

회전매체를 가진 완전혼합활성슬러지 공법을 이용한 온천지구 하수의 재이용

김 흥 태 · 김 학 석
경북대학교 토목공학과
(2001년 10월 6일 접수; 2002년 1월 16일 채택)

Reuse of the sewage from spa area using the Submerged Moving Media Complete Mixing Activated Sludge (SMMCMAS)

Hong-Tae Kim and Hak-Seok Kim

Dept. of Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
(Manuscript received 6 October, 2001; accepted 16 January, 2002)

This study was performed to evaluate an applicability of the SMMCMAS system for reuse of the sewage from spa area and was operated to HLR(Hydraulic loading rate) of 211.3 to 126.8 $\ell/m^2/d$. The operating HRT(Hydraulic retention time) ranges were 2.5 to 1.5 hours. Conclusions are as follows; At the optimum HLR of 158.5 $\ell/m^2/d$ (HRT of 2.0 hours), the maximum BOD removal efficiency was 94% and the effluent BOD concentration was 1.1mg/ ℓ in result. As the HLR was increased to 211.3 $\ell/m^2/d$, BOD removal efficiency was decreased to 75% and BOD removal efficiency was also reduced to 74% at lower HLR of 126.8 $\ell/m^2/d$. It shows that the maximum BOD removal efficiency occurs at an optimum HLR value and that the removal efficiency decreases when the HLR is either higher or lower than the optimum value. Sludge production rates were ranged 0.01 to 0.24gVSS/gBODrem/d and accomplished to 0.01gVSS/gBODrem/d at the optimum HLR of 158.5 $\ell/m^2/d$.

Key words : reuse, sewage, spa area, SMMCMAS

1. 서 론

도시 인구의 급격한 증가와 제한된 수자원의 고갈로 인하여, 전 세계적으로 갈수기의 물부족 현상을 초래^{1~2)}하고 있으며, 상수원의 오염과 엘리뇨에 의한 이상 기후 등 비상시에 대비하기 위하여 용수원의 다변화를 모색해야 하는 실정에 있다.

이러한 대체 수자원의 개발³⁾로는 지하수의 개발, 해수의 담수화, 인공강우, 저류댐의 확충, 그리고, 용수의 재이용 측면에서 하수 처리수의 재이용, 즉, 중수도가 있다.

California에서는 하수 처리수와 하천수를 혼합하여 지하수로 주입시키는 방식으로 갈수기의 물 부족현

상을 극복하기 위한 노력이 진행되고 있으며,⁴⁾ 일본에서는 막분리 공법을 도입하여 빌딩에서의 재이용수의 사용 및 음용수로 사용하기 위한 연구⁵⁾로 폐수 발생량을 줄이며, 물 수요의 증가를 극복하기 위한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

한편, 국내에서는 지난 1998년 수도법 시행령에서 중수도 설치 시, 정부에서 각종 세금감면의 혜택을 부여하고 있으며,⁶⁾ 한국 수자원 공사에서도 중수도를 설치한 수요자에 대하여, 상수 요금의 일부를 감면해 주고 있다.

그러나, 아직까지는 막대한 정부 예산을 투자한 하수처리장의 고도 정수처리 설비로 인한 양호한 수질의 처리수가 그대로 하천으로 방류됨으로서 양질의 수자원을 낭비하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서 양질의 하수 처리수 및 각 단위별로 발생하는 하·폐수를 재이용수로 사용할

Corresponding Author: Hong-Tae Kim, Dept. of Civil Engineering, Kyungbuk National University, Daegu 702-701, Korea
Phone : +82-53-950-5611
E-mail : htkim@knu.ac.kr

수 있게 하기 위한 처리공정의 개발과 그 공정의 적용성의 검토로, 낭비되고 있는 수자원의 효과적인 재이용 방안을 모색하고자 한다.

특히, 온천지구에서 발생하는 하수⁷⁾는 그 농도에 비해 물 사용량이 매우 많기 때문에 BOD 농도가 낮을 뿐만 아니라 영양염류인 질소와 인의 농도도 상당히 낮게 관측되어 재사용에 대한 필요성이 있다. 그러므로 이러한 하수를 이용한 중수도 방안을 모색함으로 건물 내부 및 주위 조경 시설 등으로의 공급을 가능하게 하여 발생하는 하수의 양을 감소시킬 수 있으며, 물 사용료의 절감으로 경제적인 부담을 감소시킬 수 있다.

본 연구에서는 SMMCMAS(Submerged Moving Media Complete Mixing Activated Sludge)⁸⁾공법을 국내 온천지구에서 발생하는 하수에 적용하여, 온천지구 하수 처리와 아울러 재이용수로 사용하기 위한 운전요소를 도출하기 위하여 수행되었다.

2. 실험

2.1. 모형실험장치

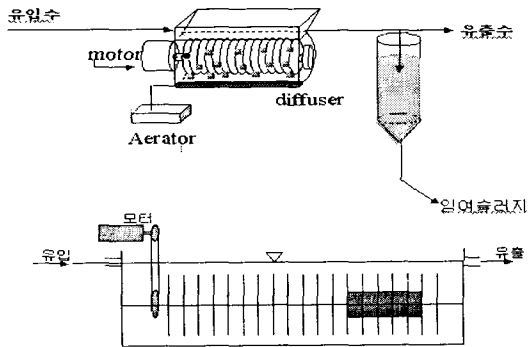


Fig. 2-1. SMMCMAS Reactor.

Fig. 2-1에는 본 실험에 적용한 SMMCMAS공법을 나타내었다. 반응조의 재질은 아크릴 수지가 사용되었으며, 그 크기는 가로×세로×높이가 33cm×19cm×26cm인 장방형으로 제작되었다. 반응조의 하부 측벽에 산기관을 설치하여 반응조 내부의 용존 산소농도를 일정하게 유지하기 위하여 공기를 공급하며, 상승되는 기포에 의한 회전원판에 부착된 미생물의 탈리를 방지하기 위하여 baffle을 횡방향으로 설치하였다.

또한, 반응조 바닥에는 좌우 측벽에서부터 내부로 종방향 경사를 두었으며, 그 측벽하단부에 지름 10mm의 토출구를 설치하여 탈리되어 반응조 바닥으로 침적되는 슬러지를 배제할 수 있도록 하였다. 반응조 내부에 설치된 원형 회전매체 역시 아크릴

수지로 제작되었고, 전체 19개로 직경은 16cm이며, 각각의 설치 간격은 14mm로 회전원판의 유효면적은 0.7573m²이었다.

반응조의 용적은 유효체적이 10ℓ이며, 회전매체 표면적당 반응조의 용적비는 11.78ℓ/㎡이다. 회전원판은 구동 Motor에 연결되어 있으며 Motor에는 감속장치를 부착하여 회전속도를 자유롭게 조정할 수 있도록 하였다.

유입수는 200ℓ의 저류통을 설치하여 수중 교반 펌프를 사용하여 항상 균일한 농도를 유지하였으며, 반응조 내부로의 공급은 Masterflex pump가 사용되었다. 반응조는 20℃ 항온실에 설치하였다. 한편, 침전지는 원추형의 유리제품을 사용하였으며, 그 하부에는 Masterflex pump를 부착하여 침전된 슬러지를 일정한 시간 간격으로 폐기시킬 수 있도록 하였다. 침전조의 체적은 3ℓ이며, 직경 10cm로 수면적은 78.5cm²로 제작되었다.

2.2. 유입수의 성상

시료는 도시지역 온천지구에서 스크린을 거친 하수를 사용하였고, 시료의 채취시간은 오전 10시에서 오후 3시 사이에 이루어졌다. 사용된 유입수의 성상은 Table 2-1에 나타내었고, 대부분의 양이 유입수 저류통으로 주입이 되었으나, 때에 따라서 일부는 5℃ 이하로 냉장보관 되기도 했다.

2.3. 운 전

본 연구의 운전은 저농도의 하수처리에 적합한 회전속도로 disc를 6rpm으로 일정하게 회전시키며, Mode I, II, III에서 수리학적 부하율을 각각 211.3, 158.5, 126.8ℓ/㎡로 변동시킴으로 최적의 처리 조건을 조사하였다.

Table 2-1. Characteristics of sewage from the spa area [Unit : mg/ℓ]

Parameter	range	Average
Temperature[℃]	24.5 ~ 7.1	16.0
pH	8.3 ~ 7.1	7.9
DO	3.7 ~ 0	0.8
TSS	22.3 ~ 3.2	12.0
VSS	21.5 ~ 0	10.0
TCOD	62.1 ~ 26.0	35.9
SCOD	36.3 ~ 13.0	20.9
TBOD	33.2 ~ 16.1	22.4
SBOD	10.2 ~ 3.3	7.5
THN	5.6 ~ 2.2	3.2
NH ₃ -N	2.7 ~ 0.1	1.1
NO ₃ -N	0.9 ~ 0	0.2
TN	5.6 ~ 2.3	3.5
TP	2.2 ~ 0	0.7
SP	1.0 ~ 0	0.4

3. 실험 결과 및 분석

3.1. 유기물질 제거

수리학적 부하율에 따른 유입·유출수의 유기물질 농도 변화를 Table 3-1에 나타내었다.

Table 3-1에서 나타난 바와 같이 TCOD 및 TBOD 제거는 수리학적 부하율이 158.5 ℓ/m²/d인 Mode II에서 가장 큰 제거효율을 나타내고 있다. 수리학적 부하율이 158.5 ℓ/m²/d에서 TBOD 제거효율이 91%로 최대를 나타내었고, 수리학적 부하율을 211.3 ℓ/m²/d로 증가한 Mode I의 경우 BOD 제거효율이 75%로 감소함을 나타내고 있다. 이는 활성슬러지 공법이나 RBC의 경우와 같이 수리학적 부하율이 증가함에 따라 COD 및 BOD 제거효율이 감소하는 것과 일치하는 것으로 나타났다.⁹⁾

한편, 수리학적 부하율을 126.8 ℓ/m²/d로 감소시킨 Mode III의 경우에도, TBOD 제거효율이 74%로 감소하는 것으로 나타나, 활성 슬러지 공법이나 RBC 공법과 다른 양상을 보이고 있다. 이는 일반적인 경우와는 달리 Mode I과 Mode II에서는 BOD 부하량이 5.13 및 3.52 gBOD/m²/d로 Ronald가 연구한 최소 수리학적 부하율 40 ℓ/m²/d와 BOD 부하량 6 gBOD/m²/d에 비교해 볼 때, 수리학적 부하율은 상대적으로 큰 값을 가지나, BOD 부하량이 유사한 값을 나타내므로 미생물의 생육에 제한요소로 작용하지 않아 반응시간이 긴 Mode II에서 BOD 제거효율이 최대를 나타내었다.

Table 3-1. Operating of organic matters

Mode	HLR	OLR	HRT	F/Mv	MLSS [mg/l]	Influent[mg/l]			Effluent[mg/l]			Rem. efficiency [%]		
						COD	BOD	SS	COD	BOD	SS	COD	BOD	SS
I	211.3	5.13	1.5	0.54	856	42	24	17	20	5.9	6.2	51	75	61
II	158.5	3.52	2.0	0.36	1161	35	22	9	13	2.1	0.6	63	91	94
III	126.8	2.66	2.5	0.74	520	32	21	11	15	5.4	10.3	51	74	25

Note) Hydraulic Loading Rate(HLR) : [ℓ/m²/d], Organic Loading Rate(OLR) : [gTBOD/m²/d], Hydraulic Retention Time(HRT) : [hrs], F/Mv rate : [gTBOD/gMLVSS/d]

그러나, Mode III에서는 BOD 부하량 2.66 gBOD/m²/d로 너무 낮은 유기물 부하량과 상대적으로 높은 126.8 ℓ/m²/d의 수리학적 부하율로 인하여, 부착 미생물들의 급격한 탈리 현상으로 전체 부착 미생물의 양이 감소하여 BOD 제거효율이 다시 감소한 것으로 나타났다.

그러나, Mode I보다 Mode III에서 미생물의 양은 적으나, TBOD 제거효율이 유사한 값을 나타내고 있는데, 미생물 양이 감소하면 일반적으로 BOD 제거효율이 감소되나,¹⁰⁾ F/M 비가 0.54와 0.74로 유

사하게 나타났으며, 실험 기간의 증가에 따라 부착 미생물이 유입수에 충분히 적응이 되어있는 상태이며, Mode I, II와는 달리 반응시간이 2.5시간으로 길어졌기 때문이다. 그러므로, 전체 Mode 중에서 부착 미생물의 양은 가장 적으나, 미생물의 활성의 증가와 긴 반응시간으로 인하여 처리수질은 Mode I과 유사한 수준으로 유지가 가능하였다.

결과적으로, 유입 BOD 농도가 평균 22.39mg/ℓ로 본 연구에 적용된 온천지구 유출수의 특성상 수리학적 부하율 및 유기물질 부하량이 적정 범위를 벗어나는 경우에는 유기물질 제거효율이 일반적인 경우와는 다른 변동양상을 나타내는 것으로 사료된다.

즉, 수리학적 부하율이 158.5 ℓ/m²/d보다 높거나, 낮은 부하율에서는 유출수의 BOD 제거효율이 낮아지며, 특히, 수리학적 부하율을 158.5 ℓ/m²/d 이하로 낮출 경우에는 상대적으로 시간당 처리 수량과 효율이 감소하므로 경제성을 고려할 경우 높은 수리학적 부하율로 운전하는 것이 효과적이며, 유출수의 BOD 농도를 최소로 유지하기 위해서는 수리학적 부하율을 158.5 ℓ/m²/d 이상으로 유지하여야 한다.

Ronald는 일반적인 RBC 공법에서는 BOD값을 5 mg/ℓ 이하로 낮추기는 불가능하며¹¹⁾, 이를 위해서는 적절한 3차 처리기술이 포함되어야 한다고 밝힌 바 있으나, 본 공법에서는 기존의 RBC 공법과는 달리 특별한 3차 처리 기술을 포함하지 않고도 수리학적 부하율 158.5 ℓ/m²/d에서 유출 TBOD 농도를 1.1mg/ℓ 까지 얻을 수 있다.

F/M비는 Mode I, II, III에서 평균 0.54, 0.36, 0.74 gBOD/gMLVSS/d로 나타났으며, 0.5는 12) RBC 공법에서 활성 슬러지 공법과 유사하게 F/M비가 증가하면, BOD 제거효율이 감소하며, 특히 F/M비가 0.2gBOD/gML-VSS/d 이하에서는 BOD 제거율을 90% 이상 유지할 수 있으며, 그 이상에서는 급격한 BOD 제거효율의 감소를 보인다고 했다.

본 연구에서도 Mode I과 Mode II에서는 F/M비가 증가함에 따라 TBOD 제거효율은 감소하는 양상을 나타내고 있다.

그러므로 본 연구의 온천지구 하수에서는 F/Mv 비를 0.36 gBOD/gMLVSS/d로 운전하는 것이 BOD 제거효율을 90% 이상으로 유지하여 운전할 수 있는 것으로 밝혀졌으며, F/M비를 0.45~0.8 gBOD/gMLVSS/d의 범위로 운전할 경우, BOD 제거효율이 75~80%로 감소를 보이고 있으나, 유입되는 BOD 농도가 평균 22.4mg/ℓ로 낮게 유입되는 특성상 높은 F/M비로 운전하여 시간당 처리 수량을 증가시켜도 유출수의 BOD 농도가 최대 7.8mg/ℓ로 나타나고 있으므로 중수도 기준(BOD 10 ppm)을 만족하므로 고

효율로 운전이 가능하다.

유출수의 SS농도는 Table 3-1에서와 같이 유입수는 3.72~22.25mg/ℓ (평균 11.97)를 나타내며, 유출수의 SS농도는 Mode I, II, III에서 각각 1.2mg/ℓ, 0.6mg/ℓ, 10.3mg/ℓ로 수리학적 부하율이 158.5 ℓ/m²/d인 Mode II에서 유출수의 SS농도가 최소가 됨을 알 수 있다.

그리고, SS의 평균 제거율은 Mode I, II, III에서 각각 61%, 94%, 25%로 Mode II에서 최고 SS제거 효율을 보이는데 이러한 양상은 Ronald의 연구에서 나타난 바와 같이 수리학적 부하율이 감소함에 따라 유출수의 SS 농도가 감소하는 것으로 Mode I에서 Mode II로 수리학적 부하율이 211.3 ℓ/m²/d에서 158.5 ℓ/m²/d로 감소함에 따라 유출수의 SS 농도 역시 6.2mg/ℓ에서 0.6mg/ℓ로 감소하는 양상을 나타내고 있다.

그러나, 수리학적 부하율이 128.6 ℓ/m²/d에서는 다른 Mode와는 달리 유출수의 SS농도가 20~1.8mg/ℓ로 다소 큰 차이를 보이며, 제거효율 역시 25%로 가장 저조한 값을 나타내는데, 비록 탈리된 미생물의 영향을 줄이기 위하여 침전조를 운용하였으나, Table 3-3과 같이 유기물질 부하량이 낮아짐에 따라, 회전매체로부터 부착된 미생물의 탈리가 시작되었으며 반응조 내부의 부유미생물의 증가를 유발시켰기 때문이다. 그러므로, 온천지구 하수와 같은 BOD 40mg/ℓ 이하의 저농도의 하수에 있어서, 기존의 하수처리 공법과 달리 BOD 및 SS 제거효율은 수리학적 부하율이나 체류시간의 증감에 영향을 받지 않으며, 특정한 운전범위에서 처리효율이 가장 높게 나타나므로 하수를 처리하기 위해서는 적절한 운전 조건을 확보하여야 한다.

3.2. 영양염류의 제거

유출수 내의 영양염류의 농도와 그 제거효율은 Table 3-2에서 나타내었다. 유입수의 TKN 및 NH₃-N 농도는 5.6~2.24mg/ℓ (평균 3.22mg/ℓ)와 2.67~0.09mg/ℓ (1.12mg/ℓ)로 매우 낮은 수치를 나타내고 있으며, 유출수 역시, 각각 1.01~0.06mg/ℓ (0.45)와 0.91~0mg/ℓ (0.32)로 조사되었다.

Table 3-2. Operating results of nutrients

Mode	HLF	OLI	Influent [mg/ℓ]				Effluent [mg/ℓ]				Rem. efficiency [%]				SNR
			TKN	NH ₃ -N	NO ₃ -N	TP	TKN	NH ₃ -N	NO ₃ -N	TP	TKN	NH ₃ -N	NO ₃ -N	TP	
I	211	5.1	3.16	0.86	0.22	0.6	1.07	0.44	0.90	0.6	67	55	-	36	0.025
II	158	3.5	3.03	1.22	0.2	0.3	0.45	0.32	1.63	0.22	84	72	-	40	0.037
III	126	2.6	3.47	1.24	0.3	1.27	0.58	0.24	2	0.4	82	76	-	64	0.032

Note) SNR(Specific Nitration Rate) : [mg NH₃-N/g MLVSS/hr]

Table 3-2에서 NH₃-N의 제거율은 Mode II에서 72%이며, Mode III에서는 76%로 더 높은 값을 나타내고 있다. Ronald은 유입수 BOD 농도가 낮으면 질산화 미생물이 우점종이 되어 오히려 NH₃-N의 제거효율이 증가한다고 했으며, NH₃-N의 제거율은 유출수 BOD 농도가 높아짐에 따라 급격한 감소를 보이며, 유출수 BOD 농도가 30mg/ℓ 이상에서는 서서히 감소한다고 했다. 즉, 일반 하수에서는 BOD 제거효율이 증가함에 따라 질산화율도 증가하나, 온천하수를 이용한 본 실험에서는 유입되는 NH₃-N의 농도가 2mg/ℓ 이하로 유입되고 있으며, 유입수의 BOD 농도가 20mg/ℓ로 매우 낮은 이유로 Fig. 3-1과 같이 전체적인 NH₃-N의 제거효율은 다소 변화되는 양상이 있으나, 거의 70% 이상으로 유출수 BOD 농도의 변화와 관계없이 일정한 값을 나타내고 있다.

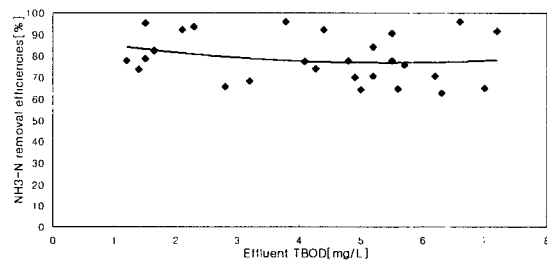


Fig. 3-1. Effluent TBOD vs. NH₃-N removal efficiency.

유입되는 인의 농도는 Table 3-2와 같이 0~2.6mg/ℓ (평균 0.72mg/ℓ)이며, 유출수의 TP농도는 전체 공정에서 평균 0.43mg/ℓ로 아주 낮게 나타나, SMMCMAS 공법의 온천지구에 대한 재이용수 적용상 검토에서 인에 대한 처리 공정을 설치하지 않더라도 충분히 만족한 결과를 얻어낼 수 있는 것으로 사료된다.

3.3. 미생물 및 슬러지 생산량

반응조 내부의 부유 및 부착 미생물의 농도는 Table 3-3에 나타내었다. 반응조 내 부유 미생물의 농도변화는 Mode I과 II에서는 MLSS 농도가 4mg/ℓ 이하로 나타나고 있으나, 수리학적 부하율 128.6 ℓ/m²/d로 감소시켰을 경우, MLSS 농도가 33mg/ℓ까지 급격한 증가를 보이다가, 다시 평균 3mg/ℓ 정도로 일정해 지는 것으로 온천하수 처리 시, SMMCMAS 반응조 내 미생물은 전적으로 부착 미생물로 이루어져 있다.

유기물질 부하량이 3.52 gTBOD/m²/d에서 2.66 gTBOD/m²/d로 낮아짐으로 인한 초기의 급격한 탈리 현상에 의해 부착된 미생물의 손실이 발생하여 전

회전매체를 가진 완전혼합활성슬러지 공법을 이용한 온천지구 하수의 재이용

체 부착 미생물의 양이 감소하였다. 또한 침전지에서 반응조로 슬러지 반송이 없으므로 더이상의 부착 미생물의 양의 증가는 나타나지 않았다. 즉, 낮은 유기물질 부하로 인하여 부착 미생물들이 내생 호흡 단계로 진행되었고, 아울러 질산화 미생물의 우점으로 전체 미생물의 농도가 1161mg/ℓ에서 520mg/ℓ으로 줄어든 것으로 사료되며, 침전조에서의 슬러지 반송이 없으므로 반응조 내부의 미생물량이 전체적으로 감소한 것을 알 수 있다.

Table 3-3. Characteristics of microorganisms in SMMCMAS reactor

Mode	HLLR	OLR	SRT	S.P	Biomass [mg/ℓ]		
					Attached	Suspended	Total
I	211.3	5.13	1.55	0.24	11.1 [g/ℓ]	4	856
II	158.5	3.52	48.61	0.01	15.3 [g/ℓ]	1	1161
III	126.8	2.66	2.77	0.02	6.7 [g/ℓ]	3	520

Note) Hydraulic Loading Rate(HLLR) : [ℓ/m²/d], Organic Loading Rate(OLR) : [gTBOD/m²/d], Sludge Retention Time(SRT) : [days], Sludge Production(S.P) : [gVSS/gTBODrem/d]

또한, 비록 미생물량은 매우 적은 것으로 나타났으나, 전처 실험기간이 길어짐과 아울러 온천지구 발생 하수에 대한 미생물의 적응에 의하여 질산화 및 BOD 제거효율의 큰 폭으로의 감소는 보이지 않고 있다. 유출수의 TBOD 농도를 최대 7.8mg/ℓ로 유지함에 필요한 MLSS의 농도는 불과 520mg/ℓ(부착 미생물 량 6.7g/m²)로 아주 낮은 미생물만으로도 충분히 유출수의 TBOD 농도를 낮출 수 있으며, 이는 중수도 사용기준인 TBOD 농도 10mg/ℓ이하를 충분히 만족시키는 것으로, 결과, 회전원판의 간격을 더욱 좁게 압축시킴으로 회전원판의 개수를 증가시켜 동일한 반응조의 체적에서 시간 당 처리수량의 증대를 가져올 수 있다.

그리고, 중수도 사용 기준 원수의 수질이 BOD 10ppm 이하인 것을 감안할 때, SMMCMAS 공법을 이용하여 온천지구 하수를 처리할 경우, 최적 운전 조건인 Mode II의 1161mg/ℓ(부착 미생물량 15.3g/m²)로 유출수의 BOD 농도를 2.1mg/ℓ 이하로 처리가 가능하므로 충분히 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다.

한편, STR와 슬러지 생산량의 관계는 유기물 부하가 낮은 Mode III으로 근접함에 따라 SRT의 변화는 급격히 감소하는 반면, 슬러지 생산량은 초기에 부착 미생물의 탈리현상에 의하여 다소 증가하는 양상을 보이나, 이내 일정한 양상으로 진행됨을 알 수 있으며, SRT의 값은 전체적으로 변동이 있으나, 슬러지 생산량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

즉, SMMCMAS 공정으로 온천지구 하수를 처리할 경우, 전체 미생물이 부착성장에 의존함으로 슬러지 생산량은 SRT에 큰 영향을 받지 않으며, 단지 부착 미생물의 회전매체로 부터의 탈리현상에 의존하는 것으로 밝혀졌다.

또한, 온천지구 하수와 같이 BOD 20mg/ℓ 이하의 낮은 농도에서는 전체 Mode에서 BOD 제거율과 슬러지 생산량은 특별한 상관 관계를 나타내지 않는다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 본 온천하수에서는 슬러지 생산량은 SRT나 BOD 제거효율과 관계없이 회전매체에서 탈리되는 미생물의 정도에 따라서 0.01 gVSS/gBODrem/d(최대 0.24)정도로 일정하게 나타났다.

3.4. 중수도 적용

본 SMMCMAS공법에 의한 온천지구 하수의 처리수 수질은 최적 운전 단계인 Mode II에서 유출수의 BOD 및 SS 농도가 2.1mg/ℓ 및 0.6mg/ℓ 이하로 Table 3-4에 나타나 있는 활성 슬러지 공법 및 고도처리 공법에 의한 중수도 원수의 수질과 유사한 값을 나타내고 있으며, 이는 중수도 수질인 BOD 10 mg/ℓ 이하로 중수도로 사용하기에 적합한 수질이다.

본 논문에서 유입수의 BOD 농도가 최대 33.2mg/ℓ로 상당히 낮은 값을 가지고 있으나, Pewaukee, Wis. 는 유입수 BOD 34~92mg/ℓ에서 운전한 자료¹¹⁾에서 유출수 BOD 농도를 10mg/ℓ 이하로 낮추지 못했으며, Ronald의 RBC 공정¹¹⁾에 따르면 유출수 BOD 및 SS농도를 10mg/ℓ로 일정하게 운전 할 수는 있으나, 유출수 농도를 5mg/ℓ 이하로 낮추기는 거의 불가능하다고 나타내었으며, 이를 가능하게 하기 위해서는 3차, 또는, 고도처리가 병행되어야 한다고 밝힌 바 있다. 그러므로 본 연구에서는 슬러지의 반송을 생략할 수 있는 RBC의 장점을 활용한 회전매체를 충전재로 사용하여, 생물학적 처리 이외에 물리학적 처리를 병용하지 않고도 그와 유사한 처리수질을 확보할 수 있었다.

특히, 회전 원판법과 급속 여과를 이용한 공법에서의 수질은 본 연구에서 생물학적 처리만을 이용한 처리수의 수질과 유사한 값을 나타내고 있어, 짧은 반응시간으로 운전하여 높은 양질의 처리수질을 확보할 수 있으므로 경제적으로 높은 효과가 있다.

4. 결 론

온천지구에서 발생하는 하수를 중수도 재이용수 원수로 사용하기 위해 SMMCMAS 공법을 적용하여 수리학적 부하율을 211.3~126.8 ℓ/m²/d(HRT 2.5~1.5hrs)로 운전한 결과는 다음과 같다.

Table 3-4. Operating results on each processes

항목	활성슬러지+여과, 소독 (a)		포기여과법(b)		회전원판법+급속여과 (c)		SMCMAS	
	원수	처리수	원수	처리수	원수	처리수	원수	처리수
BOD	53.9	2.9	102.8	1.76	39	trace	22.4	2.1
COD	61.3	11.5	42.62	< 1	40	12	35.9	13
SS	103	7.3	47.46	6.46	89	7	12	0.6

(a), (c) : CODCr, (b) : CODMn

1. 저농도 하수의 처리 시 회전매체에 부착된 부착성장 미생물의 농도는 1161mg/ℓ이며, 부유 미생물은 1~4mg/ℓ로 거의없고, 낮은 미생물 농도만으로도 충분히 90% 이상의 BOD 제거효율을 얻을 수 있다. 한편, 슬러지 생산량은 수리학적 부하율과 상관없이 0.01~0.24 gVSS/gBODrem/d로, 최적 단계인 158.5 ℓ/m³/d에서 가장 낮은 값을 나타내고 있으나, 본 하수와 같이 유기물질 부하량이 매우 낮은 경우, 슬러지 생산량은 BOD 제거율 및 SRT와 관계없이 일정하게 나타났다.

2. BOD 최대 제거효율은 수리학적 부하율 158.5 ℓ/m³/d(HRT 2.0hrs)에서 평균 TBOD 제거효율이 91%로, 이 때의 유출수 TBOD 평균 농도는 2.1mg/ℓ를 나타내고 있고, 최대 1.1mg/ℓ까지 나타내었다.

수리학적 부하율 211.3 ℓ/m³/d에서는 수리학적 부하율이 증가함에 따라, 1.5시간의 짧은 반응시간에 의해, TBOD 제거효율이 평균 75%로 감소를 나타내었다.

한편, 수리학적 부하율을 126.8 ℓ/m³/d로 감소시킨 경우는 너무 낮은 유기물질 부하량으로 인하여, 부착미생물의 탈리가 발생되어 BOD 제거효율이 74%로 역시 감소하였다.

또한, SMCMS 공법에 의한 온천지구 하수의 처리에 있어서 적정 운전조건인 수리학적 부하율 158.5 ℓ/m³/d에서 운전할 경우, 처리수의 수질은 평균 BOD 2.1mg/ℓ와 SS 0.6mg/ℓ로 나타나, 중수도 원수 수질 기준 BOD 10mg/ℓ 이하를 만족하는 수치이며, 이는 기타 물리화학적 처리공법과 혼용한 공법에 비교해 볼 때, 경제적이고, 집적적인 공법으로 조사되었다.

요 약 문

본 연구는 SMCMS공법을 이용하여 수리학적 부하율을 211.3~126.8 ℓ/m³/d로 운전하여, 도시 온천지구에서 배출되는 하수를 처리하여 재이용을 검토하였다. 평균 BOD 제거효율은 90% 이상으로 높게 조사되었으며, 최대 BOD 제거효율은 수리학적

체류시간 2.0hrs 및 수리학적 부하율 153.5 ℓ/m³/d에서 94%로 나타났고, 그때의 유출수 BOD 농도는 1.1mg/ℓ로 나타났다.

또한 최적의 유출수 처리효율은 특징한 수리학적 부하율에서 나타났으며, 수리학적 부하율이 적정치를 벗어나 증가하거나 감소할 경우, BOD 제거효율의 감소가 발생하였다.

전체 처리공정에서 BOD 농도는 평균 2.1mg/ℓ(최대 1.1mg/ℓ)로 상수원수 수질기준 2등급으로 처리가 가능하며, 이는 중수도 수질 기준인 10mg/ℓ 이하로 사용기준에 적합하고, 최적의 운전 조건으로 운전할 경우, 상수원수 1급수 수질에 상응한 유출수질을 얻을 수 있다.

최적의 운전 조건으로 수리학적 부하율은 158.8 ℓ/m³/d, 수리학적 체류시간 2시간, MLSS 1161mg/ℓ 및 슬러지 생산량은 0.01gVSS/gBODrem/d로 나타났다. 유입수의 TKN 및 TP의 농도는 각각 3mg/ℓ와 1mg/ℓ로 낮고, 유출수, 또한, 0.45 및 0.43mg/ℓ로 낮아 본 연구에서 고려하지 않아도 가능한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) Campbell, G. A., 1985, Competing uses for limited water, *AWWA*, 77(9).
- 2) 後藤藤太郎, 1992, New trend of water reuse in Japan, *한·일 협력 심포지움, 산업폐수처리 및 처리수 재이용 신기술*, 한국 과학 기술원, 일본국제 협력사업단, 41-58.
- 3) 옥치상, 1999, 수질 및 수자원 관리
- 4) Nellor, M. H. et al., 1985, Health effects of indirect potable water reuse, *AWWA*, 77(7).
- 5) 膜分離 技術, 1996, *下水道 協會誌*, 28(335).
- 6) 조세감면규제법 제 10조, 26조, 1998.
- 7) 權正慧, 1985, 온천폐수 중의 영양염류의 부하특성, 영남대학교 환경공학 석사학위 논문.
- 8) 김홍태, 1993, 회전매체를 이용한 완전혼합 활성슬러지 공법에 관한 연구, *J. KSWQ*, 145-152.
- 9) 石黑政儀, 1978, 미국에 있어서 회전원판법의 현황, *環境技術*, 7(4).
- 10) Randall, C. W. et al., 1992, Design and retrofit of wastewater treatment plant for biological nutrient removal, *WQML*. 5.
- 11) Ronald, L. A., 1976, *Fixed Biological Surfaces -Wastewater Treatment*
- 12) 金子欣司, 1977, 回轉圓板法에 있어서 維持管理, *用水와 廢水*, 19(7).