉진시키고 있다. 이에 저수지의 수질개선을 위해 부상공정이 적용되었으며, 본 연구를 위해 저수지의 일정구역($3,500 \text{m}^2$)에 펜스를 설치하여 처리구역을 설정한 후, 응집제와 함께 수중에 미세기포를 확산시켜 오염물질을 제거하였을 때 전체적인 펜스 내의 균일한 수질 개선도를 확인하기 위해 임의적으로 두 지점(A, B)을 택하여 수질분석용 시료와 퇴적물분석용 시료를 구분하여 채취·분석하였다.

2.2. 연구방법

미세기포를 발생시킬 수 있는 미세기포 발생장치(MACF, micro air coagulation & flotation)를 S 저수지에 설치하였다. 이 장치는 가압탱크 내부에 파동현상에 의한 동공의 생성 및 파열을 유도하여 미세기포(3~10 μm)를 형성시키고, 주입된 응집제와 혼화된 후 수중에 분사, 확산되면서 미세기포가 응집

된 오염물질과 결합해 형성된 플로트가 수면으로 부상된 후 처리되어진다. 미세기포를 발생시키기 위한 가압탱크의 압력은 2.0~2.5 kg/cm^2 를 유지하였다.

실험은 부상공정을 통해 저수지의 수질을 1차 처리 한 후 임의적인 환경조성에 의한 것이 아닌 시간 경과에 따라 저질토로부터 자연적으로 오염물질이 수중에 용출되는 자연용출(spontaneous release)과 수중에 설치된 용출기를 통해 저질토로부터 인위적으로 오염물질을 수중에 용출시키는 강제용출(enforced release) 5회를 실시하여 부상공정에 의한 오염물질의 제거율과 용출과정을 통한 퇴적오염물질의 자연용출률, 그리고 퇴적오염물질의 용출 제거에 의한 퇴적 오염도의 변화를 관찰하였다. 즉 저수지의 수질개선을 위하여 1차처리(부상공정)→자연용출→1차강제용출→2차처리→2차강제용출→3차처리→3차강제용출→4차처리→4차강제용출→5차처리→5차강제용출→6차처리의 순으로 진행하였다. 이는 저질토의 다양한 환경조건에 따라 용출량이나 용출속도가 변화하기 때문에 오염기간을 예측하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 자연용출을 통한 용출률을 계산한 후 연구 진행기간 동안 계속 일정하게 용출이 일어난다는 가정 하에 총 5회의 강제용출과 부상 제거 공정을 수행하였다. 부상공정에 사용되어진 응집제는 무기고분자응집제인 10% 폴리염화알루미늄(PACl : Polyaluminum chloride)을 이용하여 2~3 ppm의 농도로 투입하였다. 또한 공정 기간 동안 부상되어진 float는 스키머로 수집 후 슬러지 이송펌프로 자연탈수대로 이송 후 탈수과정을 거친 후 처리하였다.

2.3. 분석방법

실험에 사용되어진 수질분석용 시료는 수면으로부터 50~100cm의 깊이에서 각 지점마다 12회씩 총 24번 채취하였으며, 퇴적물분석용 시료는 각 지점에서 3회씩 총 6번 채취하였다. 채취된 시료의 일반적인 분석은 Standard method⁶⁾를 따랐으며, 저질토에 함유된 유기물은 질산과 염산을 가해 용출시키는 전처리 과정을 거친 후 분석하였다. 분석에 사용된 기기 및 분석방법을 Table 1에 나타내었다

3. 결과 및 고찰

3.1. 공정별 수질분석

부상공정에 의해 처리되어진 오염물질의 농도변화를 Fig. 1에 나타내었다. 부상공정이 적용되기 전 저수지의 수질은 부유성 물질과 유기물, 총인, 총질소 그리고 클로로필-a에 의한 오염이 높았으며 전항목에 걸쳐 수질환경기준 등외의 수질로 나타났다. 처리 후 각 항목별 제거율은 COD가 70.9%, SS가

Table 1. Analytical methods and instruments

Analytical methods and instruments	
SS(mg/L)	Gravimetric method
Heavy metal(mg/L)	Atomic absorption spectrophotometry (Z-6100, Hitachi)
COD(mg/L)	COD in sediments
	COD in water
T-N(mg/L)	Titrimetric method
T-P(mg/L)	spectrophotometric method (Spectrophotometer : DR/4000U, Hach Inc.)
Chlorophyll-a(mg/m ³)	Spectrophotometric method
	[Spectrophotometer(DR/4000U, Hach) : Persulfate digestion method]
	Spectrophotometric method [Spectrophotometer(DR/4000U, Hach) - Molybdovanadate Method with Acid Persulfate Digestion]
	Spectrophotometric method (Spectrophotometer : Genesys TM 2pc, USA)

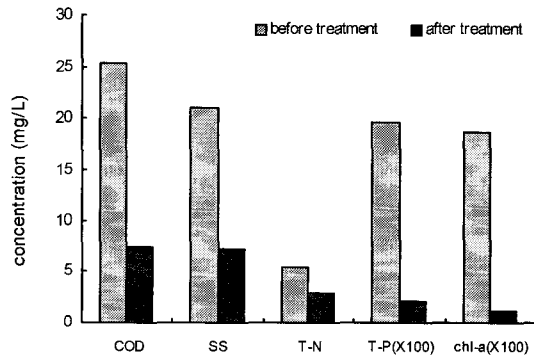


Fig. 1. Comparison of pollutants concentration before and after treatment.

65.2%, 총질소가 45.4%, 총인이 88.8%, 클로로필-a가 93.6%를 나타내었다. 다만 클로로필-a의 경우 조류 성장 시 발생하는 독소와 부산물의 생성으로 인해 수질악화를 야기하지만⁷⁾ 밀도가 낮아 처리에 제한이 있었던 조류를 부상공정을 통해 제거가 가능함을 확인할 수 있었다.

또한 부상공정 후 퇴적물에서 수중에 용출되는 오염물질들에 의한 수질의 오염정도를 알아보기 위해 자연용출을 실시하였고, 퇴적오염물질의 제거를 위해 용출기를 통한 강제용출을 실시하였으며 항목별 분석은 수중으로 오염물질이 용출된 후와 용출된 오염물질을 제거 한 후 각각의 수질분석을 실시하였으며 Fig. 2에 나타내었다.

A와 B, 즉 지점에 따른 항목별 수질차이는 크게 나타나지 않았으며 이는 미세기포 발생장치가 응집제를 포함한 기포수를 수중에 골고루 확산시켰기 때문이다. 유기물질은 부상공정 후 농도가 현저히 감소하였으나 퇴적물에 축적된 오염물질의 용출에

의한 수질오염이 다시 관찰되었다. 하지만, 부상공정에 의해 처리되기 전 오염물질의 농도와 비교해 보았을 때 오염의 정도는 미미하였고, 용출제거과정이 진행되면서 오염물질의 농도는 점점 낮아지는 경향을 보였다. 영양물질의 경우 총질소는 부상공정 후 약 45%의 제거를 보였지만 용출이 반복됨에 따라 제거율이 크게 낮아지지는 않았다. 다만 총인의 경우 부상공정과 용출제거공정에서 모두 90%이상의 제거율을 보였으며, 용출되는 농도의 폭도 총질소보다 컸다. 응집제에 의한 pH의 변화는 거의 나타나지 않았으며 저수지의 투시도를 측정할 결과 부상공정 후 약 7배 정도 증가하였다.

저수지의 수질개선을 위해 부상공정과 용출제거과정을 통해 총 6회 오염물질을 처리한 후의 각 항목별 제거율과 모든 제거공정이 종료된 후 전체적인 제거율을 Fig. 3에 나타내었다.

각 항목 모두 오염물질 제거율은 전반적으로 높게 나타났다. 다만 영양물질인 질소(◆)의 경우 중 영양 내지 빈 영양 수준까지는 낮출 수 있었지만 제거율이 다소 낮은 바 근원적인 문제를 해결하기 위해서는 지속적인 모니터링을 통해 오염원을 찾아 통제할 필요가 있다고 사료된다. 부상공정 후 용출제거과정을 통해 총 6회 오염물질을 제거한 결과 각각의 제거율은 유기물질이 80.7%, 부유성 물질이 94.3%, 총질소가 64.1%, 총인이 92.4%, 클로로필-a가 97% 이상의 제거율을 보이면서 제거공정이 완료된 후 오염물질의 제거율은 전반적으로 높았다.

부상공정의 핵심은 최대한 기포의 크기를 미세하게 발생시켜 수중에 확산시킴으로써 플러과의 충돌로 인한 흡착이나 플러 사이에 기포가 포집됨으로써 형성되는 플로오트의 증가이다^{8,9)}. 또한 일반적인 부상공정에서 기포의 크기 범위가 15~85 μ m인 반면

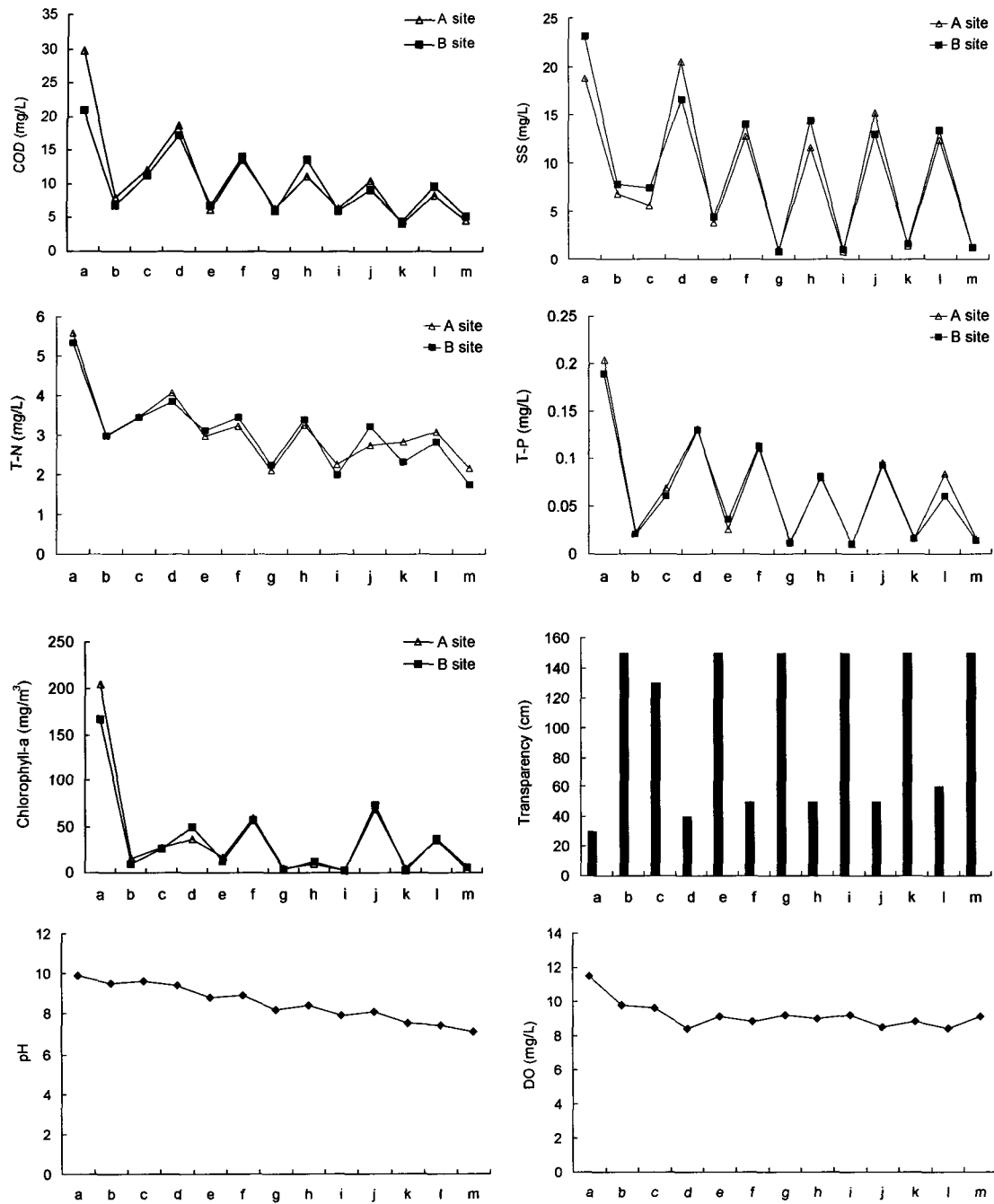


Fig. 2. Comparison of water quality of A and B site: a) before treatment, b) 1st treatment (flotation), c) spontaneous release, d) 1st enforced release, e) 2nd treatment f) 2nd enforced release, g) 3rd treatment, h) 3rd enforced release, i) 4th treatment, j) 4th enforced release, k) 5th treatment, l) 5th enforced release, m) 6th treatment.

에¹⁰⁾ 본 연구에 사용되어진 기포의 크기 범위는 3~10 μ m로써 비표면적이 넓은 미세 기포의 생성이 가능하였다. 따라서 응집처리 후 형성된 플러키 기포

와 결합하여 유기물질을 포함해 밀도가 낮은 조류까지 플로오트를 형성시키면서 수면으로 부상시킴에 따라 유기물질과 영양물질의 효율적인 처리뿐만

미세기포를 이용한 오염 호소수의 정화에 관한 연구

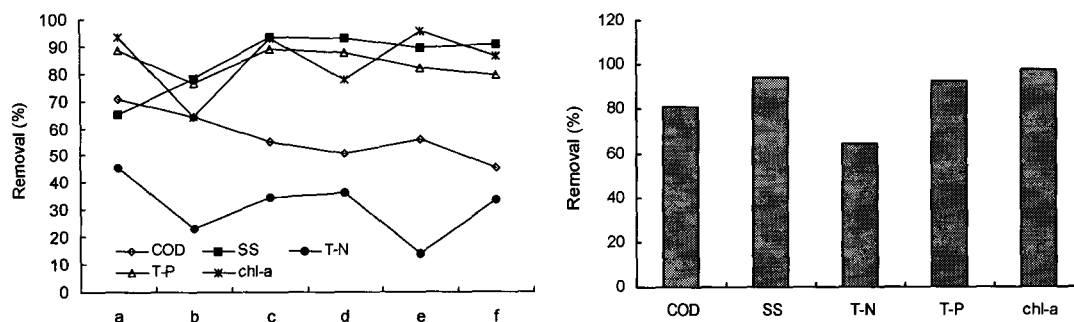


Fig. 3. Removal efficiency of various pollutants as a function of treatment scheme: a) 1st treatment (flotation), b) 2nd treatment, c) 3rd treatment, d) 4th treatment, e) 5th treatment, f) 6th treatment.

아니라 밀도가 낮아 처리가 힘들었던 조류까지 97% 이상 효과적으로 제거 가능해짐에 따라 MACF 공정을 이용한 부상공정의 적용이 저수지의 수질을 개선할 수 있다고 판단되어진다.

3.2. 저질토의 항목별 함량 변화 추이

Fig. 4에 처리전과 용출제거 공정 후의 저질토에 함유된 각 성분을 분석한 결과를 나타내었다.

용출제거 공정 후 저질토에 오염되어있는 유기물질은 80%이상 처리가 가능하였고 영양물질의 경우 주변의 과수원, 축사, 농지로부터의 유입 때문에 함량이 높았으며 5차 제거공정 후에 약 60~70%의 처

리효율을 나타내었다. 다만 영양물질 중 총질소보다는 총인에 의한 오염이 상대적으로 높았으며, 총질소의 경우는 팔당호 퇴적물제거기준(488~623mg/kg) 미만으로 처리가 가능하였지만 총인의 경우 평균 60% 이상 농도를 저감시켰음에도 불구하고 팔당호 퇴적물제거기준(1490~2080mg/kg)보다는 여전히 농도가 높았다. 따라서 근원적인 수질 개선을 위해서 저수지 전체의 총인의 부하삭감을 효율적으로 시행하고 지속적인 모니터링을 실시하여 수중 총인의 농도를 저감하여 조류의 생산력을 제어할 필요성이 있다고 사료된다.

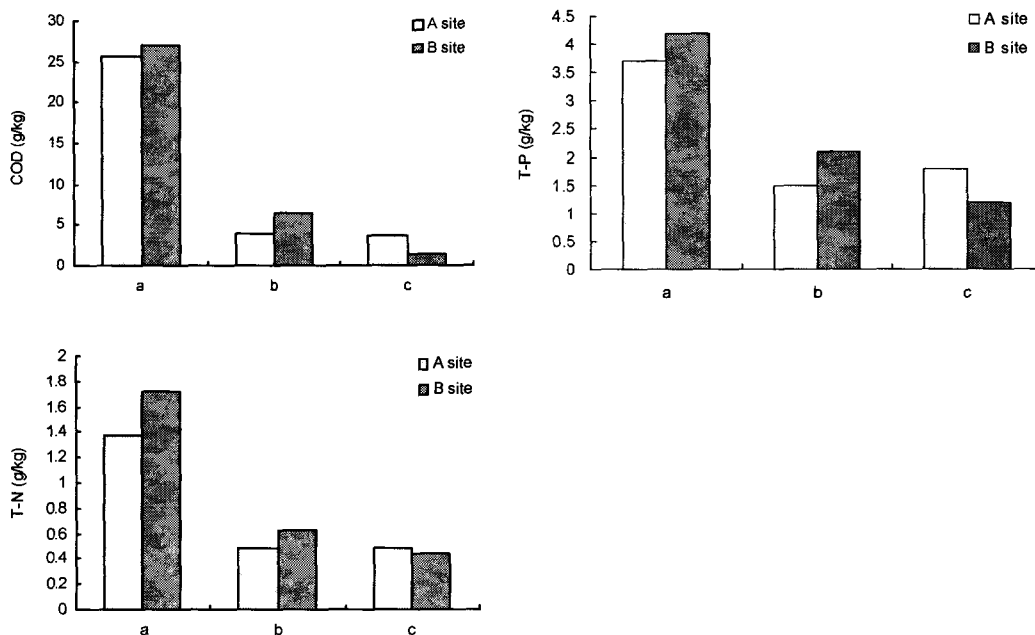


Fig. 4. Components analysis of water released from sediments: a) before treatment, b) 3rd treatment, c) 5th treatment.

Table 2. Heavy metal concentration in sediments and their comparison with other standards (unit: mg/kg)

	Before treatment	3rd treatment	5th treatment	Pollution Standard for Sediments in Great Lake, US			National Oceanic & Atmospheric Administration, US			Standard for sediments, Ontario, Canada		
				standard	intermediate	severe	ERL*	ERM**	SQC***	NEL****	LEL*****	SEL*****
Cd	0.2	2.8	2.8~4.3	-	-	>6	1.2	9.6	-	-	0.6	10
Hg	ND	ND	ND	< 1.0	NA	>1.0	0.15	0.71	-	-	0.2	2
Cu	28.2	10~13	13~16	< 25	25~50	>50	34	270	-	-	16	110
Total Cr	60~71	71	71~85	< 25	25~75	>75	81	370	-	-	26	110
Pb	33~36	40~92	40	< 40	40~60	>60	47	220	-	-	31	250

N.D : non-detected

*ERL : Environmental risk least, **ERM : Environmental risk minimum, ***SQC : Sediment quality criteria, ****NEL : No effect level, *****LEL : Lower effect level, *****SEL : Severe effect level

Table 3. Comparison of dewatered sludge concentration and fertilizer standard

Heavy metal (mg/kg)	Dewatered sludge	Fertilizer standard
As	28.9	50
Cd	2	5
Hg	ND	2
Pb	56.9	150
Total Cr	39.9	300
Cu	48.9	500

중금속의 경우 총 5가지 항목을 측정하였으며 외국에서 적용되는 퇴적물 관리기준과 비교한 것을 Table 2에 나타내었다. 대부분의 항목이 기준치 이하로 나타났지만 Pb의 농도가 높게 관찰됨으로써 S저수지의 저질토 중금속 오염의 주요한 인자로서 작용함을 알 수 있다. 또한 처리 전보다 농도가 증가하는 현상은 강제용출을 함으로써 저질토 깊이 퇴적하였던 중금속들이 저질토 표면으로 용출됨으로써 나타난 현상으로 사료된다.

3.3. 부상슬러지의 재이용 가능성 및 응집제 투여가 호소수에 미치는 영향검토

운전 기간 동안 부상되어진 슬러지는 스키머로 수집 후 슬러지 이송펌프를 통해 자연 탈수대로 이송 후 탈수되었다. 탈수된 부상 슬러지의 재이용을 위해 퇴비화시켜 사용이 가능한지 알아보았다. Table 3에 나타났듯이 중금속 6개 항목 모두 비료 규격의 기준치 이하로 나타났다. 이는 부상 공정에서 발생된 부상 슬러지의 처분을 위해 별도의 매립이나 기

타 처리시설들이 필요 없으며 퇴비화 시설에 재활용 할 수 있는 가능성이 있다.

또한 호소수에 기포와 함께 분사되는 응집제의 농도는 2~3 ppm정도의 소량으로 투여되었다. 이는 수중의 오염물질과 응집 반응을 한 후 기포에 부착되어 수 표면으로 부상한다. 따라서 수중에 남아있는 응집제의 농도는 더욱 낮아질 것이며 호소수에 남아 있는 양이 미미하기 때문에 생태계에 큰 영향을 미치는 농도는 아니라고 사료된다. 다만 이를 확인하기 위한 별도의 추가 연구가 필요하다.

3.4. 제거공정의 진행에 따른 용출속도의 변화

각 용출공정별 저질토의 단위 면적에서 단위 시간당 용출되는 항목별 농도와 처리에 걸리는 시간의 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

각 항목에서 강제용출이 자연용출보다 약 30~40배정도 용출속도가 빠른 것을 확인할 수 있었으며, 이는 퇴적물에서 영양물질과 유기물질을 제거하기 위해 강제용출이 자연용출보다 적합하다는 것을 알 수 있다. 각각의 용출속도를 살펴보면 COD가 5,500~2,700mg/m²·hr, 총질소는 850~250mg/m²·hr, 그리고 총인은 60~40mg/m²·hr를 나타내었다. 본 연구에서 사용된 미세기포 발생장치는 20,000m³/day 용량으로써 펜스가 설치된 5,200m³의 수 처리 소요 시간은 약 7시간 정도이나 초기 처리시간이 높은 것은 저수지의 퇴적오염물 용출 및 조류의 빠른 성장 속도에 의한 영향 때문이다. 하지만 퇴적 오염물질의 용출제거공정이 진행됨에 따라 처리 소요시간이 감소되는 것을 관찰할 수 있었으며, 이는 퇴적오염 부하가 처리공정이 진행됨에 따라 점차 감소되면서 저수지의 수질에 미치는 영향이 감소된 것이라 볼 수 있다.

미세기포를 이용한 오염 호소수의 정화에 관한 연구

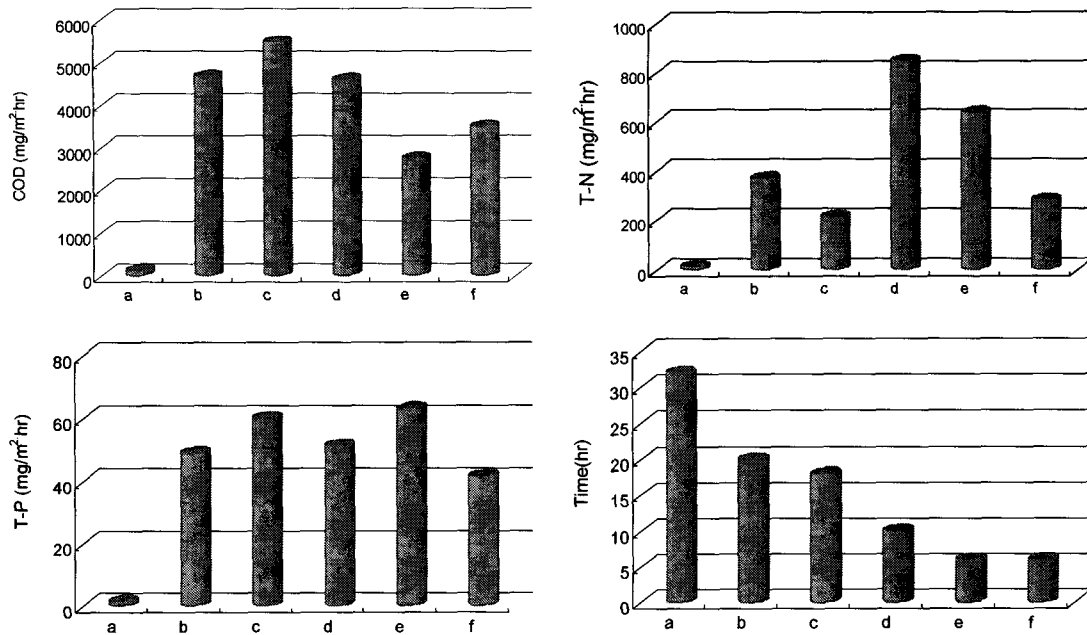


Fig. 5. Variation of release rate and time of sediments: a) spontaneous release, b) 1st enforced release, c) 2nd enforced release, d) 3rd enforced release, e) 4th enforced release, f) 5th enforced release.

4. 결 론

A 시 S 저수지의 수질개선을 위해 미세기포를 발생시키는 MACF 공정을 적용하여 저수지의 오염 개선정도를 알아본 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 미세기포를 수중에 확산시키면서 밀도가 낮은 클로로필-a를 97%이상 제거하였으며, 이는 조류 성장 시 발생하는 세포 생체량 증가, 세포외 분비물, 독소로 인한 생태환경과 수질악화 및 플럭의 침전성 저하로 인한 처리효율 감소 등을 야기하였던 조류에 대한 처리를 위해서 본 연구에서의 응집과 미세기포 발생 공정이 효율적인 대처 방안이라 판단된다.

2) 처리 전 저수지의 수질은 호소수질이 등 외이었으나 최종처리후의 수질은 2~3등급으로 각 항목별 최종 제거율은 COD 80.7%, SS 94.3%, T-N 64.1%, T-P 92.4%로 전 항목에 걸쳐 높은 제거율을 보였다.

3) 용출속도는 퇴적물의 오염도, 퇴적물의 환경에 좌우되는데, 공정의 진행에 따라 퇴적 오염물질이 제거되면서 용출속도가 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

4) 이상의 결과로부터 MACF 공정을 이용한 부상공정을 오염된 저수지 및 오염된 상수원수의 처리 등에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 충남환경기술개발센터의 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Kazuo Taki, Yoriomi Ishiyama, 독고 석, 김학수, 2004, 부영양화 호소에서 우점종 조류 제거를 위한 DAF 기술, 상하수도 학회지, 18(2), 247-253.
- 2) Lundh M., Jonsson L., Ahlquist J., 2000, Experimental studies of the fluid dynamics in the separation zone in dissolved air flotation, Wat. Res., 34(1), 21-30.
- 3) Nguyen A. V., George P., Jameson G. J., 2006, Demonstration of a minimum in the recovery of nanoparticles by flotation: Theory and experiment, Chemical Engineering Sci., 61, 2494-2509.
- 4) Chung Y., Choi Y. C., Choi Y. H., Kang H. S., 2000, A demonstration scaling-up of the dissolved air flotation, Wat. Res., 34(3), 817-824.
- 5) Dupre V., Ponasse M., Aurelle Y., Secq A., 1998, Bubble formation by water release in nozzles- I. mechanisms, Wat. Res., 32(8), 2491-

- 2497.
- 6) APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th edition, American Public Health Association. Washington D. C.
 - 7) 왕창근, 이승근, 2002, 대청호 상수원수 중의 탁도, 유기오염물질, 조류 및 투입분말활성탄 제거를 위한 DAF 공정 응용, 상하수도 학회지, 16(5), 553-561.
 - 8) 박용호, 한무영, 2003, DAF에서 기포크기의 영향, 상하수도 학회지, 17(4), 528-533.
 - 9) 이선주, 권순범, 2002, 호소수를 이용한 용존공기부상법 (DAF)의 효율에 관한 연구, 상하수도 학회지, 16(3), 341-349.
 - 10) Rodrigues R. T., Rubio J., 2003, New basis for measuring the size distribution of bubbles, Mine, Eng., 16, 757-765.