

도심지역 내 중·소하천 수질 개선을 위한 가압부상 및 관로형 미생물 부착 공정 적용에 관한 연구

Improvement of Medium and Small Urban Stream Water Quality and Applicability of Design Factor Using Biological and Physicochemical Processing

김문기[†] · 최정수 · 김삼주* · 김현구**

Moon-Ki Kim[†] · Jung-Su Choi · Sam-Ju Kim* · Hyun-Gu Kim**

경기대학교 일반대학원 환경에너지시스템공학과 · *안성시청 · ** (주) 젠트로
Department of Environmental Energy System Engineering, Graduate School Kyonggi University
*Anseong City · **Gentro Co., Ltd

(2013년 6월 11일 접수, 2013년 7월 30일 채택)

Abstract : The purpose of this study is to assess the applicability of device-type stream coagulation process which combines physicochemical, biological processing for efficient improvement of water quality in small, middle-sized urban streams. The stream purification facility of this study is composed of pressure flotation type Micro Bubble Process(MBP) to remove TSS and TP and conduit line type Attached Microbial Pipe System(AMPS) to remove BOD. Test conditions of each device were set by floating stay time and change of ultra fine bubble injection amount of MBP, and change of AMPS stay time. Also, removal efficiency of pollution sources of each process were assessed by change of season. As a result of continuous operation of each process, MBP showed a maximum of TSS 83.69%, TP 95.15% process efficiency and AMPS showed a maximum of 52.95% TBOD5 removal efficiency. Also as a result of circular operation of each process, MBP showed a maximum of TSS 69.75%, TP 70.17% process efficiency and AMPS showed a maximum of 68.58% TBOD5 removal efficiency. Therefore, it is considered that this stream coagulation process is effective in improving the water quality of streams in urban areas.

Key Words : Medium and Small Urban Stream, Micro Bubble Process (MBP), Attached Microbial Pipe System (AMPS)

요약 : 본 연구의 목적은 도심지역 중소하천의 효율적인 수질정화를 위해 물리화학적, 생물학적 처리공정을 결합한 장치형 하천수질정화공법의 적용성을 평가하는데 있다. 본 연구의 하천정화시설은 TSS 및 TP 제거를 위한 가압부상(Micro Bubble Process, MBP)공정과, BOD 제거를 위한 관로형 미생물 부착(Attached Microbial Pipe System, AMPS)공정으로 구성하였다. 각 장치의 실험 조건은 MBP 공정의 부상조 체류시간 및 초미세기포 주입량 변화와 AMPS 공정의 체류시간의 변화를 설정하였다. 또한 계절 변화에 따른 각 공정의 오염원 제거효율을 평가하였다. 각 공정의 연속운전 결과 MBP 공정에서는 최대 TSS 83.69%, TP 95.15%의 처리효율을 나타냈으며, AMPS 공정의 TBOD5 제거효율은 최대 53.0%를 나타냈다. 또한 각 공정의 순환운전 결과 MBP 공정에 의해 최대 TSS 69.75%, TP 70.17%의 처리효율을 나타냈으며, AMPS 공정에 의해 TBOD5 제거효율은 최대 68.58%를 나타냈다. 따라서 본 하천정화시설은 도심지역 내 오염된 하천의 수질을 개선하는데 효과적이라고 사료된다.

주제어 : 중소하천, 가압부상공정, 관로형 미생물부착공정

1. 서론

중·소하천은 주변지역의 생활이나 농업 등 각종 용수를 제공하고, 생태적 기능을 담당하는 등 국민 생활과 밀접한 관계를 가지고 있다. 하지만 우리나라의 하천정비 사업은 이수, 치수를 목적으로 하천구조를 변화시켜 하천의 직강화와 콘크리트, 블록, 돌망태 등 획일적인 하천 제방과 둔치를 이용한 인간중심의 친수적 공간 확보를 우선으로 시행되었다. 이로 인해 하천 고유의 형태를 획일화하여 본래 자연 하천의 생태적, 환경적 기능을 상실하게 되었으며, 하류의 홍수량 증가, 하천 유량 감소, 수질악화 등과 같은 문제가 발생되고 있는 실정이다. 또한 급격한 경제 성장에 동반된 물이용의 증가와 도시개발은 수문 순환 구조를 변형시켰고,

그 결과로써 평상시의 하천 유출량이 감소하는 건천화 현상이 나타나고 있다.¹⁾ 물 부족 국가인 우리나라는 하천의 오염을 최소화하고, 부족한 수량을 확보하기 위해 오수 및 하수관거를 지속적으로 정비하고 있다. 이와 같은 노력으로 2011년 현재 전국의 하수관거 보급률은 73.4%이며 서울 및 광역시, 수도권 지역은 100%에 가까운 높은 하수관거 보급률을 나타내고 있다.²⁾ 하지만 경기 일부 구간 및 충청, 전라, 강원지역은 아직까지 하수관거 정비가 미흡한 구간이 많아 생활하수 등 오염물질이 주변 하천으로 유입되고 있으며, 이로 인해 하천의 수질악화 및 생태계 불균형의 원인이 되고 있다. 이에 따라 최근에는 오염부하의 양적 증가를 적절히 통제하기 위해 수계구간별 목표수질을 설정하고, 단위 유역 내 배출되는 오염물질의 총량을 관리하는 수질오염총

[†] Corresponding author E-mail: wwtg@daum.net Tel: 031-257-7689 Fax: 031-257-7689

량제도를 도입하였다. 이전까지는 BOD를 대상으로 1단계 총량제가 실시되었으며, 2011년부터는 하천의 조류성장 제한 인자인 TP를 규제하고 있다.³⁾ 하천 내 오염물질 정화를 위해 환경부는 하천 정비 사업에 자연형 하천의 개념을 도입하여 기존의 하천 정비 상의 문제점을 개선하고, 인간과 자연이 공존하는 환경을 만들자는 취지에 하천 정비 사업을 시행 중에 있다.⁴⁾ 그러나 자연형 하천정화 공법은 유지관리 및 제거효율 측면 등 다양한 문제점들이 지적받고 있는 실정이다. 그 이유로는 첫째, 자연형 하천정화 사업 시행 이후 설치 대상하천에 대한 지속적인 모니터링 자료의 부족과 그 효과를 객관적으로 입증하기 어려운 점에 있다. 둘째, 여름철 집중 호우로 인해 인공습지, 식생수로 등의 시설물이 매년 유실되어 유지관리비, 시설관리비 등의 문제점들이 지적되고 있으며, 겨울철의 경우 하천 건천화로 인해 수질정화습지로 유입되는 수량이 거의 없어 관리의 어려움을 겪고 있는 점이다. 셋째, 현재 설치되어 있는 대부분의 자연형 하천정화 공법은 하천의 계절별 변화(유량, 수온 등)를 고려하지 않은 일괄적인 체류시간(Hydraulic retention time, HRT)의 적용으로 여름철, 겨울철 오염원 처리효율의 변화가 크며, 설계인자 적용의 불명확성 등 설치의 논리성이 부족하다는 지적을 받고 있다.⁵⁾ 따라서 본 연구의 목적은 자연형 하천 정화 공법의 문제점으로 지적되고 있는 계절별 오염물질 제거효율 변동 문제를 부분적 해결로 일조하고자 한다. 또한 공정 처리수를 하천 상류로 재순환하여 하천의 건천화 현상을 방지하는데 있다. 이에 따라 본 연구에서는 물리화학 적처리 방식과 생물학적처리 방식을 적용하여 각 단위 공정별 체류시간 변화에 따른 TBOD₅, TP 및 TSS의 제거 효율을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 대상하천 선정

대상하천 선정은 경기도 안성시 안성천으로 유입되는 주요 지류 10개 지점(기술천, 조령천, 사흥천, 옥정천, 현곡천, 월동천, 현암천, 계촌천, 한운천, 금석천)의 유역특성, 오염원 배출 부하량 정도를 기초 조사하여 연구 목적에 맞는 대상 하천 지점을 선정하였다. 기초 문헌을 토대로 안성천 유역에 대한 인구, 가구 및 토지이용현황, 오염 부하량 조사 결과 인구 및 가구 현황의 경우 금석천이 인구밀도(인/km²)가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 주택 및 상가가 밀집되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 유역 토지이용 현황은 금석천에서 10개 지점 중 가장 높은 대지 및 공업지역 분포를 나타내고 있다. 금석천은 주변에 공공주택이 밀집된 지역을 통과하는 하천으로 생활하수 등으로 인한 오염이 매우 심각하여 생활 민원이 급증하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도심지역 내 오염된 중소하천 정화 장치 개발이라는 목적에 적합한 대상 하천으로 금석천을 선정하였다.

2.2. 연구 장치의 구성 및 운전조건

하천정화시설에 의한 TBOD₅, TP, TSS (Total suspended solids) 제거효율 평가는 경기도 안성시 당왕동 금석천에 설치된 일 최대 300 m³/day 규모의 파일릿 플랜트를 이용하여 수행하였다. 본 연구 장치의 구성 및 공정도 평면도를 아래 Fig. 1, 2에 나타냈다. 본 시설은 안성시 당왕동에 위치한 금석천에 취수정을 설치하여 원수를 하천 모사 시설로 공급

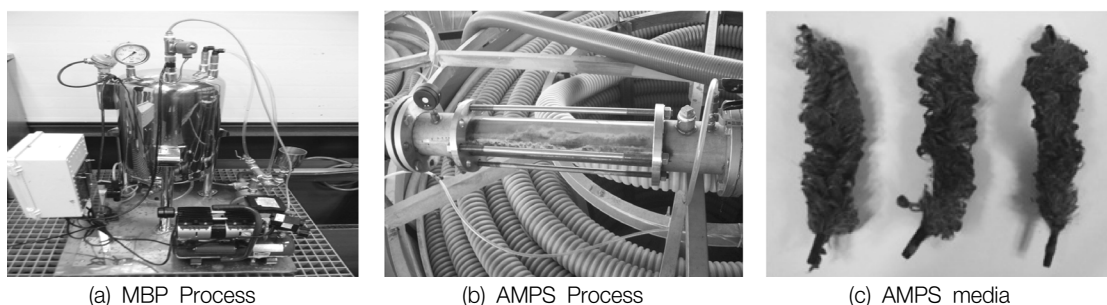


Fig. 1. Experimental equipment of physicochemical (a), biological (b), (c) process.

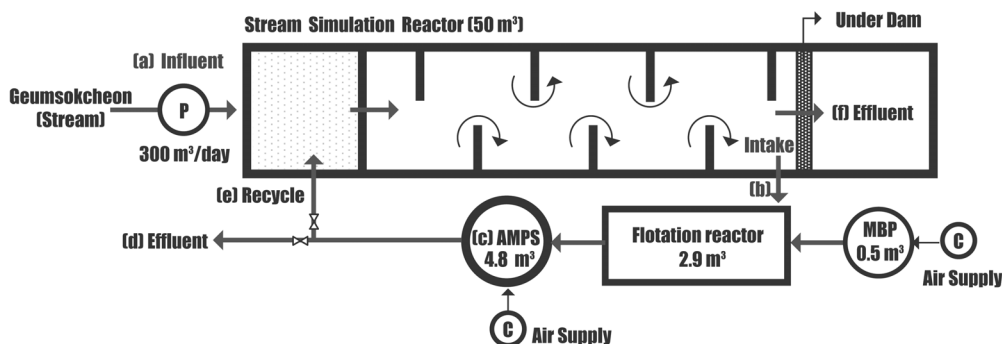


Fig. 2. Schematic diagram of pilot plant (floor plan).

하였다(Fig. 2(a)). 시설로 공급된 원수는 배관 삼입형 유량계를 통해 유량을 측정 후 50 m³ 규모의 하천모사 수로로 유입하였다. 이후 하천 모사 시설 후단에서 가압부상조로 유입하였으며, 미세 기포발생기(Micro Bubble Process, MBP, Fig. 1(a))를 이용하여 원수 내 존재하는 TP 및 TSS를 제거하였다(Fig. 2(b)). MBP 시설에 의해 부상된 고형물은 분리 처리하였으며, 가압부상조에서 처리된 처리수는 PFR (Plug Flow Reactor) 형식의 관로형 미생물 부착 반응조(Attached Microbial Pipe System, AMPS, Fig. 1(b))로 유입하여 용존성 유기물을 제거하였다(Fig. 2(c)). AMPS의 경우 관 내부에 여재를 삽입하였으며, 하수처리장 슬러지를 사용하여 여재에 미생물을 부착하였다(Fig. 1(c)). 또한 일정한 하천 온도에서 공정 효율 및 설계인자를 도출하기 위해 동절기 시 유입수온을 강제로 승온하여 15~20℃ 사이에서 운전하였다.

각 장치별 처리효율(Fig. 2(d)) 및 처리수 순환에 의한 공정 평가(Fig. 2(e))를 위해 처리수의 배출 배관을 분리하였다. 처리수 순환에 의한 공정 평가의 경우 본 연구의 목적으로 제시한 건천화 현상 방지를 위해 최종 처리수를 상류로 이송 후 상류지점의 수질을 평가하는데 있다. 하천수질의 주요 변화는 크게 계절적 요인 및 하도의 특성에 따라 좌우되며, 본 연구의 경우 파일렛 플랜트라는 제한적 조건 때문에 계절적 요인에 중점을 두어 운전 조건을 수립하였다. 하천의 계절적 특성에 따라 처리효율에 영향을 미칠 수 있는 주요 변화 인자로 수질(Water quality)과 수리학적체류시간(HRT)을 설정하였다.⁶⁾

2.2.1. TP 및 TSS 제거효율 평가를 위한 MBP 운전조건

MBP의 운전조건은 시설로 유입되는 유입유량 변화에 따라 가압부상조 체류시간 및 미세 기포 주입량의 변화를 구분하여 설정하였다. 미세 기포주입량은 미리 Jar-Test에 의해 결정된 최적 주입량(유입 유량 대비 8%)을 적용하였다. 약품 주입의 경우 폴리염화알루미늄

(Poly aluminum chloride, PAC)을 0.029 L/Influent rate m³·d로 고정하여 주입하였다. 계절별 농도 변화에 따른 장치 효율 평가는 가압부상조 체류시간을 Mode (1-6)로 세분화하여 실험을 수행하였다. 연구 기간 중 MBP 모드별 운전 조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Experimental conditions of MBP (2010.11~2011.02)

Mode	Influent flow (m ³ /d) ^{Fig. 2(a)}	Flotation HRT (min)	Bubble flow (m ³ /d)	PAC dosage (L/d)	Pressure (kgf/cm ²)
1	68.43	60.0	5.51	2.0	3.42
2	105.6	40.0	8.53	3.1	3.21
3	140.4	30.0	11.5	4.1	2.99
4	178.8	23.0	14.5	5.2	2.85
5	218.4	19.0	17.5	6.4	2.59
6	295.2	14.0	23.8	8.7	2.25

Table 2. Experimental conditions of AMPS (2010.11~2011.02)

Mode	Influent flow (m ³ /d) ^{Fig. 2(a)}	AMPS _{in} flow (m ³ /d) ^{Fig. 2(b)}	AMPS HRT (min)
1	68.43	68.43	99.2
2	105.6	105.6	64.2
3	140.4	140.4	48.3
4	178.8	178.8	37.9
5	218.4	218.4	31.1
6	295.2	295.2	23.0

Table 3. Operation conditions with variation of MBP, AMPS (2011.02~2011.05)

Mode	Influent ^{Fig. 2(a)} flow (m ³ /d)	MBP _{in} flow (m ³ /d)	AMPS _{in} flow (m ³ /d)	Q _{Re} /Q _{Inf}	Flotation HRT (min)	AMPS HRT (min)
1	68.43	218.4	218.4	3.2	19.0	31.1
2	140.4	218.4	218.4	1.6	19.0	31.1
3	218.4	218.4	218.4	1.0	19.0	31.1
4	295.2	218.4	218.4	0.7	19.0	31.1

2.2.2 TBOD₅ 제거효율 평가를 위한 AMPS 운전조건

AMPS의 운전조건은 MBP 공정 처리수가 AMPS로 유입되는 유입유량 변화에 따라 시설의 체류시간 변화를 구분하여 설정하였다. AMPS는 체적 4.8 m³으로 관 내부에 나일론 섬유로 제작된 로프형 고정상 접촉여재 4가닥을 삽입하였으며, 하수처리장의 슬러지를 24시간 이상 순환하여 미생물을 부착시켰다. 계절별 농도 변화에 따른 장치 효율 평가는 AMPS의 체류시간을 Mode (1-6)로 세분화하여 실험을 수행하였다. 연구 기간 중 AMPS 모드별 운전 조건을 Table 2에 나타냈다.

2.2.3. 공정 처리수 순환에 따른 처리효율 평가

처리수 재순환에 따른 공정 제거효율 평가를 위해 연속운전 방식 결과를 토대로 최적 장치 체류시간을 선정하였으며, 이를 고정 운전 하면서 유입 유량을 변경하여 처리수를 순환시켰다(Fig. 2(a)→(b)→(c)→(e)). 처리수 순환공정의 운전 조건을 Table 3에 나타내었다.

2.3. 수질 및 유량 측정 방법

시료 채수는 매일 동일한 시간에 실시하였으며, 시료의 항목별 분석 방법은 Standard Methods (APHA, 2005)에 준하여 분석하였다.⁷⁾ 하천 및 반응조 내 유량은 하천용전자식유속계 AEMI-D (JFE-ADVANTECH Co., Ltd)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입수 특성

연구 기간 동안 측정된 파일렛 플랜트 유입 지점의 TBOD₅, TP, TSS 평균 수질 및 부하량 결과를 다음 Table 4, Fig. 3 및

Table 4. Characteristics of influent in the pilot plant

Item		2010					2011				
		Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
Conc. (mg/L)	TBOD ₅	14,33	17,56	55,80	77,34	81,21	83,13	90,75	86,66	69,36	41,73
	TP	1,26	1,20	1,58	2,12	1,92	1,77	1,97	1,85	1,87	1,16
	TSS	13,42	20,14	46,95	70,56	70,64	67,46	71,96	70,71	67,15	39,97
Load (kg/d)	TBOD ₅	1807,5	1571,9	1464,6	1385,5	1148,5	1068,2	1083,4	998,81	901,69	777,15
	TP	160,5	120,7	42,32	33,43	28,12	22,23	22,98	21,71	24,66	22,14
	TSS	1716,3	1917,2	1242,8	1292,8	1016,8	886,45	847,21	803,34	873,81	752,94
Temperature (°C)		27	20	15	8,2	7,8	8,7	10	13	17	22

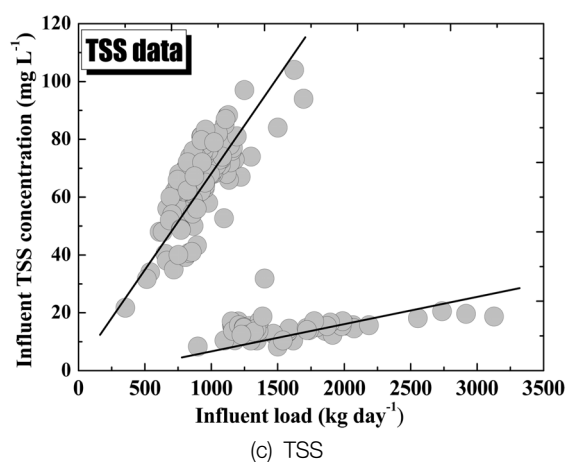
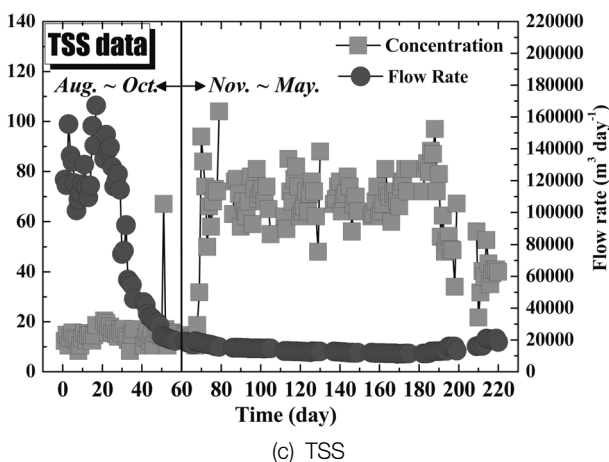
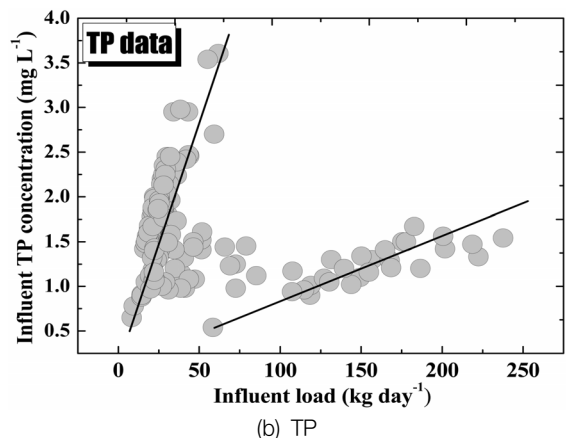
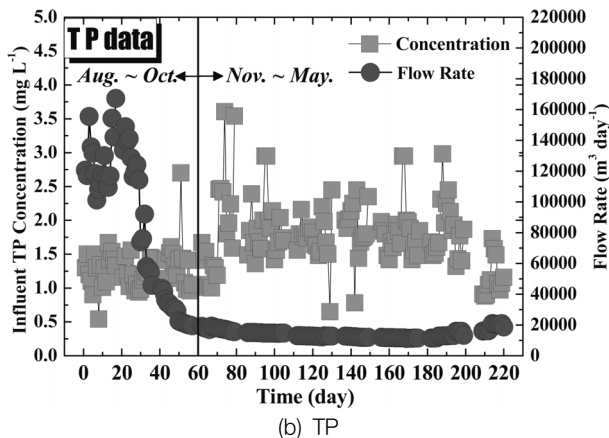
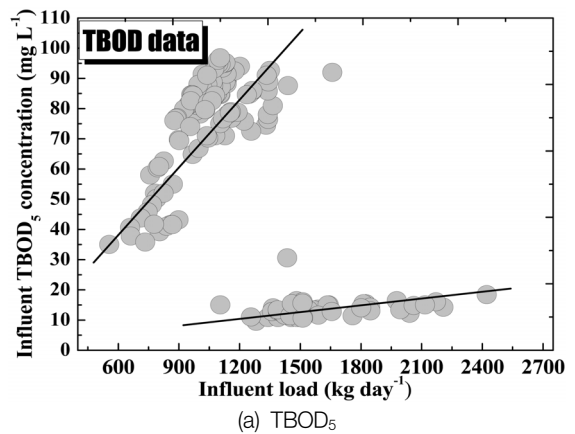
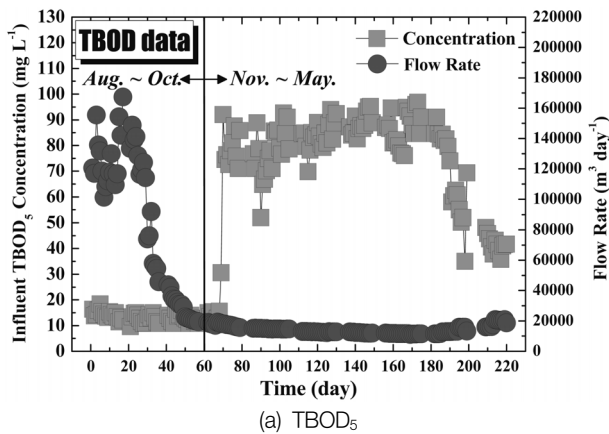


Fig. 3. Concentration and flow rate of influent in the pilot plant.

Fig. 4. Concentration and load of influent in the pilot plant.

4에 나타났다. 유입 지점의 오염원 수질은 12월부터 3월까지 높은 농도를 보였으며, 4월부터 점차 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 부하량의 경우 동절기에 비해 하절기 시 높은 것을 볼 수 있었다. 이는 유량이 증가하면 수질 농도가 감소하고 유량이 감소하면 수질농도가 증가하는 것으로, 금석천과 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.

3.2. 연속운전에 따른 물리화학적, 생물학적처리 시설 제거효율 평가

3.2.1. MBP 적용에 따른 TSS, TP 제거 특성

하천 내 존재하는 TSS, TP 제거를 위해 물리화학적 처리시설로 MBP를 적용하였으며, Mode(condition : HRT) 별 운전 조건 변화에 따른 결과를 Table 5 및 Fig. 5, 6에 나타냈다.

운전 조건 변화에 따른 모드별 TSS 제거 특성의 경우 각각 평균 3.98, 5.93, 8.44, 9.57, 11.43 및 13.23 kg/day의 제거량과 평균 83.69, 80.40, 81.09, 79.29, 76.05, 63.77%의 제거효율을 보였다. 모드별 TP 제거 특성의 경우 평균 0.14, 0.18,

Table 5. Removal efficiencies according to the variation of HRT and pressure in MBP

Mode	TSS removal efficiencies (Ave.)				TP removal efficiencies (Ave.)			
	Inf.	Eff.	R,L.	R,E.	Inf.	Eff.	R,L.	R,E.
1	69.42	11.29	3.98	83.69	2.14	0.09	0.14	95.15
2	69.50	13.33	5.93	80.40	1.86	0.11	0.18	93.94
3	73.42	13.29	8.44	81.09	1.86	0.16	0.24	90.83
4	67.42	13.92	9.57	79.29	1.80	0.14	0.30	82.13
5	68.25	15.92	11.43	76.05	2.01	0.19	0.40	90.24
6	70.08	25.25	13.23	63.77	1.82	0.20	0.48	88.05

*Influent, Effluent: mg/L, Removal load: kg/d, Removal efficiency: %

0.24, 0.30, 0.40 및 0.48 kg/day의 제거량과 평균 95.15, 93.94, 90.83, 82.13, 90.24, 88.05%의 제거효율을 보였다. MBP 운전 결과 가압부상조 체류시간이 감소할수록 전반적으로 오염물질 처리 효율이 저하됨을 볼 수 있었으며, 제거 부하량의 경우에는 선형적으로 증가하는 경향을 보였다.

가압부상조 체류시간 변화에 따른 실험 결과 Mode 6에서 가장 높은 방류수질과 낮은 처리효율을 나타냈으며, 이러한 결과는 유입유량 증가에 따른 가압부상조 체류시간 감소에 따른 것으로 판단된다. 또한 미세기포 발생량 증가에 따라 가압탱크의 압력이 낮아서 2.5 kg/cm² 이하에서는 가압부상기 내부에서 마이크로 버블 입자의 크기가 커져 부상

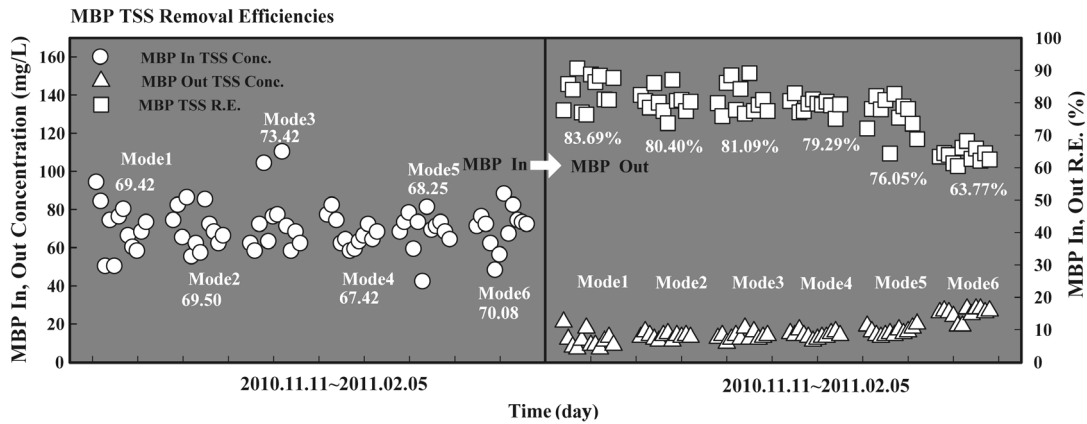


Fig. 5. Removal efficiencies of TSS according to the variation of HRT and pressure in MBP.

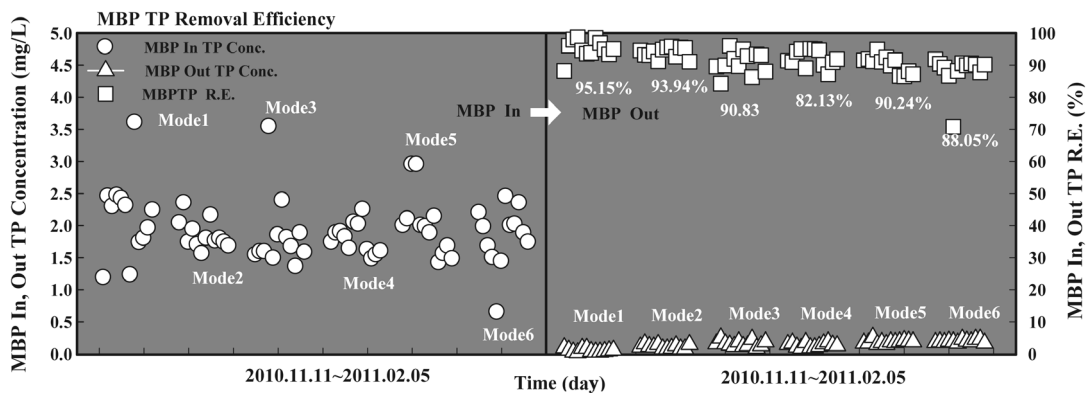


Fig. 6. Removal efficiencies of TP according to the variation of HRT and pressure in MBP.

효율이 감소된 것으로 판단된다. 이에 MBP는 가압부상조 체류시간을 최소 19 min 최대 60 min 사이를 유지해야 할 것으로 판단되며, 가압탱크 압력 범위는 2.59~3.42 kg/cm² 사이를 유지해야 할 것으로 사료된다. 허남주(2011)의 연구에서는 10 μm 이하의 미세버블 생성율은 가압부상기의 내부 압력에 비례한다는 결과를 보이고 있다.⁸⁾ 이기철의 부상분리 시스템을 이용한 하수처리 연구결과에서는 가압부상조 체류시간 20 min 이상에서 TP의 경우 90% 이상의 제거효율을 보였으며, TSS의 경우 50% 이상의 제거효율을 나타내고 있다. 또한 수온에 의한 영향보다는 가압부상조 체류시간에 따라 제거효율이 결정된다고 보고되어있다.⁹⁾ 따라서 MBP의 적용은 계절에 따른 TSS 및 TP 부하량 변화에 안정적으로 대처 가능할 것으로 사료된다.

3.2.2. AMPS 적용에 따른 BOD 제거 특성

하천 내 존재하는 용존성 BOD 제거를 위해 생물학적 처리시설로 AMPS를 적용하였으며, Mode (condition : HRT)별 운전 조건 변화에 따른 결과를 Table 6 및 Fig. 7, 8에 나타냈다.

Mode별 운전조건에 대한 AMPS 공정의 오염물질 제거 특성을 종합한 결과 TBOD₅의 경우 Mode 1, 2, 3, 4, 5에서 52.95, 49.04, 53.42, 42.94, 43.74%의 제거효율로 효율의 큰 변동이 없었으며, mode 6 (HRT 22.98 min)에서 17.98%로

Table 6. Removal efficiencies according to the variation of HRT in AMPS

Mode	TBOD ₅ removal efficiencies (Ave.)				TSS removal efficiencies (Ave.)			
	Inf.	Eff.	R,L.	R,E.	Inf.	Eff.	R,L.	R,E.
1	45.10	21.16	1,637	52.95	11.29	12.05	-	-5.94
2	46.50	23.72	2,406	49.04	13.33	14.17	-	-7.20
3	44.60	20.53	3,379	53.42	13.29	14.19	-	-6.83
4	47.60	27.13	3,660	42.94	13.92	15.13	-	-9.80
5	47.90	26.61	4,650	43.73	15.92	16.77	-	-6.43
6	58.30	47.78	3,105	17.98	25.25	25.42	-	-0.88

*Influent, Effluent : mg/L, Removal load : kg/d, Removal efficiency : %

제거효율이 상대적으로 크게 감소되는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 체류시간에 따라 TBOD₅의 제거효율이 선형적으로 증가하거나 감소하는 경향이 아님을 나타내고 있으며, 일정 체류시간 이후로 감소하는 경향을 나타낸다는 점을 도출할 수 있었다. 또한 AMPS 체류시간에 따른 제거효율(농도위주)과 제거부하량과의 상관관계를 그래프 화하여 최적 체류시간을 도출하였다. 그 결과, mode 5 (HRT 31.05) 이후 제거효율 및 제거 부하량이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 AMPS 공정의 최적 운전조건을 Mode 5로 결정하였으며, 제거효율 및 제거 부하량에 대한 상관관계를 아래 Fig. 9에 나타내었다.

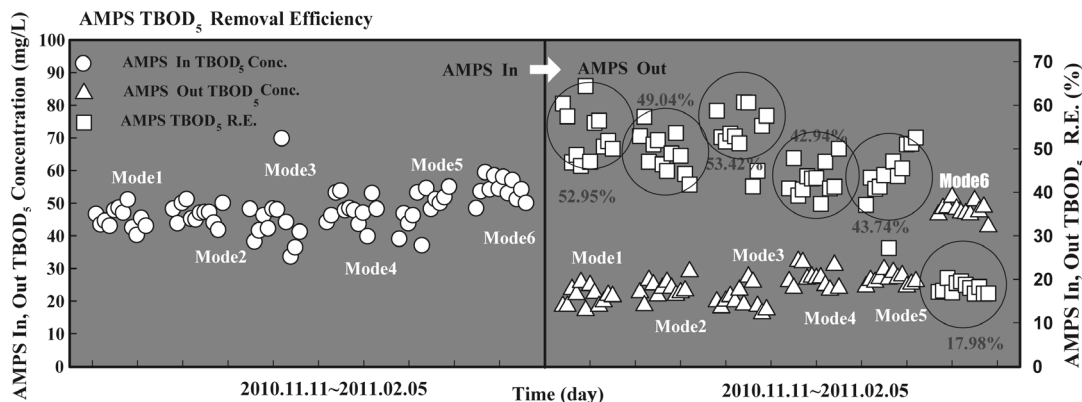


Fig. 7. Removal efficiencies of TBOD₅ according to the variation of HRT in AMPS.

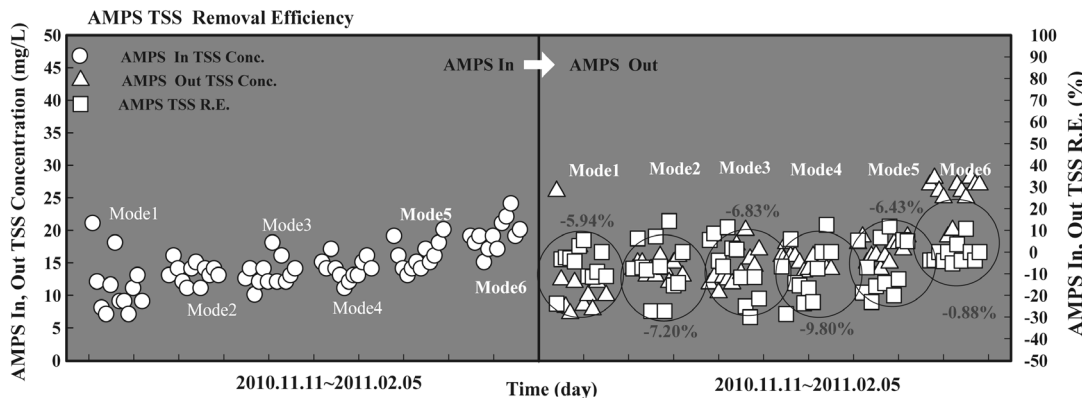


Fig. 8. Removal efficiencies of TSS according to the variation of HRT in AMPS.

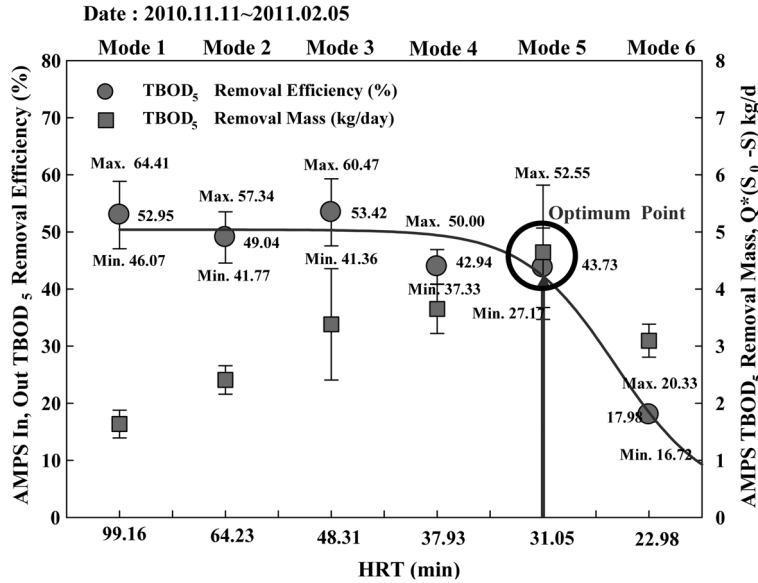


Fig. 9. Removal efficiencies and mass of TBOD5 according to the variation of HRT in AMPS.

기존 연구논문을 고찰한 결과 김학용의 끈상 접촉여재를 이용한 하천정화방안 연구에서는 체류시간의 증가함에 따라 BOD₅의 제거효율의 증가하는 결과를 보이고 있으며, 본 연구와 상반된 결과를 보이고 있다.¹⁰⁾ 따라서 관로형 미생물 부착공정의 경우 기존 연구 논문에서 도출된 설계인자와 구분하여 적용해야 할 것으로 사료된다.

AMPS_{in} TSS와 AMPS_{out} TSS의 농도 차이가 없음을 볼 때 AMPS 공정은 대부분 용존성(Soluble)으로 존재하는 BOD₅를 제거한 것으로 볼 수 있었다. 모든 Mode에서 대부분 AMPS 유입보다 방류에서 높은 TSS 농도를 보였으며, 이는 AMPS 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 섭취, 성장하여 탈리된다는 결과를 증명하고 있다.

3.3. 연속식 운전에 따른 MBP 및 AMPS 공정 설계인자 도출

본 연구개발의 처리 공정은 크게 물리화학적 공정과 생물학적 공정으로 나누어지며, 물리화학적 공정의 경우 MBP 공정을 이용하였으며, 생물학적 공정의 경우 AMPS 공정을 적용하였다. 물리화학적처리 공정 설계인자는 연속운전방식(Mode 1~6)을 토대로 단위 Bubble 토출량당(Main Body) 오염물질 제거량과 약품 투입에 따른 오염물질 제거량을 도출하였다. 단위 MBP 버블 토출량에 따른 오염물질 제거량의 경우 유입 유량, 농도와 MBP_{out}의 유량, 농도를 측정하여 Mode에 대한 오염물질 제거량을 측정하였으며, 장치 체적당으로 산출하여 설계인자를 정리하였다. 약품 투입에 따른 오염물질 제거량의 경우 오염물질 제거량을 일 약품투입량으로 나누어 산출하였다. 도출된 설계인자를 Mode별로 Table 7에 나타냈다.

Table 7. Design factors of MBP according to the variation of HRT

Item	Bubble _{SRR-TSS} ¹⁾ kg/m ³ ·d	Bubble _{SRR-TP} ¹⁾ kg/m ³ ·d	PAC _{Removal-TSS} ²⁾ kg/L·d	PAC _{Removal-TP} kg/L·d
1	0.727	0.026	1,988	0.070
2	0.702	0.022	2,966	0.092
Mode 3	0.752	0.021	4,221	0.119
(Ave.) 4	0.669	0.021	4,783	0.148
5	0.654	0.023	5,715	0.199
6	0.560	0.020	6,617	0.240

¹⁾ Bubble_{SRR}: 단위 Bubble 토출량 당 TSS, TP 제거량, kg/m³·d

²⁾ PAC_{Removal}: 단위 약품투입량 당 TSS, TP 제거량, kg/L·d

Table 8. Design factors of AMPS according to the variation of HRT

Item	Q m ³ /day	HRT hr	AMPS _{Vol} m ³	S ₀ ^{2)-S₃³⁾ mg/L}	Q*(S ₀ -S) kg/d	(AMPS _L * AMPS _{XM} ⁴⁾) kg	AMPS _{SSUR} ¹⁾ day ⁻¹
1	68.43	1.65	4.71	23.91	1.63	21.51	0.077
2	105.6	1.07	4.71	22.80	2.40	22.16	0.114
Mode 3	140.4	0.81	4.71	24.08	3.38	21.70	0.159
(Ave.) 4	178.8	0.63	4.71	20.42	3.65	22.02	0.173
5	218.4	0.52	4.71	21.26	4.64	22.13	0.218
6	295.2	0.38	4.71	9.802	2.89	23.43	0.147

¹⁾ AMPS_{SSUR}: AMPS 단위 미생물에 따른 기질소비율, day⁻¹

²⁾ S₀: AMPS 유입 TBOD₅ 농도, mg/L

³⁾ S: AMPS 방류 TBOD₅ 농도, mg/L

⁴⁾ AMPS_{XM}: 단위 여재 길이에 따른 미생물 부착량, g/m

생물학적처리 공정 설계인자는 연속운전방식(Mode 1~6)을 토대로 AMPS 내 미생물 부착량, 성장량 및 단위 미생물량에 따른 오염물질 제거율을 도출하였다. 단위 부착 미생물에 따른 AMPS 오염물질 제거량의 경우 MBP_{out} 농도 (AMPS_{in})와 AMPS_{out}의 유량, 농도를 측정하여 Mode에 대한 오염물질 제거량을 측정하였으며, 부착미생물을 측정하

여 단위 부차미생물량으로 오염물질 제거량을 산출하여 설계인자를 도출하였다. 도출된 설계인자를 Mode별로 구분하여 앞의 Table 8에 나타냈다.

3.4. 순환 운전에 따른 MBP 및 AMPS 결과

연속운전(Fig. 2(a)→(b)→(c)→(d))에 따른 실험결과를 토대로 최적 체류시간 및 순환유량(218.4 m³/day)을 고정하였으며, 유입유량(68.4, 140.4, 218.4, 295.2 m³/day)을 변화하여 처리수를 순환(Fig. 2(a)→(b)→(c)→(e)→(f))하였다.

운전 조건에 따른 순환방식의 오염물질 제거 특성을 종합한 결과 TBOD₅의 경우 Q_{Recycle}/Q_{Influent} 비율(3.19, 1.55, 1.0, 0.74) 감소에 따라 68.58, 51.36, 41.23 및 33.78%로 제거효율이 감소하는 것을 나타냈으며, TP의 경우 Q_{Recycle}/Q_{Influent}

Table 9. Removal efficiencies of TBOD₅, TP and TSS in the recycle process

Item	Mode	Influent concentration		Effluent concentration		R.E.	R.M.
		Conc.	Mass	Conc.	Mass		
TBOD ₅	1	87.05	5.95	27.35	1.87	68.58	4.08
	2	95.87	13.46	46.6	6.54	51.39	6.92
	3	81.98	17.90	48.18	10.52	41.23	7.38
	4	91.00	28.86	60.25	17.79	33.78	9.08
TP	1	1.81	0.13	0.54	0.04	70.17	0.09
	2	2.03	0.29	0.88	0.12	56.65	0.16
	3	1.72	0.38	0.92	0.20	46.51	0.17
	4	2.01	0.59	1.34	0.40	33.33	0.20
TSS	1	69.25	4.74	20.95	1.43	69.75	3.30
	2	72.08	10.12	33.56	4.71	53.44	5.41
	3	70.33	15.36	42.36	9.25	39.77	6.11
	4	72.58	21.43	54.24	16.01	25.27	5.41

*Influent, Effluent : mg/L, Removal load : kg/d, Removal efficiency : %

감소에 따라 70.17, 56.65, 46.51 및 33.33%로 제거효율이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한 TSS의 경우에도 69.75, 53.44, 39.77 및 25.27%로 감소하는 것을 볼 수 있었다. 순환공정 운전의 경우 Q_{Recycle}/Q_{Influent} 비율이 감소할수록 오염물질의 제거효율 또한 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이는 하천 유입 유량 증가에 따라 처리수의 희석효과로 판단된다. Table 9에 순환 공정에 따른 결과를 나타냈다.

순환공정 운전을 토대로 Q_{Recycle}/Q_{Influent} 비와 각 오염물질 제거효율과의 상관관계를 Fig. 10에 나타냈다. 상관관계의 경우 순환비율이 증가할수록 제거효율이 증가하는 경향을 보였으며, 이러한 이유는 유입되는 희석효과로 판단되며, 본 상관관계에서 방정식을 토대로 향후 실증 Plant 설계에 필요한 유입 대비 처리유량 선정에 활용이 가능할 것으로 사료된다. Fig. 10에 유입/순환 비를 2.8로 하였을 경우에 TBOD₅의 제거효율을 예로 표현하였다.

4. 결론

본 연구의 목적은 기존 하천 정화 공법의 문제점으로 지적되고 있는 계절별 하천정화효율, 건천화 현상, 유지관리, 소요부지 측면을 해결하고자 물리학적 생물학적 처리 방식을 적용하여 하천 오염원 제거효율 평가에 있다. 이에 물리화학적 처리시설로 가압부상공정을 적용하여 TP와 TSS를 제거하였으며, 생물학적 처리시설로 관로형 미생물 부착 반응 공정을 적용하여 BOD를 제거하였다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 대상하천의 계절별 오염원 수질 조사 결과 생활하수 및 계절별 하천유량 변동으로 인해 계절적 오염물질 농도의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 도심지역 내 오염된 하천의 정화를 위해서는 계절별 일정한 제거효율 달성이 필요할 것

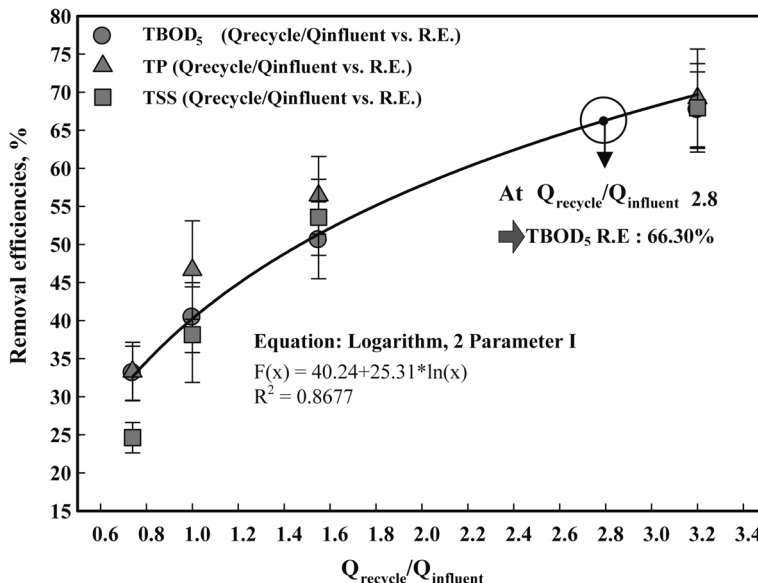


Fig. 10. The relationship between Q_{recycle}/Q_{influent} ratio and removal efficiencies.

으로 판단된다. 따라서 계절별 부하량 변동에 대처가 가능한 장치형 정화시설이 적합할 것으로 사료되며, 처리시설 설치의 경제성을 고려하여 생물학적처리 공정을 함께 운영하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

2) 본 연구는 수질오염총량제도 실행 및 조류 발생의 제한인자인 TP와 BOD, TSS 제거를 위해 MBP와 AMPS 공정을 적용하였다. MBP 연속 운전을 통한 오염원 제거 효율을 비교한 결과 TSS의 경우 최대 83.69%로 나타났으며, TP의 경우 최대 95.15%로 나타났다. AMPS 공정 적용에 따른 BOD 제거효율의 경우 최대 52.95%로 나타났으며, 체류시간 30 min 이하에서 제거효율이 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있었다.

3) MBP와 AMPS 공정의 순환방식의 운전결과를 종합해 보면 TBOD₅는 최대 68.58%, TSS의 경우 최대 69.75%, TP는 70.17%의 처리효율을 나타냈다. 따라서 공정의 순환운전을 오염부하가 높은 하천에 적용할 경우 하천수질개선에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 $Q_{\text{recycle}}/Q_{\text{influent}}$ 비와 각 오염물질 제거효율과의 상관관계를 토대로 향후 실증 Plant 설계에 필요한 유입 유량대비 처리유량, 제거효율 및 제거량 등을 산정하는데 활용이 가능할 것으로 사료된다.

4) 본 연구는 금석천의 실제 일 평균 유량 5,000 m³/day 중 500 m³/day 만큼을 Pilot Plant로 유입하고 수온을 고정하여 운전하였기 때문에 하도 특성 및 수온에 따른 결과도출이 불가능 하였다. 향후 2차년도 실증 규모 하천정화시설 연구 과제 수행 시 위의 문제들을 평가해야 할 것이며, Pilot Plant의 운전결과 및 설계인자를 기준으로 하여 2차년도 실증 Plant를 설계하여 구축 및 운영을 계획 중에 있다.

사사

본 연구는 환경부 “미래유망 녹색환경기술 산업화 촉진사업”으로 지원받은 과제임

KSEE

참고문헌

1. Lee, S. H., Park, J. P., Lee, J. M. and Woo, H. J., “Cause Analysis on Dry of Stream Flow for the Cheongdocheon,” *Korean Soc. Civil Eng.*, pp. 2472~2477(2003).
2. Korea Ministry of Environment, “Statistics of Sewerage,” <http://library.me.go.kr>
3. Korea Ministry of Environment, “Total Water Pollution Load Management,” pp. 12~13(2011).
4. Gyeonggi research institute, “A Strategy for Efficient Management and Maintenance of River,” pp. 3~5(2005).
5. Lee, E. K., “A Study on River Construction Method & its Problem; with Special Reference to the Domestic Nature-Centered Method,” Kwan Dong University Master’s degree, pp. 30~33(2009).
6. Cho, J. Y., “A Study on the Water Quality Improvement System for Small Stream,” Seoul National University of Science and Technology Master’s degree, pp. 21~22(2001).
7. APHA, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,” 21st Edition, American Public Health Association, USA.
8. Heo, N. J., “A Study on the Effecting Factors to Phosphorous Removal in the Dissolved Air Flotation using Micro-bubble,” Yeung Nam University Master’s degree, pp. 66~69(2011).
9. Lee, K. C., “Characteristics of phosphorus Removal in Treated Sewage using Micro-Bubble Flotation System,” The University of Seoul Ph. D. Dissertation, pp. 86~87(2010).
10. Kim, H. Y., “Stream Purification by using String Type Media,” Ajou University Master’s degree, pp. 40~43(2000).