

요 약 문

I. 연구개요

- 염궁유수지의 높은 오염부하량으로 인해 인공습지가 본래의 기능을 발휘하지 못하고, 오히려 악취발생원으로 지목받고 있다. 따라서 염궁유수지 비점오염 저감 시설과 인공생태습지의 본래 목적인 하천 수질개선 및 악취저감 등을 위해 인공습지 유지용수의 처리를 위한 적절한 수질정화시스템의 개발이 필요하다.
- 따라서 본 연구에서는 염궁유수지 현장에서의 수질정화시스템 장기운전을 통해 인공습지로의 유입수질을 개선함으로써 인공습지의 기능을 회복하고, 인공습지를 통해 처리된 유지용수가 염궁유수지로 배출되도록 함으로써 유수지의 수질을 개선하고자 한다.

II. 연구의 필요성 및 목적

- 부산시 사상구 감전동에 위치한 염궁유수지에는 하천 수질개선 등을 위해 비점오염저감시설이 설치되어 운영 중에 있다.
- 비점오염저감시설은 유입조, 저류조, 유지용수 펌프장, 인공습지 등으로 구성되어 있으며, 강우 시 초기 우수를 스크린을 거쳐 저류시킨 후 상등수를 인공습지로 유입·처리하고 하등수(침전수)는 부산환경공단 강변사업소로 이송·처리하고 있다.
- 평상 시에는 인공습지의 유지용수로 염궁유수지 유입수를 활용하고 있으나, 현재 염궁유수지 유입수의 오염부하량이 높아 인공습지가 본래의 기능을 발휘하지 못하고 있다.
- 이에 따라 인공습지는 인공습지 수질악화로 인한 악취와 인근 공업지역에서 발생하는 악취로 인해 오히려 악취발생원으로 지목되고 있는 실정이다.
- 그러므로 염궁유수지의 수질 및 악취개선을 위해 우선 인공습지의 기능회복이 필요한 것으로 판단되며, 이를 위해 적절한 수질정화시스템을 개발하기 위한 연구가 일부 진행되었다.
- 기 진행된 연구에서는 상시 공급되는 인공습지 유지용수를 응집-침전-섬유여과공정으로 구성된 수질정화시스템을 통해 1차 처리하여 공급함으로써 인공습지가 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 인공습지 유입수의 수질을 개선하는 것을 목적으로 하였다.
- 그러나 기존의 시스템 개발연구는 연구과제 일정상 실제 시스템의 현장 내 운영기간이 짧기 때문에, 개발 시스템을 이용해 인공습지로의 유입수질 개선목표는 달성할 수 있으나 인공습지의 기능회복 및 인공습지 기능회복에 따른 염궁유수지

의 수질개선 여부를 판단하기는 어려운 실정이다.

- 따라서 시스템 개발 연구를 수행한 수질정화시스템의 장기운전을 통해 인공습지의 기능회복 및 염공유수지의 수질개선 여부를 판단할 수 있는 연구를 수행할 필요가 있으며, 특히 갈수기의 시스템 운전자료를 포함한 장기간에 걸친 연구자료 확보가 필요한 것으로 판단된다.

III. 연구의 내용 및 범위

- 본 연구의 최종 목표는 『수질정화시스템 및 인공습지를 이용한 염공유수지의 수질 개선』이며, 수질정화시스템의 장기운전을 통해 달성하고자 하는 수질목표는 다음과 같다.

성과지표		성과목표
수질정화시스템 성능평가	SS	저감효율 90% 이상 (유입농도 55mg/L기준)
	T-P	저감효율 75% 이상 (유입농도 0.2mg/L기준)
인공습지 수질 개선 및 기능회복	SS	저감효율 30% 이상 (유입농도 15.5mg/L기준)
	T-N	저감효율 30% 이상 (유입농도 8.7mg/L기준)
	T-P	저감효율 33% 이상 (유입농도 0.1mg/L기준)
	BOD	저감효율 70% 이상 (유입농도 24.2mg/L기준)

- 응집-침전-섬유여과공정으로 구성된 수질정화시스템(50m³/day)의 염공유수지 현장 내 설치 및 장기 운전을 통해 수행하고자 하는 주요 연구내용은 다음과 같다.

연구 내용	연구방법
1. 수질정화시스템 설계 및 운전 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 시스템 세부장치 upgrade 설계 및 제작 · 수질정화시스템의 염공유수지 현장 설치 및 운전 · 시스템 최적 조업조건 확립 및 운전자료DB화 · 갈수기 포함 장기 운전 및 수질분석 자료를 이용한 시스템 최적 설계변수 도출
2. 인공습지의 수질 및 악취 개선 여부 평가	<ul style="list-style-type: none"> · 수질분석자료(염공유수지 유입수 처리 전·후, 인공습지) DB화 · 시스템 장기운전 전·후 인공습지 악취분석 · 시스템 장기운전 전·후 인공습지 수질 및 악취분석자료 비교
3. 염공유수지 수질개선가능성 평가 및 적정 운영방안 도출	<ul style="list-style-type: none"> · 갈수기 포함 장기 운전결과를 바탕으로 한 시스템 성능평가 · 수질정화시스템 경제성 평가 · 수질정화시스템 성능 및 경제성 평가를 활용한 염공유수지 수질개선을 위한 적정 시스템 규모 제시 · 염공유수지 수질개선을 위한 적정 운영방안 도출

IV. 연구결과

- 평상 시 엄궁유수지로 유입되는 하천수를 채취하여 수질 특성을 분석하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

Date	채취 지점	분석 항목 및 농도(mg/L)					비고
		BOD ₅	COD _{Mn}	SS	T-N	T-P	
1차	저류지	19.6	22.4	26.1	11.242	0.958	
2차	저류지	19.2	26.4	23.5	13.291	0.923	표층
		72.5	82.9	652.8	33.684	7.250	저층
3차	저류지	-	23.5	17.0	10.664	0.892	검사 결과서 첨부
	습지유입	-	22.3	37.0	10.833	1.222	
	습지유출	-	19.9	3.6	2.487	0.491	
4차 (강우 직후)	저류지	-	14.4	15.1	6.264	0.323	
	습지유입	시료채취불가					
	습지유출	-	18.8	3.0	3.230	0.435	
5차	저류지	-	9.0	33.4	5.302	0.466	
6차	저류지	-	10.7	45.3	7.164	1.393	
7차	저류지	-	15.7	122.9	6.716	6.900	

- 엄궁유수지 주변 악취 평가
 - 엄궁유수지 부근의 악취현황을 파악하기 위해 이루어진 복합악취 분석은 수질 정화시스템을 가동하기 전인 2019년 7월 2일 1차 측정이 행하였다. 2차, 3차 측정은 수질정화시스템이 가동된 후 각각 2019년 11월 6일, 12월 9일 행하였다. 시료채취장소는 유수지 입구 지점, 비점오염시설의 펌프장 부근, 인공생태 습지 부근 등 총 3곳의 채취지점을 선정하였다.
 - 복합악취물질의 분석은 부경대학교 공동실험실습관 VOCs/냄새물질 분석실에 의뢰하였으며 시험성적서는 부록에 제시하였다.
 - 엄궁유수지 부근에서의 복합악취 분석결과를 종합해 보면, 계절적 영향이 다소 있는 것으로 판단되며 기온이 낮아질수록 농도가 낮게 나타났다.
 - 한편 엄궁유수지 부근에서 감지되는 악취는 습지 자체에서 발생하는 것 외에도 주변 공장들에서 발생하는 악취의 영향도 있을 것으로 판단된다.
 - 3회에 걸친 복합악취 분석결과 계절적 영향 및 주변 공장으로부터의 배가스 확산에 따라 비교적 높은 농도로 악취가 감지되는 경우가 있긴 하나, 엄궁유수지로 유입되는 감전천의 일부를 처리하여 인공습지의 유지용수로 공급한다면 인

공습지로부터의 악취발생 문제는 현저하게 감소할 것으로 판단되며, 또한 습지 기능 복원을 통해 염공유수지 하천수질개선 및 악취저감이라는 인공습지의 본래 목적에 부합할 수 있을 것으로 기대된다.

채취장소	분석결과 (희석배수)			
	1차	2차	3차	평균
시료 0 : 염공유수지 공원 입구	77	23	7	36
시료 1 : 비점오염시설 펌프장 부근	33	17	10	20
시료 2 : 인공생태습지 부근	53	30	23	35
엄격한 배출허용기준의 범위(희석배수) : 기타지역: 10 ~ 15				

◦ 수질정화시스템 설계, 제작 및 설치

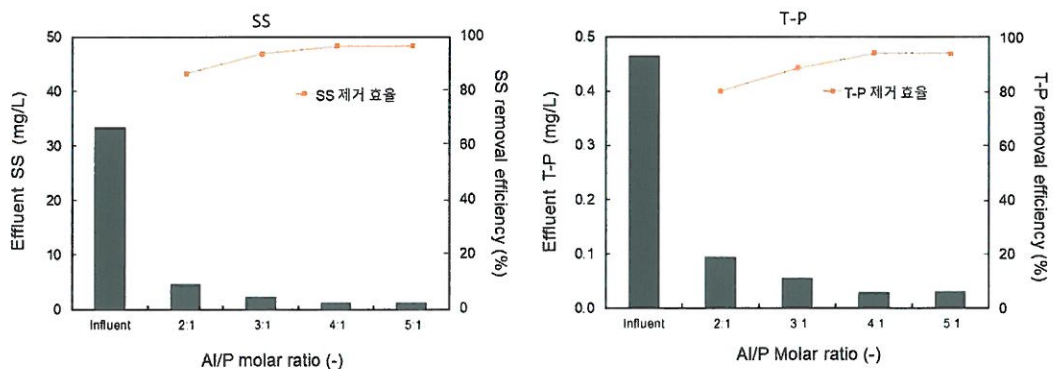
- 본 연구에 활용될 수질정화시스템은 완속교반침전조와 섬유여과기를 연계한 것으로 응집, 침전, 섬유여과공정으로 구성되어 있으며, 수질정화시스템용 섬유여과기는 중력식의 그물망압착식 섬유여과장치가 적용 중이다.
- 염공유수지 내 인공습지의 수질 및 악취개선을 위한 연구를 진행하면서 섬유여과장치의 원활한 운전을 위해 소형의 수직원통형으로 제작된 중력식 그물망 압착식 섬유여과장치에 대한 몇가지 설계 보완이 필요한 것으로 검토되었으며, 이에 따라 본 연구에서는 세부설계 변경을 통해 장치 upgrade를 실시하였다.
- 섬유여과기 Upgrade 설계 시 반영사항은 다음과 같다.

항 목	설 계 목 적	설 계 결 과	비 고
섬유여과기 상부케이스	역세수의 원활한 배출	<ul style="list-style-type: none"> ■ 상부 확대형태 적용 ■ 내통 및 외통으로 구성된 케이스 설계 	•상부 케이스 제작(STS304)
역세배관부	역세수의 빠른 배제 및 역세시 누수 현상 방지	<ul style="list-style-type: none"> ■ 배관크기 조정 ■ Demister 설치 	•배관교체 (STS304)
	레벨센서 오작동 방지	<ul style="list-style-type: none"> ■ 역세배관부 형태 변경 ■ 레벨센서 변경 	<ul style="list-style-type: none"> •배관교체 •레벨센서 교체

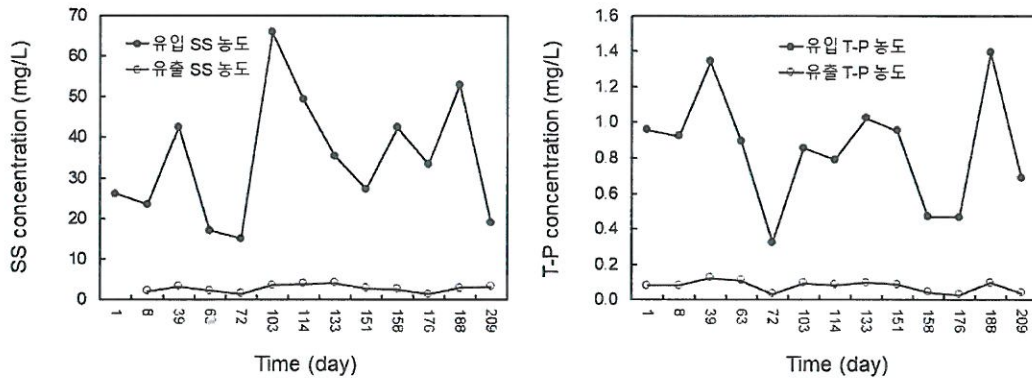


◦ 수질정화시스템 운전 최적화

- 본 장치는 부산시 사상구 엄궁유수지에 설치하였으며 엄궁유수지로 유입되는 하천수를 유입수로 사용하였다. 인공습지로 유입되는 유량은 본 과제에서 제시한 설계기준인 $50\text{m}^3/\text{day}$ 이 되도록 본 실험장치에는 $55\text{m}^3/\text{day}$ 로 원수를 주입하여 실험을 행하였다. 본 과제에서 사용한 응집제는 Al 함량은 17.0%, 밀도는 1.370g/L 인 상업용 PACI(poly-aluminum chloride)를 사용하였으며 농도를 희석하여 인의 제거 특성을 검토하였다. 응집제 주입량은 Al/P molar ratio를 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0이 되도록 조절하였다.
- Al/P 몰비가 3로 운전할 경우 유수지 원수 유입수와 섬유여과 유출수의 SS의 농도는 각각 33.4 mg/L , 2.3 mg/L 로 제거효율은 93.1%였다. T-P의 유입수와 유출수 농도는 각각 0.466 mg/L , 0.055 mg/L 로 88.2%의 제거효율을 나타내었으며 COD의 유입수와 유출수 농도는 각각 9 mg/L , 6.6 mg/L 로 26.7%의 제거효율을, T-N의 유입수와 유출수 농도는 각각 8.212 mg/L , 4.992 mg/L 로 39.2%의 제거효율을 나타내었다. 본 실험조건인 Al/P 몰비가 3로 운전할 경우 과제 제안서상의 SS 및 T-P의 목표효율은 달성할 수 있는 것으로 파악되었다.

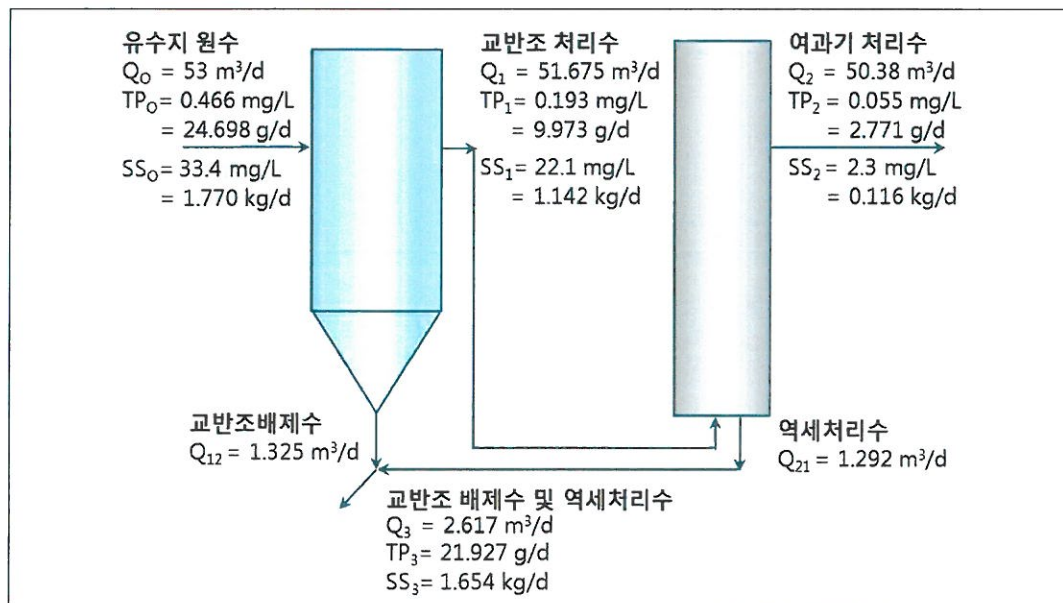


- 본 과제에서 설계, 설치 및 운전한 50m³/day 규모의 수질정화시스템의 SS와 T-P의 유입수의 농도변화가 각각 15.0~122.9 mg/L(평균 41.16mg/L), 0.323~6.900 mg/L(평균 1.272 mg/L)로 수질변동이 크게 나타났다. 그러나 수질정화시스템을 거친 SS와 T-P의 유출수의 농도는 각각 1.3~6.9mg/L(평균 2.5 mg/L), 0.029~0.121mg/L(평균 0.082 mg/L)로 비교적 안정적으로 나타났다.



◦ 경제성평가

- 본 경제성 평가에서는 인공습지 용량 2,200 m³에 대해 약 7일의 체류시간에 해당하는 330톤/일의 처리용량을 갖는 수질정화시스템에 대한 시스템 운전 시 유지관리비용 등을 검토하였다. 경제성을 검토를 위하여 본 과제에서 개발한 수질정화시스템에 의한 오염물질 제거 시 물질수지 및 목표 제거량을 산정하였다. 물질수지는 실제 운전 결과를 기준으로 작성하였으며 교반조 부상 및 침전 슬러지 배제량과 섬유여과 역세수를 각각 유입수량의 2.5%로 설정하였다.



- 본 수질정화시스템은 응집-완속교반/침전-섬유여과 공정으로 구성되었으며, 기존 연구를 통해 일반적인 응집-침전시스템 소요부지 면적의 1/7 정도에서 설치가 가능할 뿐만 아니라 연간 유지관리비가 60% 이내 수준인 것으로 검토되었다. 따라서 본 연구에서는 수질정화시스템 운전 시 소요되는 비용을 검토함으로써 개발시스템의 경제성을 평가하고자 하였다.
- 본 연구에서의 목표수질은 엄궁유수지로 유입되는 하천수 내 오염물질의 평균 농도가 높고 특히 T-P의 경우 당초 제시한 수질의 6배를 초과하여 농도를 기준으로 목표수질을 선정하면 과량의 응집제가 소요되는 문제가 있다. 따라서 목표수질을 달성하기 위한 운전조건은 T-P 제거효율이 75%를 만족시키는 경우와 유출수 T-P 농도를 0.05mg/L를 만족시키는 2가지 기준에 대해 살펴보았다.
- T-P에 대해 목표제거율 75%를 달성하기 위해서는 AI/P의 물 비는 2.0 이하로 운전하여도 무방하며 T-P 농도를 0.05 mg/L 수준으로 낮추기 위해서는 AI/P 물 비 3.0 정도에서 운전해야 그 성과를 얻을 수 있을 것으로 파악되었다.
- 본 과제에서 인공습지 유입유량이 약 314 m³/day가 될 수 있도록 수질정화시스템의 유입유량을 330 m³/day로 설정하여 약품소요량을 산정하였다. T-P 목표제거율 75% 달성을 위해 소요되는 응집제량은 1.38kg/day, 연간 소요되는 응집제 비용은 523,848원으로 계상되었다.
- 수질정화시스템의 전력은 원수 펌프, 약품의 반응 최적화를 위한 교반조 송풍기, 약품펌프, 그리고 역세를 위한 역세 펌프 및 역세 송풍기에서 소비되었다. 따라서 소요되는 전력비는 크게 펌프, 송풍기, 콤프레샤 가동으로 분류할 수 있다. 엄궁유수지 수질정화시스템은 여과-역세-여과공정으로 이루어지며, 한 cycle은 역세시간 3분을 포함하여 120분으로 설정하여 자동 운전하였다. 이에 따른 1일 전력사용량은 39.906 kWh이고, 이를 연간 사용되는 전력비로 계산하면 연간 1,039,262원으로 계상되었다.
- 연간 운전비용은 시스템 운전에 필요한 전력비와 응집공정에 소요되는 연간 약품비용을 합하여 산정할 수 있다. 본 연구에서는 T-P 목표제거율 75%인 경우와 T-P 목표농도 0.05 mg/L인 경우에 대해 개발시스템의 연간 운전비용을 산정하였다. T-P 목표제거율 75%인 경우 즉, AI/P 물 비가 2.0인 경우 본 개발시스템의 연간 운전비용은 1,563,110원으로 계상되었으며, 엄궁유수지 하천수 1 m³ 당 연간 운전비용으로 환산 시 4,737원으로 나타났다. 그리고 T-P 목표농도 0.05 mg/L (AI/P 물 비 3.0)인 경우 개발시스템의 연간 운전비용은 1,825,034원으로 계상되었으며, 엄궁유수지 하천수 1 m³ 당 연간운전비용으로 환산 시 5,530원이었다.

- 시스템의 원활한 운영을 위해 전문인력에 의한 주기적인 관리가 필요할 것으로 사료되며, 본 연간 운전비용 산정 시에는 시스템 운영을 위한 인건비는 제외하였다.

구 분		항목별 산정비용
약품비	T-P 제거율 75% 기준	$1.38 \text{ kg/d} \times 365 \text{ d/yr} \times 1,040\text{원/kg} = 523,848\text{원/yr}$
	T-P 목표농도 0.05 mg/L 기준	$2.07 \text{ kg/d} \times 365 \text{ d/yr} \times 1,040\text{원/kg} = 785,772\text{원/yr}$
연간 전력비 ¹⁾	T-P 제거율 75% 기준	$39.91 \text{ kW/d} \times 365 \text{ d/yr} \times 71.35\text{원/kW} = 1,039,262\text{원/yr}$
	T-P 목표농도 0.05 mg/L 기준	상 동
연간 운전비용 ²⁾	T-P 제거율 75% 기준	연간운전비용 = 전력비 + 약품비 = 1,563,110원/yr = 4,737원/ton/yr
	T-P 목표농도 0.05 mg/L 기준	연간운전비용 = 전력비 + 약품비 = 1,825,034원/yr = 5,530원/ton/yr

V. 연구결과와 활용계획

- 기 적용된 기술인 고효율 복합 전처리 기술을 적용한 섬유여과 시스템의 수질정화시스템에 대해 다음의 효과를 기대할 수 있다.
 - 시스템 소형화, Package화로 설치/해체 및 이동성 향상
 - 도심하천의 수질개선을 위한 경제적인 수질정화시스템으로 활용
 - 비점오염 저감시설로의 적용을 통한 사업화
- 연구결과 활용계획
 - 상용화급 수질정화시스템 설계자료 확보
 - 부지설치 면적의 감소로 인한 고도처리 공정의 소형 패키지화
 - 도심하천 수질개선에 대한 기초연구자료 제공
 - 도심하천용 수질정화시스템의 지식재산권 출원자료 확보
 - 도심하천 수질정화시스템 및 비점오염 저감시설로의 사업화