

2 중·소하천 정화를 위한 복합 수처리 시스템 개발

글 한완수 \ 토목기술팀 대리 \ 전화 02-3433-7764 \ E-mail hws74@ssyenc.com
 글 민형식 \ 토목기술팀 사원 \ 전화 02-3433-7886 \ E-mail minnlove@ssyenc.com

1. 머리말

1-1. 하천정화의 필요성

고도의 산업발달로 인한 환경오염과 인구증가, 생활수준의 향상으로 인한 오염물질 배출량의 증가로 수질오염이 날로 심화되어 가고 있다.

특히 축산폐수 및 비료와 같은 비점오염원이 유입되는 농촌하천, 생활하수 및 산업폐수가 유입되는 도심하천 등 수질오염으로 인해 국지적으로 수자원으로서의 가치를 상실하는 하천이 증가하고 있다.

또한 급격한 경제성장에 동반된 물이용의 증가와 도시개발은 수문 순환 구조를 변형시켰고, 그 결과로써 평상 시의 하천 유출량이 감소하는 건천화 현상이 나타나고 있다. 이러한 도심의 중·소하천이나 상류지천의 오염은 하루 중·대규모 하천의 오염으로 직결될 수 있으며, 생활주변 하천의 오염 및 건천화로 인한 위생문

제, 물고기 폐사 등 직·간접적인 피해가 발생할 수 있다는 점에서 그 심각성이 크다고 볼 수 있다.

하천의 수질개선을 위한 근본적인 대책으로는 하천으로의 오염원 유입을 차단하는 것이 가장 바람직하지만, 현실상 하수관거의 신속한 정비에 기대하기 어렵고 소규모로 산재되어 있는 배출원의 오수를 차집하여 하수종말처리시설에 유입시켜 처리하는 것은 경제적으로나 기술적으로 어려움이 있다. 따라서 오염물질의 유입으로 수질오염이 심화된 하천에 직접적으로 적용 가능한 하천수질 정화기술의 개발 및 보급이 절실히 요구되고 있다.

1-2. 기존 하천정화 기술

기존 하천정화법은 오염된 하천수를 하천 외부에 설치된 공정으로 유입시켜 정화하는 분리방식과 하천 내부에 직접 공정을 설치하여 정화시키는 직접방식으로 구분할 수 있다(표 1) 참조). 하천 정화법은 생태계를 구성하는 생물군의 정화능력을 증가시켜 처리하는

표 1 하천 정화법 종류

구분	정화방법	원리	특징
분리방식	<ul style="list-style-type: none"> • 접촉재 충전수로 정화법 • 자갈층 접촉산화법 • 사여과법 • 하천수 전량집수 정화법 	<ul style="list-style-type: none"> • 생물산화 • 생물산화 • 여과, 흡착 • 응집여과 	<ul style="list-style-type: none"> • 생물막 증대에 의한 산화력 강화 • 부유물질(SS)의 접촉침전제거, 가용성 유기물(BOD) 제거 • 모래층에서 여과, 흡착 • 응집제 첨가에 의한 응집여과
직접방식	<ul style="list-style-type: none"> • 포기법 • 박층류 정화법 • 체수지법 • 복류 정화법 • 수생식물 식재 정화법 • 활성탄 정화법 	<ul style="list-style-type: none"> • 생물산화 • 생물산화 • 생물산화, 침전 • 여과, 흡착 • 식물정화 • 흡착 	<ul style="list-style-type: none"> • 순산소 공급에 의한 산화력의 증대 • 하상 생물막에 의한 생물산화 • 부유물질(SS)의 자연침전, SS성 유기물(BOD) 제거 • 토양에서의 여과, 흡착 • 식물체에 의한 접촉제거, 토양 흡착 • 흡착에 의한 유기물 제거

기법으로써 주로 생물학적 처리를 이용한 공법이다. 즉, 하천 생태계를 구성하는 세균, 원생동물, 미소 후생동물 등의 생물군을 이용하고, 하천의 유량 및 용존산소 농도 등의 인자를 제어하여 생물학적 처리 효과를 증대시키는 것을 특징으로 하고 있다.

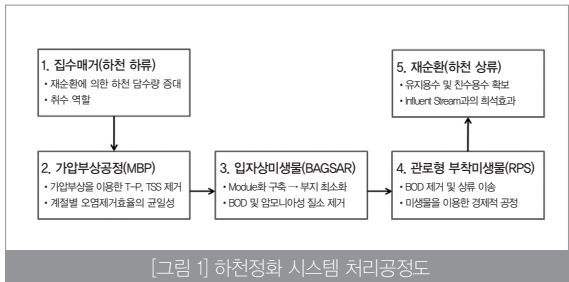
이들 대부분은 부유물질의 제거에 뛰어나지만, 영양염류의 제거율이 낮아 오염도가 높은 하천정화에 부적합하며, 부지사용 면적이 넓거나 처리시간이 많이 소요되는 등의 문제점이 있기 때문에 부지면적이 부족한 도심의 중·소하천에 적용하는 데에는 어려움이 따른다.

1-3. 기술개발 목적

본 기술의 개발목적은 유기물과 영양염류로 인해 오염도가 높은 중·소규모의 하천을 대상으로 하천정화 및 건천화를 방지할 수 있는 기술을 확보하는데 있으며, 사업의 다각화를 위해 하천정화 분야의 경쟁력 있는 기술을 개발하고자 함이다. 본고에서는 기술의 특성과 함께, 실제 오염도가 높은 중·소하천을 대상으로 실증 시스템 구축을 통한 기술적용 결과에 대해 소개하고자 한다.

2. 기술개발 내용

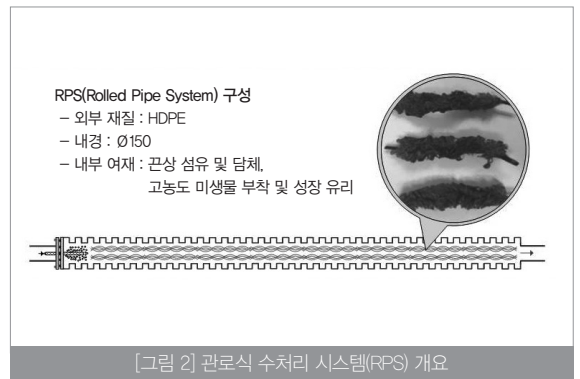
본 기술은 물리화학적 공정과 생물학적 공정이 결합된 하천정화용 복합 수처리 기술이다. 공정 구성은 가압부상 공정(MBP; Micro Bubble Process), 입자상미생물 공정(BAGSAR; Biofilm-Aerobic Granular Sludge Aeration Reactor) 및 관로식 수처리 공정(RPS; Rolled Pipe System)을 결합한 것으로, [그림 1]에 나타난 바와 같이 하천하류에서 취수한 하천수는 1) 집수매거를 통하여 2) 가압부상 시스템(MBP)에 유입시켜 고형물(SS) 및 인(T-P)을 제거한 후, 3) 입자상미생물 공정(BAGSAR)을 통해 유기물(BOD)을 제거한다. 이후 4) 관로식 수처리 시스템(RPS)([그림 2] 참조)을 이용하여 잔류 유기물(BOD)을 제거하고 동시에 상류로 이송 및 방류함으로써 재순환이 되도록 하여 하천의 수질개선 및 건천화를 방지할 수 있다.



[그림 1] 하천정화 시스템 처리공정도

가압부상 시스템(MBP)은 약품혼화조-응집조-가압부상조로 구성되어 있다. 유입 하천수 내 인(T-P)은 응집제를 투입하여 혼화 및 응집에 의하여 제거되고, 응집된 인(T-P)을 포함한 고형물(SS)은 가압부상조 하부에서 발생하는 2~10 μ m 크기의 미세기포를 이용하여 상부로 부유시킨 후 상부 스크레이퍼로 수집하여 처리한다. 처리된 고형물(SS)은 슬러지 저류조에서 하수관거를 통하여 방류된다.

관로식 수처리 시스템(RPS)은 끈상 여재가 내재된 HDPE 재질의 플러그 흐름 타입(Plug Flow Type) 생물 반응관이다. 끈상 여재는 미생물의 부착 및 성장이 용이한 섬유성 담체로 구성되어 있어 미생물에 의한 생물학적 기작으로 유기물(BOD)을 분해하고, 하천 제방을 따라 지하에 매설하여 별도의 이송관 없이 상류로 이송할 수 있다.



[그림 2] 관로식 수처리 시스템(RPS) 개요

3. Pilot Plant 시스템 적용 평가

본 기술의 각 공정별 최적 운전조건을 도출하고 적용 가능성을 평가하고자 실제 오염이 심한 중·소규모 하천을 대상으로 400m³/day 규모의 하천 정화시설 Pilot Plant를 제작 및 설치하여, 운전 조건 변경을 통한 다양한 공정 처리효율을 평가하였다.

3-1. 대상 하천 특성

Pilot Plant 시설의 설치 및 운전은 주택지역 내에서 발생하는 생활하수 등으로 인해 하천수질 오염이 매우 심각한 경기도 소재의 A하천에서 수행하였다. 평가기간 동안 A하천의 수질을 파악하고자 Pilot Plant 유입 지점에서 생물학적산소요구량(TBOD₅), 총질소(T-N), 총인(T-P), 총부유물질(TSS)에 대한 농도 및 부하량을 측정하여 <표 2>에 나타냈다. 유입 지점의 오염원 수질은 12월부터 3월까지(동절기) 높은 농도를 보였으며, 8월 이후(하절기)에는 농도가 낮은 것을 확인할 수 있다. 반면 부하량의 경우 동절기에 비

해 하절기에 높게 측정되었다. 이는 하절기 강우로 인해 하천 유량이 증가하면 수질 농도가 감소하고 동절기 건천화로 인해 하천 유량이 감소하면서 수질농도가 증가하는 것으로, A하천과 같이 점오염원으로부터 유출 부하량 영향이 큰 중소하천의 경우 강우에 의한 희석효과가 하천 수질에 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 사료된다. 따라서 도심지역 내 중소하천의 경우, 하절기 시 높은 오염 부하량 및 동절기 시 높은 수질 농도를 고려한 하천 정화시설 적용이 필요할 것으로 사료된다.

표 2 A하천 계절별 수질 측정결과

구분	2010년					2011년			
	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	
오염농도	TBOD ₅ (mg/L)	19.8	21.2	53.4	77.9	73.6	78.4	83.6	81.9
	T-N (mg/L)	15	14.8	16.1	17.5	19.3	19.2	19.3	19.2
	T-P (mg/L)	1.4	1.2	1.5	1.5	1.4	1.3	1.5	1.5
	TSS (mg/L)	20.5	23.4	45.2	71.4	65.1	63.5	54	55.9
오염부하량	TBOD ₅ (kg/day)	1,835	1,375	237	200	227	158	90	81
	T-N (kg/day)	1,445	1,324	218	136	138	109	121	128
	T-P (kg/day)	84.9	66.9	9.8	6.9	6.1	2.7	2.3	2.8
	TSS (kg/day)	1,526	1,366	221	140	107	96	83	81

3-2. 공정별 운전인자 도출

하천정화 장치의 각 공정별 운전조건에 따른 최적 설계인자를 도출하기 위해 <표 3>과 같이 각 공정별 Mode를 설정하고, 각각의 Mode에 따른 운전조건 변화에 의한 처리효율의 변화를 도출하였다.

표 3 각 Mode별 운전조건

구분	유량 (m ³ /day)	MBP		BAGSAR	RPS	
		HRT (min)	약품투입량 (L)	HRT (min)	HRT (min)	공기주입량 (L/min)
Mode1	68.4	60	2	210	99	2
Mode2	105.6	40	3.1	136	64	3.1
Mode3	140.4	30	4.1	103	48	4.1
Mode4	178.8	23	5.2	80	38	5.2
Mode5	218.4	19	6.4	66	31	6.4
Mode6	295.2	14	8.7	49	23	8.6

1) 가압부상 공정(MBP)

MBP의 운전 조건을 도출하기 위해 Mode별 처리효율(TBOD₅, T-N, T-P, TSS)의 경향을 도출하였다(<표 4> 참조). MBP 운전결과 가압부상조 체류시간이 감소할수록 전반적으로 오염물질 처리 효율이 저하됨을 볼 수 있었으며, 제거 부하량의 경우에는 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. Mode1에서 가장 높은 처리효율을 보였으며 Mode6에서 가장 낮은 처리효율을 보였다. 이러한 결과는 유입유량 증가에 따른 가압부상조 체류시간 감소에 따른 것으로 판단된다. 또한 미세기포 발생량 증가에 따라 가압탱크의 압력이 낮아서 2.5kgf/cm² 이하에서는 가압부상기 내부에서 마이크로 버블 입자의 크기가 커져 부상효율이 감소된 것으로 판단된다. 이에 MBP는 가압부상조 체류시간을 최소 19min, 최대 60min 사이를 유지해야 할 것으로 판단되며, 가압탱크 압력범위는 2.59~3.42kgf/cm² 사이를 유지해야 할 것으로 사료된다.

표 4 각 Mode별 MBP 처리효율

구분	Mode1	Mode2	Mode3	Mode4	Mode5	Mode6
TBOD ₅	41.80%	42.30%	42.00%	43.10%	40.50%	32.50%
T-N	12.20%	6.10%	12.40%	6.20%	8.90%	3.50%
T-P	95.20%	93.90%	90.80%	82.10%	90.20%	88.10%
TSS	83.70%	80.40%	81.10%	79.30%	76.10%	63.80%

2) 입자상미생물 공정(BAGSAR)

MBP 처리 이후 유기물 제거를 위해 Biofilm-Aerobic Granular Sludge를 이용한 BAGSAR 공정을 설치하였다. BAGSAR 공정은 Airlift 방식의 반응조로 내부에 설치된 이중격벽을 통해 Granular Sludge 및 RPS에서 탈리되는 슬러지의 외부 유출을 최소화할 수 있도록 설치되었다. BAGSAR 공정의 Mode별 처리효율 특성을 도출한 결과 Mode2~Mode5까지 처리효율의 차이에 비해 Mode6에서 처리효율이 크게 저하되는 결과를 보였다(<표 5> 참조). 따라서 적정 체류시간은 66min이 합리적인 것으로 판단된다.

표 5 각 Mode별 BAGSAR 처리효율

구분	Mode1	Mode2	Mode3	Mode4	Mode5	Mode6
TSS	45.3%	33.5%	35.5%	28.1%	26.0%	10.1%

3) 관로식 수처리 공정(RPS)

생물학적 처리공정 중 PFR(Plug Flow Reaction) 방식을 적용한 RPS의 Mode별 처리효율(TBOD₅, T-N, T-P, TSS)의 경향을 도

출하였다(표 6) 참조). 운전조건에 대한 RPS 공정의 오염물질 제거 특성을 종합한 결과 TBOD₅의 경우 Mode1~5에서는 제거효율의 큰 변동이 없으며, mode6(HRT 23min)에서 17.9%로 제거효율이 상대적으로 크게 감소되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 체류시간에 따라 TBOD₅의 제거효율이 선형적으로 증가하거나 감소하는 경향이 아님을 나타내고 있으며, 일정 체류시간 이후 급격하게 감소하는 경향을 나타낸다는 점을 도출할 수 있다. RPS에서 TSS의 처리효과가 거의 없음을 볼 때 RPS 공정은 대부분 용존성(Soluble)으로 존재하는 BOD₅를 제거한 것으로 볼 수 있다. 모든 Mode에서 대부분 RPS 유입보다 방류에서 높은 TSS 농도를 보였으며, 이는 RPS 내부에 부착된 미생물이 유기물을 섭취, 성장하여 탈리된 것으로 사료된다. 이러한 결과는 Mode가 진행될수록 제거 부하량이 증가됨에 따라 방류 TSS 농도가 증가되는 것을 볼 수 있었으며, 미생물이 유기물을 섭취하여 성장함으로써 탈리된다는 결과를 증명하고 있다.

표 6 각 Mode별 RPS 처리효율

구분	Mode1	Mode2	Mode3	Mode4	Mode5	Mode6
TBOD ₅	52.90%	49.00%	53.40%	42.90%	43.70%	17.90%
T-N	8.20%	8.30%	8.90%	5.10%	4.00%	1.30%
T-P	7.90%	2.30%	5.90%	2.30%	8.40%	2.00%
TSS	-5.90%	-7.20%	-6.80%	-9.80%	-6.40%	-0.90%

3-3. 운전결과에 따른 설계인자 도출

본 기술의 처리 공정은 크게 물리화학적 공정과 생물학적 공정으로 나누어진다(물리화학적 공정: MBP, 생물학적 공정: BAGSAR 및 RRS). 물리화학적 공정의 설계인자는 연속운전방식(Mode1~6)을 토대로 단위 Bubble 토출량 당 오염물질 제거량과 약품 투입에 따른 오염물질 제거량을 도출하였다. 단위 Bubble 토출량에 따른 오염물질 제거량의 경우, 유입 유량 및 농도와 MBP_{out}의 유량 및 농도를 측정하여 Mode에 대한 오염물질 제거량을 측정하였으며, 장치 체적 당 제거량으로 산출하여 설계인자를 정리하였다. 약품 투입에 따른 오염물질 제거량의 경우 오염물질 제거량을 1일 약품투입량으로 나누어 산출하였다. 생물학적 공정 설계인자는 연속운전방식(Mode1~6)을 토대로 Granular 미생물량과 기질소비율(BAGSAR_{SSUR})을 도출하였으며, RPS 내 미생물 부착량, 성장량 및 단위 미생물량에 따른 오염물질 제거율을 도출하였다. 단위 부착 미생물에 따른 RPS 오염물질 제거량의 경우 MBP_{out} 농도(RPS_{in})와 RPS_{out}의 유량 및 농도를 측정하여 각 Mode

별 오염물질 제거량을 측정하였으며, 부착미생물을 측정하여 단위 부착미생물량으로 오염물질 제거량을 산출하여 설계인자를 도출하였다.

1) MBP 설계인자

Mode별 MBP 운전결과를 토대로 오염물질의 제거효율, 부하량 감소 및 적정 체류시간을 선행 도출하였으며, 이를 바탕으로 추후 실증 Plant 설계에 필요한 설계인자를 도출하였다.

표 7 Mode별 MBP 체적 설계인자

Mode	Bubble _{SRR TSS} (kg/m ³ ·d)	Bubble _{SRR T-P} (kg/m ³ ·d)	Bubble _{SRR T-N} (kg/m ³ ·d)	Bubble _{SRR TBOD₅} (kg/m ³ ·d)
Mode1	0.802	0.022	0.119	0.875
Mode2	0.797	0.023	0.085	0.804
Mode3	0.737	0.02	0.051	0.635
Mode4	0.661	0.022	0.021	0.598

표 8 Mode별 MBP 약품주입 설계인자

Mode	PAC TSS _{Removal} (kg/L·d)	PAC T-P _{Removal} (kg/L·d)	PAC T-N _{Removal} (kg/L·d)	PAC TBOD ₅ _{Removal} (kg/L·d)
Mode1	2.21	0.06	0.33	2.41
Mode2	2.23	0.07	0.24	2.25
Mode3	2.01	0.05	0.14	1.74
Mode4	1.81	0.06	0.06	1.64

2) BAGSAR 설계인자

BAGSAR의 설계인자는 BAGSAR HRT(체류시간) 결정을 위한 Granular 미생물량과 기질소비율(BAGSAR_{SSUR})을 도출하였다.

표 9 Mode별 단위 Granular 미생물에 따른 기질소비율

Mode	Q (m ³ /day)	HRT (hr)	BAG-SAR _{vel} (m ³)	S ₀ -S (mg/L)	Q × (S ₀ -S) (kg/d)	BAGSAR _{SSUR} × Granular _{ss} (kg)	BAGSAR _{SSUR} (day ⁻¹)
Mode1	68.4	3.5	10	9.66	0.66	120	0.006
Mode2	105.6	2.27	10	7.98	0.84	120	0.007
Mode3	140.4	1.71	10	7.03	0.99	120	0.008
Mode4	178.8	1.34	10	7.67	1.37	120	0.011
Mode5	218.4	1.1	10	6.84	1.49	120	0.013
Mode6	295.2	0.81	10	4.4	1.3	120	0.012

3) RPS 설계인자

연속 방식의 RPS 운전결과를 토대로 오염물질의 제거효율, 부하량 감소 및 적정 체류시간을 선행 도출하였으며, 이를 바탕으로 추후 실증 Plant 설계에 필요한 설계인자를 도출하였다.

표 10 Mode별 미생물 부착량 및 성장량

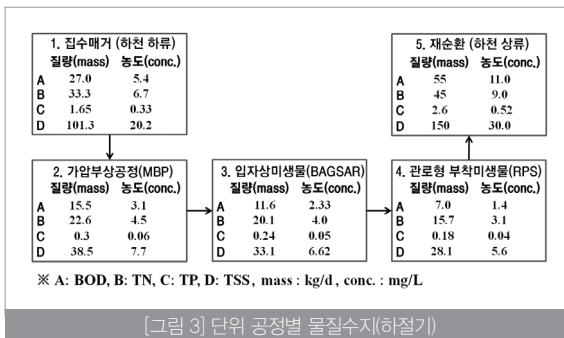
Mode	초기여재 무게 (g)	부착 후 무게 (g)	운전 후 무게 (g)	총 미생물 부착량, (g/RPS)	총 미생물 성장량, (g/RPS·d)
Mode1	6.01	7.34	8.98	21,515	259,84
Mode2	6.06	7.48	7.81	22,160	318,22
Mode3	6.06	7.44	7.89	21,706	407,11
Mode4	5.96	7.35	7.88	22,026	460,44
Mode5	6.01	7.45	7.93	22,133	565,33
Mode6	5.97	7.49	7.43	23,434	274,13

표 11 Mode별 단위 미생물에 따른 기질소비율

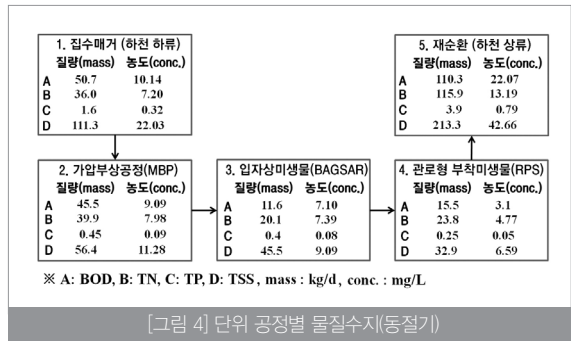
Mode	Q (m ³ /day)	HRT (hr)	RPS _{tot} (m ²)	S ₀ -S (mg/L)	Q × (S ₀ -S) (kg/d)	(RPS _{tot} × RPS _{tot}) (kg)	RPS _{SSUR} (day ⁻¹)
Mode1	68.4	1.65	4.71	23.91	1.63	21.51	0.077
Mode2	105.6	1.07	4.71	22.8	2.4	22.16	0.114
Mode3	140.4	0.81	4.71	24.08	3.38	21.7	0.159
Mode4	178.8	0.63	4.71	20.42	3.65	22.02	0.173
Mode5	218.4	0.52	4.71	21.26	4.64	22.13	0.218
Mode6	295.2	0.38	4.71	9.8	2.89	23.43	0.147

3-4. 단위 공정별 물질수지(Mass Balance)

설계인자를 통하여 하절기와 동절기의 물질수지 도출하여 [그림 3] 및 [그림 4]에 나타내었다.



[그림 3] 단위 공정별 물질수지(하절기)



[그림 4] 단위 공정별 물질수지(동절기)

4. 실증 Plant 시스템 평가

4-1. 실증 Plant 공정 구성

하천 정화시설의 처리효율 검증 및 개선방안 도출을 위해 5,000 m³/day 규모의 실증 Plant를 Pilot Plant 위치와 동일한 장소에 설치하였으며, Pilot Plant 운전을 통해 도출된 처리공정과 설계인자를 이용하여 제작하였다.

실증 Plant 처리공정은 집수매거 → MBP 공정 → BAGSAR 공정 → RPS 공정으로 구성되어 있으며, 처리수는 하천상류로 이송되어 다시 하천수와 합류됨으로써 연속적으로 순환하며 하천을 흐르게 된다. RPS 반응조의 경우 하천을 따라 상류 방향으로 직선 거리 800m(반응조 매립 길이 1,000m)가 매립되어 반응조 겸 처리수 이송 장치로 사용된다.

하천의 안정적 취수를 위하여 하천 바닥에 집수매거를 설치하고, T-P 제거와 동시에 부유물질 유입을 저감하여 RPS내 부착된 미생물에 미치는 영향을 최소화 하고자 MBP를 설치하였다. 용존성 BOD₅ 및 질소제거를 위하여 MBP 후단에 BAGSAR를 설치하였다.



[그림 5] 실증 Plant 설치 위치

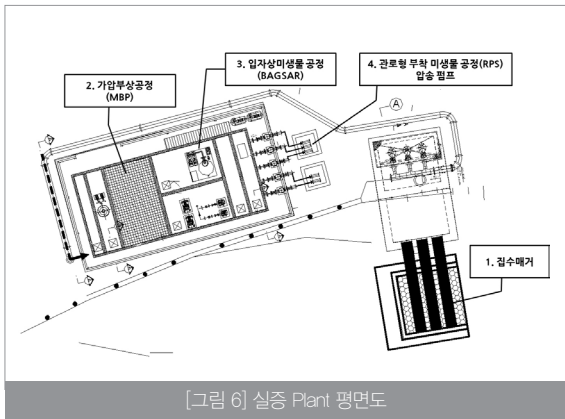


표 12 실증 Plant 설비사양

공정명	설비명	규격(재원)	수량	비고(재질)
집수	유입펌프	200A×4.5m ³ /min ×14mH×15kW	3	GC200, STS304
	유입 유량계	350A Magnetic Flow meter	1	STS 304, PTFE
가압부상공정	MBP 순환펌프	21m ³ /hr×4.2kgf/cm ² ×7.5kW×380V	2	-
	MBP Body	1,000D×600H×5t	1	STS 304
	Compressor	250rpm×3.5kW×380v	2	-
	슬러지스키머	0.4kW×380V	1	STS 304
	응집조	600mm×5,250mm×2,400mm	1	PDF Panel
	혼화조	600mm×5,250mm×2,400mm	1	PDF Panel
	부상조	3,000mm×5,250mm×2,400mm	1	PDF Panel
	PAC 약품펌프	25cc/min×10kgf/cm ² ×0.2kW	2	P.P, PTFE
	PAC 약품탱크	0.4m ³	1	PE
생물학적처리공정	멤브레인 산기관	80~120L/min×DEPTH 5m	8	P.P, EPDM
	RPS	150A×1,000m(직선 800m)	5	P.E, BC Plus
	RPS 펌프	108m ³ /hr×30mH×15kW	5	-
	Compressor	250rpm×3.7kW×220v	2	-
	순환 유량계	80A Magnetic Flow meter	1	STS 304, PTFE
	송풍기	3.4m ³ /min×3,700mmAq×3kW	2	Ring Blower
	스트레이너	300mm×Y-Type	2	STS 304

4-2. 실증 Plant 평가

하천정화 시설 실증 Plant 운전에 따른 유입수/처리수 농도 변화 및 처리 효율을 <표 13>에 나타내었다.

표 13 하천정화 실증 Plant 시설 유입수/처리수 농도 변화 및 처리효율

항목	단위	유입수		처리수		처리효율 (%)	
		최저~최고	평균	최저~최고	평균	최저~최고	평균
pH	-	7.28~7.95	7.43	7.18~7.94	7.52	-	-
DO	mg/L	2.43~8.21	5.42	5.99~10.7	8.05	-	-
수온	°C	0.5~29.7	15.22	1.2~29	16.25	-	-
BOD ₅	mg/L	4.1~23.2	12.67	0.3~8.2	3.95	30.77~96.34	70.98
SS	mg/L	8.7~46.2	25.78	1.8~13.5	6.59	34.68~90.72	72.69
T-N	mg/L	3.64~12.48	8.00	2.25~8.43	5.06	11.12~54.26	36.18
T-P	mg/L	0.12~0.66	0.39	0.01~0.14	0.07	66.67~94.12	82.7

1) 유기물(BOD₅) 처리효율 평가

유입수 평균 BOD₅는 12.67mg/L이었으며 처리수는 3.95mg/L로 평균 70.98%의 제거 효율을 나타내었다. BOD₅ 제거율은 하절기 보다 동절기에 낮게 나타났으며(그림 7 참조), 이는 동절기 BAGSAR 과 RPS 공정에서 미생물의 활성도가 감소하여 유기물 제거효율이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 동절기와 춘절기 유입 BOD₅ 농도가 증가하여 처리수 농도도 함께 증가하여 처리효율이 감소하는 경향을 나타내었다.

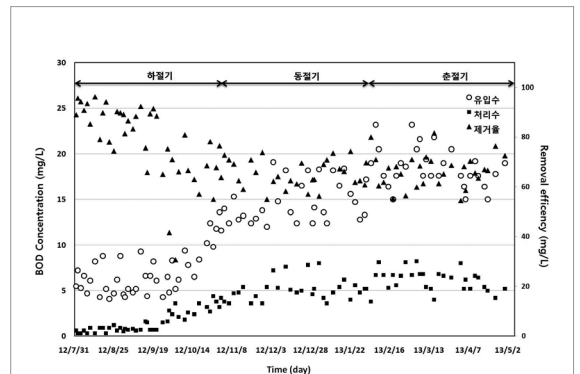
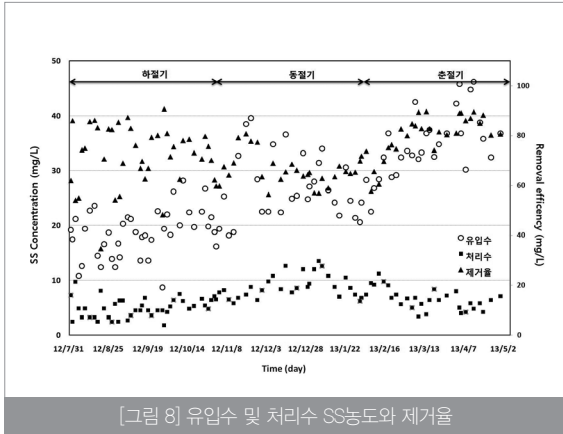


그림 7 유입수 및 처리수 BOD₅농도와 제거율

2) 부유물질(SS) 처리효율 평가

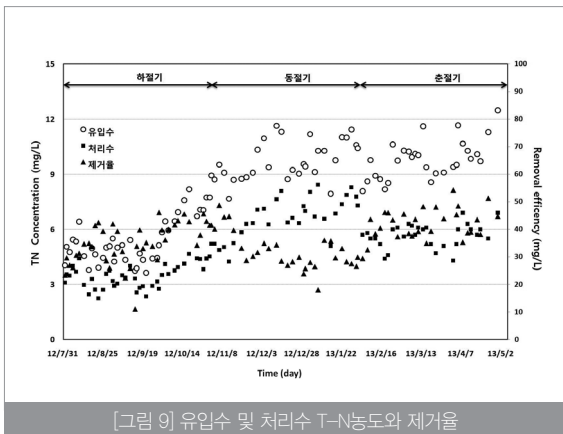
유입수 평균 SS 농도는 25.78mg/L이었으며, 처리수는 6.59mg/L로 평균 72.69%의 제거 효율을 나타내었다. SS 제거율은 동절기 보다 하절기에 변화율이 크게 나타났다(그림 8) 참조). 이는 하절기 강우에 의해서 유입수 SS의 농도변화가 크기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 8] 유입수 및 처리수 SS농도와 제거율

3) 총질소(T-N) 처리효율 평가

유입수 평균 T-N 농도는 8.00mg/L이었으며 처리수 T-N 농도는 5.06mg/L로 평균 36.18%의 제거효율을 나타내었다(그림 9) 참조). T-N 이외에 암모니아성 질소(NH_4^+-N)와 질산성 질소(NO_3^--N) 농도를 함께 측정하여 질소 제거율을 평가하였으며(표 14) 참조), 암모니아성 질소의 농도는 BAGSAR 와 RPS공정을 통해 50.55%의 제거효율을 나타내었으나 질산성 질소는 26.09%의 낮은 제거효율을 나타내었다. 질산성 질소의 낮은 제거효율은 암모니아성 질소가 질산성 질소로 산화되면서 방류수 질산성 질소 농도가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.



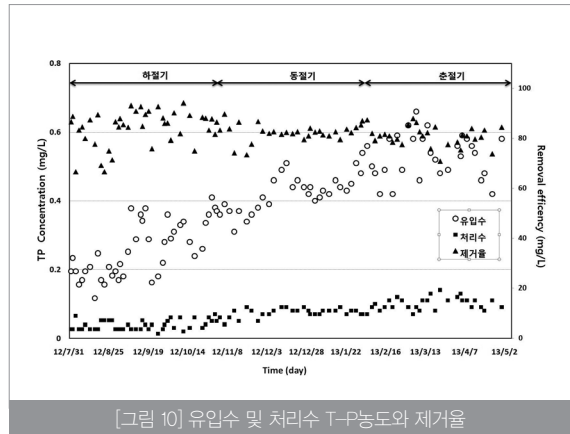
[그림 9] 유입수 및 처리수 T-N농도와 제거율

표 14 T-N, NH_4^+-N , NO_3^--N 농도와 처리효율 변화

구분	농도 (mg/L)		처리효율(%)
	유입수	처리수	
T-N	8.00	5.06	36.18
	(3.6~12.48)	(2.25~8.43)	(11.12~54.26)
NH_4^+-N	3.71	1.9	50.55
	(1.24~6.32)	(0.49~3.93)	(1.29~79.24)
NO_3^--N	3.82	2.78	26.09
	(1.0~6.4)	(1.1~5.10)	(-40~64.58)

4) 총인(T-P) 처리효율 평가

유입수 평균 T-P 농도는 0.39mg/L였으며 처리수는 0.07mg/L로 평균 82.7%의 제거 효율을 나타내었다(그림 10) 참조). T-P 이외에 인산염인($\text{PO}_4^{3--}\text{P}$) 농도를 함께 측정하여 인 제거율을 평가하였다(표 15) 참조). 인 제거는 MBP 공정에서의 응집제 주입에 따라 $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ 이온 제거에 의해 주로 이루어지며, 제거율은 일정하게 나타났다.



[그림 10] 유입수 및 처리수 T-P농도와 제거율

표 15 T-P, $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ 농도와 처리효율 변화

구분	농도 (mg/L)		처리효율(%)
	유입수	처리수	
T-P	0.39	0.07	82.7
	(0.12~0.66)	(0.01~0.149)	(66.67~94.12)
$\text{PO}_4^{3--}\text{P}$	0.31	0.05	81.91
	(0.02~0.53)	(0.01~0.1)	(-20~93.55)

4-3. 기존 하천정화 기술 대비 오염 부하량 제거 비교

실증 Plant 평가를 통해 도출된 처리효율을 바탕으로 처리유량 10,000m³/day일 경우 연간 오염부하 제거량을 기존 하천정화에 적용된 공법과 비교하여 <표 16>에 나타내었다. 당사 하천정화 공법에 의한 TBOD₅ 처리효과는 타 공법에 비해 6~9배 이상 높으며, T-N 및 T-P의 처리효과도 타 공법에 비해 높게 나타났다.

표 16 기존 하천정화 기술 대비 연간 오염 부하량 제거 비교

항목	당사 공법 (kg/yr)	자연형공법 (kg/yr)	장치형공법 (kg/yr)
TBOD ₅	85,319	13,129	8,869
TSS	68,438	74,132	17,629
T-N	5,840	3,909	-
T-P	2,190	678	-

5. 맺음말

본 기술은 오염이 심한 하천을 대상으로 MBP를 이용한 고형물(SS) 및 인(T-P) 제거와 BAGSAR과 RPS를 이용한 유기물(BOD) 및 질소(T-N) 제거 공정을 결합한 하천정화 시스템이다. 기존 하천정화 시스템과 달리 운전자에 의해 유량 및 약품주입량 등의 제어가 가능하며, 각 처리공정의 처리효율을 측정 할 수 있어 안정적인 처리효율을 기대 할 수 있다. 또한 처리수를 하천상류로 재순환시킴으로써 하천의 건천화를 예방할 수 있고, 담수용량을 증가시켜 친수공간을 확보할 수 있다.

본 기술의 개발을 통해 기존 하천정화 공법의 문제점을 보완하여 실질적인 하천 정화기술을 확립함으로써 공익을 위한 차세대 수처리 기술로서의 역할을 담당할 것으로 기대된다. 또한 당사의 수처리 환경분야에 대한 기술력 확보와 동시에 사업의 다양성을 도모할 수 있을 것으로 기대된다. **S**

참고문헌

- 1 건설교통부, 2002, 자연형 하천관리지침
- 2 김양호, 2009, 도시하천의 생태복원을 위한 하천정비 방안 연구, 울산대학교 대학원
- 3 김익재, 한대호, 2008, 수생태 보호를 위한 소하천 관리방안, 한국환경정책 평가연구원
- 4 김학용, 2000, 끈상 접촉여재를 이용한 하천정화방법, 아주대학교대학원
- 5 남광수, 2008, 자연정화시설 공법별 처리효율 비교 및 경제성 분석에 대한 연구, 한밭대학교 대학원
- 6 용인시, 2006, 경안천수계 하천정화시설 설치사업 기본 및 실시설계
- 7 우효섭, 2002, 하천복원 가이드라인
- 8 이수희, 2009, 우리나라 수질오염총량관리제 개선방안, 충북개발연구원
- 9 ㈜퍼텍코리아, 2006, 수로형 인공습지를 이용한 하천수질 정화기술 개발, 환경부
- 10 한국과학기술원, 2005, 자연형 하천 정화사업 종합평가 및 지원기준 마련을 위한 연구
- 11 한국물환경학회, 2007, 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준
- 12 황순진, 2008, 하천의 자연도 및 생태건강성 평가를 통한 경기도 하천복원 전략, 건국대학교 산학협력단