

초단파조사 처리된 잉여슬러지와 하수의 병합처리가 활성슬러지공법의 성능에 미치는 영향

김남철 · 장명배 · 조윤경* · 조광명†

인하대학교 환경토목공학부 · *위스콘신대학교 토목환경공학부

(2007년 1월 19일 접수, 2007년 2월 28일 채택)

Effects of the Co-treatment of Municipal Wastewater with Microwave-Irradiated Excess Sludge on the Performance of the Activated Sludge Process

Nam Chul Kim · Myung-Bae Jang · Yun-Kyung Cho* · Kwang Myeung Cho†

School of Environmental and Civil Engineering, Inha University

*Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin-Madison

ABSTRACT : The purpose of this research was to investigate the effects of the co-treatment of municipal wastewater with microwave-irradiated excess sludge on the treatment efficiency and excess sludge production of the activated sludge process. When 250 mL of excess sludge with a MLSS concentration of approximately 2,000 mg/L was microwave-irradiated at 20°C for 40~300 sec by a microwave oven (2,450 MHz, 700 W), the temperature of the sludge increased at a rate of approximately 20°C/min and the SCOD, TKN and T-P concentrations of the sludge showed the highest increase in the irradiation time of 40~130 sec. And, the oxygen uptake rate measurement of the sludge microorganism suggested most of the microorganisms in the sludge were destroyed at an irradiation time above 130 sec(above 65°C). When the municipal wastewater and microwave-irradiated excess sludge was co-treated by the activated sludge process, almost no effect was observed in the pH and alkalinity of both the influent and effluent, but the influent concentrations of SS, COD, T-N and T-P increased. Even though the effluent SS, BOD and T-P concentrations showed almost no effect, the COD and TKN concentrations increased. The microbial yield coefficient decreased at a rate of 0.91 g SS/g COD removed as the irradiation ratio increased at a rate of 1 g SS/g SS-day.

Key Words : Microwave Irradiation, Activated Sludge Process, Sludge Minimization, Excess Sludge, Irradiation Ratio

요약 : 본 연구는 초단파조사 처리된 잉여슬러지를 하수와 함께 활성슬러지공법으로 처리할 때 하수처리효율과 잉여슬러지 발생량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시되었다. 온도가 20°C이고 MLSS농도가 약 2,000 mg/L인 250 mL의 잉여슬러지를 발진주파수가 2,450 MHz이고 정격고주파출력이 700 W인 전자렌지(microwave oven)로 초단파조사 처리한 결과 조사시간이 1분 증가함에 따라 수온이 약 20°C씩 증가하였으며, 슬러지의 SCOD, TKN 및 T-P 농도는 모두 40~130 sec의 조사시간에서 가장 많이 증가하였다. 그리고 혼합액 미생물의 산소섭취율을 측정한 결과 130 sec 이상의 조사시간(65°C 이상)에서는 혼합액의 미생물이 거의 사멸하는 것으로 나타났다. 잉여슬러지를 초단파조사 처리한 다음 하수와 혼합시켜 활성슬러지공법으로 처리하였을 때 유입수 및 처리수의 pH 및 알칼리도에는 거의 영향이 없었으나, 유입수의 SS, COD, T-N 및 T-P 농도는 증가하였으며, 처리수의 SS, BOD 및 T-P 농도는 거의 영향을 받지 않았으나 COD 및 TKN 농도는 증가하였다. 그리고 초단파 조사비가 1 g SS/g SS-day 증가할수록 미생물성장계수 값은 0.91 g SS/g COD removed의 율로 감소하였다.

주제어 : 초단파조사, 활성슬러지공법, 슬러지 감량화, 잉여슬러지, 조사비

1. 서론

하수처리과정에서 발생하는 슬러지의 처리 및 처분 비용이 하수처리장 전체 운영비의 50-60%에 달할 뿐만 아니라,¹⁻⁴⁾ 최근에는 국제적으로 런던협약에 의하여 슬러지의 해양배출에 대한 규제가 강화되고 국내적으로는 하수슬러지의 육상직매입이 금지되고 있어 하수슬러지의 감량화 및 자원화가 큰 관심을 받고 있는 실정이다.

슬러지의 감량화는 일차슬러지보다 생분해도가 낮은 폐활성슬러지에 주로 적용되는 방법으로, 크게 생물학적 하수처리과정에서 잉여슬러지가 적게 발생하도록 하는 방법과 발생한 잉여슬러지를 처리한 다음 생물학적 처리공정으로 되돌려 보내거나 소화시키는 방법으로 나눌 수 있는데, 후자의 경우 잉여슬러지를 기계적 방법,^{5,6)} 초음파 처리,^{7,8)} 전자빔 조사,⁹⁾ 열처리,¹⁰⁻¹⁴⁾ 화학적 처리¹⁵⁻¹⁸⁾ 등의 방법으로 전처리하면 슬러지의 생분해도가 향상되어 슬러지 발생량이 적게 된다.

위에 열거된 슬러지 전처리공법 외에 최근 초단파조사(microwave irradiation) 처리방법이 연구의 대상이 되고 있다. 초단파(microwave)는 0.3-300 GHz의 주파수를 가지는 전자파로서,

† Corresponding author
E-mail: kmcho@inha.ac.kr
Tel: 032-860-7502

Fax: 032-867-0864

물과 같이 초단파 에너지를 흡수할 수 있는 물질에 초단파를 조사시키면 교번전장(alternating electric field)이 형성되어 극성 용매 내의 쌍극자(dipoles)가 일렬 정렬을 반복하면서 마찰을 일으켜 열을 발생하게 되며,¹⁹⁾ 또한 이온들은 가속되어 다른 분자와 충돌하므로 미생물 내 단백질의 2차 및 3차 구조를 변화시키고,²⁰⁾ 결국 세포를 분해시키게 된다.²¹⁾

이러한 초단파의 특성은 병균을 위시한 각종 미생물의 살균에 이용되었으며,²²⁻²⁴⁾ 또한 슬러지의 탈수성을 향상시키거나²⁵⁾ 혐기성 소화효율을 향상시키는 데^{26,27)} 이용되기도 하였지만, 생물학적 하수처리공법에 적용된 예는 전혀 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 하수를 활성슬러지공법으로 처리할 때 잉여슬러지를 초단파조사 처리한 다음 포기조로 반송시키는 방법이 하수처리효율과 잉여슬러지 발생량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시되었다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치

한 반응조(Reactor-M)에서는 잉여슬러지를 초단파 조사처리시킨 다음 하수와 함께 포기조로 유입시키고 또 한 반응조(Reactor-C)에서는 잉여슬러지를 모두 폐기시키는 2조의 활성슬러지 반응조를 사용하여 하수처리실험을 실시하였다.

Fig. 1에 도시된 바와 같이 두 반응조 모두 투명한 아크릴 판으로 제작되었는데, W9.3 cm × L17.0 cm × H30.7 cm의 치수를 가진 포기실의 유효용적은 4.85 L였다. 유효용적이 3.07 L인 침전실과 포기실 간에는 치수가 W17.0 cm × H30.7 cm인 제거가능한 칸막이(baffle)를 설치하고, 반응조 바닥과 칸막이 하단 사이에 공간을 두어 포기실의 혼합액이 침전실로 흐르거나 침전실 바닥에 침전한 슬러지가 포기실로 반송될 수 있도록 하였는데, 이러한 반응조는 시스템 내의 SS량을 정확히 파악할 수 있는 장점이 있다. 실험장치는 모두 20℃의 항온실에 설치하였다.

실험에 사용된 초단파 발생장치는 가정에서 많이 사용되는 전자렌지(microwave oven)로서(삼성전자(태국), Model RE-MC50T), 정격전압은 220 V(60 Hz), 발전주파수는 2,450 MHz, 그리고 정격고주파출력은 700 W였다.

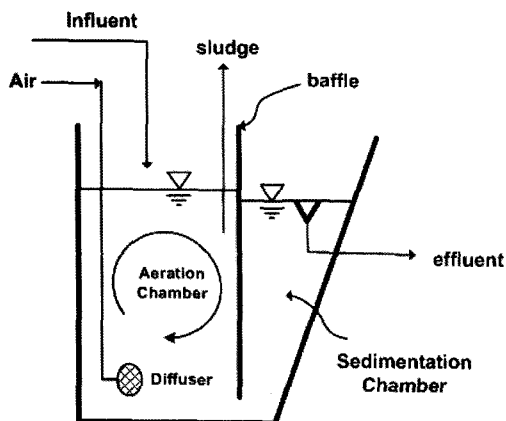


Fig. 1. Configuration of the reactors.

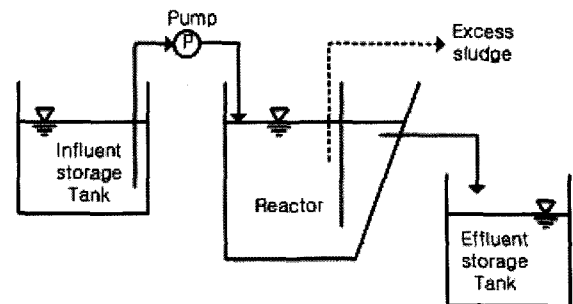
슬러지를 초단파조사 처리하는 데 사용된 용기는 시판된 전자렌지용 유색 내열 유리제 사발(bowl)로서, 두께는 4.5 mm, 상단의 내경은 149 mm, 하단의 내경은 84 mm, 그리고 깊이는 56 mm로 용량은 약 750 mL로 측정되었다.

2.2. 실험방법

1시 S하수종말처리장의 1차 처리수 즉, 포기조 유입수를 포기실에서 수리학적 체류시간(HRT)이 6시간이 되도록 각 포기실에 19.4 L/day의 율로 연속 주입하였다. 매일 일정한 시간에 포기실과 침전실 간의 칸막이를 제거하여 반응조 전체의 혼합액이 균질이 되도록 기다린 후 MLSS농도를 측정하여 포기실의 MLSS농도가 2,000 mg/L가 되도록 하는 잉여슬러지의 양을 계산하여 혼합액을 제거한 다음 칸막이를 재위치시켜 포기실과 침전실이 분리되도록 하였다.

Fig. 2에 도시된 바와같이 Reactor-C에서는 제거한 혼합액 중에서 분석에 필요한 양을 제외하고 모두 폐기시켰으며, Reactor-M의 경우에는 제거한 혼합액 중에서 분석에 필요한 양을 제외하고 나머지는 모두 250 mL씩 초단파조사 처리한 다음 유입하수와 혼합하여 포기실로 주입하였다. 따라서 반응조에서 제거되는 혼합액의 양은 분석용 시료의 양을 제외하고 항상 250 mL의 배수가 되도록 하였다.

잉여슬러지의 초단파조사 처리는 앞에서 설명된 바와 같이 반응조에서 제거한 혼합액을 250 mL씩 전자렌지용 사발에 담아 전자렌지 내의 회전판에 올려 실시하였는데, 조사시간은 초단파조사에 의한 혼합액의 SCOD 증가를 고려하여 40, 90, 130, 180 및 300 sec로 하여(3.1절 참조) 실험을 5단계로 실시하였다.



(a) Reactor-C

(b) Reactor-M

Fig. 2. Operational mode of the reactors.

2.3. 분석

유입수와 처리수에 대하여 pH, 알칼리도, 그리고 TCOD, SCOD, TSS, VSS, TKN, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N 및 T-P의 농도를 주 3회씩, 그리고 TBOD 및 SBOD농도를 주 1회씩 분석하였으며, 반응조의 MLSS 및 MLVSS 농도는 매일 측정하였다. 그리고 포기실의 DO농도도 매일 측정하여 공기가 충분히 공급되는지를 확인하였다.

미생물의 산소섭취율(oxygen uptake rate; OUR)은 MLSS 농도가 알려진 일정량의 슬러지를 포기시켜 DO농도를 증가시킨 후 용량이 300 mL인 BOD병에 채우고 DO meter(YSI Model 58)로 시간에 따른 DO농도의 변화를 측정하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 초단파조사가 슬러지 구성물질의 용출에 미치는 영향

서론에서 언급된 바와같이 슬러지에 초단파를 조사시키면 세포를 구성하는 각종 유기물의 일부가 용해함으로써 슬러지의 용해성 유기물농도가 증가할 것이다. 따라서 실험에서 채택할 초단파 조사시간을 결정하기 위하여 먼저 초단파조사가 슬러지의 유기물 용출에 미치는 영향을 파악하는 실험을 실시하였다.

온도가 20℃이고 MLSS농도가 2,000 mg/L정도인 활성슬러지 혼합액 250 mL를 전자렌지용 사발에 담아 초단파조사 처리하는 실험을 3회 실시한 결과 실험 간에 유의한(significant) 차이가 없이 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 조사시간 1분당 약 20℃의 비율로 수온이 증가하여 4분 정도 조사시키면 혼합액이 끓는 것을 확인할 수 있었다. Park 등²⁶⁾도 하수처리장 2차슬러지를 초단파조사 처리하였을 때의 온도 변화를 보고하였는데 본 실험에 사용된 전자렌지와 동일한 성능의 전자렌지(2,450 MHz, 700 W)를 사용하였으나 슬러지의 SS농도(1.9% VS), 시료의 초기 온도(10℃)와 양 등이 본 실험과 달랐기 때문에 본 연구의 결과와 비교할 수는 없으나 조사시간이 경과할수록 온도가 증가하여 9분 조사시 시료가 끓은 것으로 보고하였다.

동일한 혼합액에 대하여 조사시간에 따른 혼합액의 SCOD 농도의 변화를 확인한 결과 Fig. 3에 도시된 바와같이 40 sec 조사시켰을 때는 혼합액의 SCOD농도가 거의 증가하지 않았으나(초기 값의 1.02배) 90 sec 및 130 sec 조사시켰을 때는 크게 증가하였으며(각각 3.00 및 3.71배), 130 sec 이상의 조사시간에서는 완만하게 증가하는 추세를 보였다. Eskicioglu 등²⁸⁾은 TS농도가 5.9%(w/w)인 농축된 폐활성슬러지를 전자렌지(1,250 W, 2,450 MHz)로 96℃가 될 때까지 5분간 조사처리한 결과 슬러지의 SCOD농도가 약 2.43배 증가한 것으로 보고하였으나 실험조건이 달라 본 연구의 결과와 직접 비교할 수는 없다. 180 sec 조사에서는 혼합액의 SCOD농도가 조금 감소하는 현상을 나타내었는데(3.45배), 이는 실험오차일 수도 있겠으나 초단파 조사에 의한 세포 분해시 아세트산이나 프로피온산이 생성되어²⁸⁾ 휘발한 데에도 그 원인이 있을 수 있다.

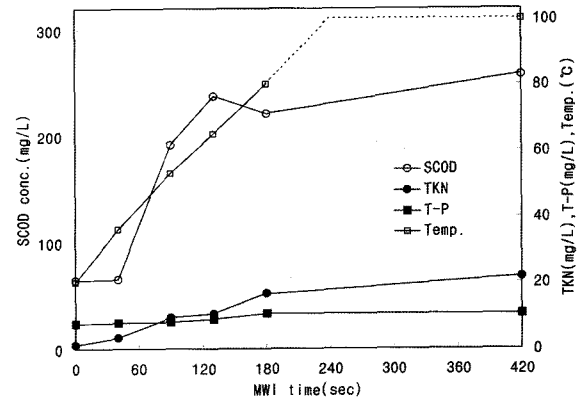


Fig. 3. Effects of microwave irradiation on the temperature and soluble COD, TKN and T-P concentrations of the mixed liquor.

Fig. 3에 조사시간에 따른 용해성 TKN과 용해성 T-P의 농도변화도 나타내었는데, 조사시간이 증가함에 따라 용해성 TKN의 농도도 SCOD의 증가추세와 비슷하게 초기의 180 sec 구간에서 크게 증가하고 그 이후에는 완만하게 증가하는 추세를 보였다. 용해성 T-P의 농도도 그 값은 낮지만 SCOD나 TKN의 농도변화와 비슷한 양상으로 조사시간이 증가함에 따라 완만하게 증가하는 추세를 보였다. Fig. 3의 자료로부터 조사시간에 따라 용출된 COD, TKN 및 T-P 량 간의 비를 계산한 결과 130 sec 조사시켰을 때는 121.2:6.7:1, 그리고 420 sec 조사시켰을 때는 112.6:12.1:1로 나타나 용출되는 물질의 양이 대략 미생물의 세포 구성비²⁹⁾에 비례함을 알 수 있다.

활성슬러지공법의 주 목적이 하수 내의 유기물을 제거하는데 있으므로 Fig. 3의 실험 결과에 따라 본 연구에서는 잉여슬러지의 초단파 조사시간을 초기의 SCOD농도가 거의 증가하지 않는 구간의 끝부분에 해당하는 40 sec, SCOD농도가 크게 증가하는 구간의 중간 정도에 해당하는 90 sec, SCOD농도가 크게 증가하는 구간의 마지막 부분에 해당하는 130 sec, 그리고 슬러지가 비등하기 전후의 180 sec 및 300 sec의 5단계로 선정하였다.

3.2. 초단파조사에 의한 MLSS의 산소섭취율의 변화

슬러지를 초단파조사 처리하면 슬러지의 온도가 증가하면서 SCOD의 농도도 증가하는 점으로 보아 세포가 파괴되면서 세포 내의 세포질이 혼합액 속으로 용해한다는 것을 알 수 있다. 이때 MLSS 미생물의 활성도가 어떻게 변하는가를 확인하기 위하여 초단파조사 처리에 따른 슬러지 미생물의 산소섭취율(oxygen uptake rate ; OUR)을 측정하였는데, Table 1에 주어진 바와같이 40초간 조사시킨 슬러지의 OUR은 조사시키기 전 값의 약 92%로서 초단파조사에 의한 OUR감소가 매우 적었으며, 90초 조사시킨 경우에는 74% 정도로 상당히 감소하였지만 상당한 양의 미생물이 살아있음을 추정할 수 있다. 그러나 130초 이상 조사시킨 경우에는 OUR이 조사 전 값의 5-6% 정도 밖에 되지 않아 거의 모든 미생물이 사멸하였음을 알 수 있다.

Table 1. Effect of microwave irradiation on the oxygen uptake rate of the mixed liquor suspended solids

MWI* time(sec)		40	90	130	180	300
OUR(mg O ₂ /mg MLVSS-hr)	Before MWI(A)	0.0144	0.0082	0.0096	0.0082	0.0083
	After MWI(B)	0.0132	0.0061	0.0006	0.0004	0.0004
Ratio(B/A)		0.917	0.744	0.064	0.049	0.048

* microwave irradiation

이러한 실험결과로 보아 잉여슬러지를 90 sec 이내의 시간으로 초단파조사 처리하여 반응시키면 반응조의 MLSS농도를 증가시켜 F/M비를 감소시킴으로써 잉여슬러지 발생량을 감소시키는 데 기여하게 될 것이며, 130 sec 이상 초단파조사 처리하여 반응시키는 경우에는 미생물의 세포질이 용출되어 타 미생물의 먹이로 이용됨으로써 잉여슬러지 발생량을 감소시킬 것으로 판단된다.

3.3. 폐수처리 효율

포기실의 MLSS농도를 2,000 mg/L로 유지하는 데 필요한 양 이상으로 남는 여분의 혼합액을 모두 폐기시키면서 운전한 반응조(Reactor-C)와 여분의 혼합액 중에서 분석에 필요

한 양을 제외한 나머지를 40, 90, 130, 180 그리고 300 sec 동안 초단파조사 처리한 다음 포기실로 반송시켜 운전한 반응조(Reactor-M)의 운전결과를 초단파 조사시간에 따른 실험 단계별로 나누어 평균값을 계산하여 Table 2에 제시하였다. 실험기간 중 잉여슬러지를 초단파조사 처리하였을 때 조사 전후의 평균 SCOD 농도 간의 비는 각각 1.16, 1.72, 2.51, 2.60 및 3.21로 3.1절에서 언급된 값과 차이를 보였는데, 이는 사용된 시료의 MLSS농도 차이에 그 원인이 있는 것으로 판단되었다.

Table 2에 제시된 두 반응조의 처리효율을 비교하면 유입수와 처리수의 pH와 알칼리도는 초단파조사 처리된 잉여슬러지의 병합처리에 의하여 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. Reactor-M이 Reactor-C에 비하여 유입수의 SS농도가 많이 증가하였지만 처리수의 SS농도는 크게 증가하지 않은 것으로 나타났는데, 이는 침전질의 고품질 부하가 침전효율을 저하시킬 정도로 높지 않은 점에도 그 원인이 있겠지만 활성슬러지를 열처리하면 슬러지의 침전성이 향상된다는 Boehler와 Siegrist³⁰⁾의 연구결과로 보아 슬러지를 초단파조사 처리하면 슬러지의 온도가 상승하므로 슬러지의 침전성이 향상되는 데도 그 원인이 있을 것으로 생각된다.

혼합액을 초단파조사 처리하여 유입수에 혼합시켰을 때 유입수의 TBOD, SBOD, TCOD 및 SCOD의 농도가 모두 증가

Table 2. Summary of the operation results of the reactors

(Unit : mg/L, except pH)

Exp. stage	Reactor-C					Reactor-M					
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
MWI* time(sec)	0	0	0	0	0	40	90	130	180	300	
Exp. Period(day)	34	57	50	81	87	34	57	50	81	87	
n**	15(6)	24(8)	22(8)	34(10)	37(12)	15(6)	24(8)	22(8)	34(10)	37(12)	
pH	Inf.	7.2	7.3	7.3	7.3	7.4	7.2	7.3	7.23	7.3	7.4
	Eff.	6.5	7.1	7.2	7.1	6.3	6.5	7.1	7.2	7.1	6.6
Alk	Inf.	199	205	193	192	197	185	205	194	196	191
	Eff.	15	27	41	32	10	16	28	40	39	13
TSS	Inf.	48.8	34.0	31.7	32.8	45.8	98.4	61.6	120.6	128.0	140.8
	Eff.	12.1	7.4	6.5	5.7	10.8	9.1	10.0	7.5	8.1	10.6
TCOD	Inf.	137.8	117.4	137.7	109.4	122.7	188.3	147.6	214.7	212.0	212.7
	Eff.	37.8	32.0	30.9	23.8	31.7	37.9	36.1	35.3	30.1	34.1
SCOD	Inf.	90.1	87.3	93.8	75.0	64.8	144.1	90.1	99.9	83.3	71.6
	Eff.	32.8	27.0	27.1	21.2	26.7	32.5	29.5	30.3	26.7	29.2
TBOD	Inf.	49.4	45.2	45.1	52.2	45.6	116.3	92.8	62.4	80.0	86.5
	Eff.	4.6	4.6	2.6	1.2	3.3	6.9	4.9	3.2	1.9	2.7
SBOD	Inf.	29.6	29.7	28.3	28.6	28.3	30.0	32.9	27.6	35.6	30.9
	Eff.	2.6	1.4	1.1	0.5	0.7	3.7	1.3	1.2	0.7	0.8
T-N	Inf.	29.6	26.8	26.8	28.9	32.8	34.2	28.2	29.5	33.3	39.8
	Eff.	26.6	22.1	23.6	25.0	27.7	26.5	21.4	23.9	27.4	34.5
T-P	Inf.	7.2	5.4	5.1	4.1	3.9	7.8	6.3	6.2	5.1	4.6
	Eff.	6.9	5.1	5.1	4.0	3.7	6.1	5.3	5.2	4.1	4.0

* microwave irradiation

** number of analysis [numbers in () are for BOD]

하였지만 처리수의 TBOD 및 SBOD의 농도에서는 Reactor-C와 Reactor-M 간에 유의할만한 차이는 나타나지 않았으나 TCOD 및 SCOD의 농도에서는 차이를 보였다. 이러한 점은 A/O공법에서 반송슬러지의 일부를 오존처리한 Saktaywin 등³¹⁾의 연구에서도 보고되었는데, 생분해되지 않는 유기물의 축적에 그 원인이 있는 것으로 추측된다.

T-N면에서도 Reactor-C보다 Reactor-M에서 유입수 및 처리수 모두 높은 값을 나타내었는데, 대체적으로 초단파 조사 시간이 증가할수록 그 경향이 뚜렷하였다. 이는 초단파 조사 시간이 증가할수록 단백질 등 질소를 함유하는 유기물이 더 많이 용출되었기 때문으로 해석된다. Table 2에 자료가 제시되지는 않았지만 주로 NH₃-N형태로 유입수 내에 존재하던 질소는 반응조에서 잘 산화되어 처리수 내의 질소는 대부분 NO₃-N형태로 존재하였다. T-P농도에서는 Reactor-C보다 Reactor-M에서 유입수의 농도가 조금 더 높았지만 처리수에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

이들 실험결과로 보아 잉여슬러지를 초단파조사 처리하여 하수와 병합처리하면 특히 처리수의 COD 및 N 농도가 악화됨을 알 수 있다.

3.4. 슬러지 생성량

Reactor-C와 Reactor-M에서 제거된 TCOD량, 처리수 내의 SS량, 분석에 사용된 MLSS의 양, 폐슬러지 내의 SS량, 그리고 반응조 내의 MLSS 변화량 등으로부터 미생물성장계수 (Y_{obs})를 계산한 결과 Table 3에 주어진 결과를 얻었으며, 또한 Reactor-M에서 초단파조사비(반송조 MLSS 단위무게당 초단파조사 처리되어 반송된 잉여슬러지의 SS의 양)를 계산하여 Table 3에 함께 제시하였다.

Table 3의 자료에서 보는 바와같이 잉여슬러지를 모두 폐기시킨 Reactor-C에서는 미생물성장계수 값이 0.326-0.431 g SS/g COD removed의 값을 나타내었으나, 잉여슬러지를 0.054-0.191/day의 비로 초단파조사 처리한 다음 반응조로 반송시킨 Reactor-M에서는 미생물성장계수 값이 0.182-0.273 g SS/g COD removed의 낮은 값으로 관측되어, 잉여슬러지의 일부를 40 sec 및 90 sec 초단파조사 처리한 경우에는 잉여슬러지 발생량이 20% 정도 그리고 130 sec 이상인 경우에는 40-50%나 적었다.

Table 3. Observed microbial growth coefficients and microwave irradiation ratio of the reactors

MWI* time (sec)	Reactor-C	Reactor-M	
	Y _{obs} (gm SS/gm COD removed)	Y _{obs} (gm SS /gm COD removed)	MWI ratio (/day)
40	0.326	0.260	0.109
90	0.347	0.273	0.054
130	0.367	0.182	0.191
180	0.375	0.223	0.123
300	0.431	0.233	0.187

* microwave irradiation

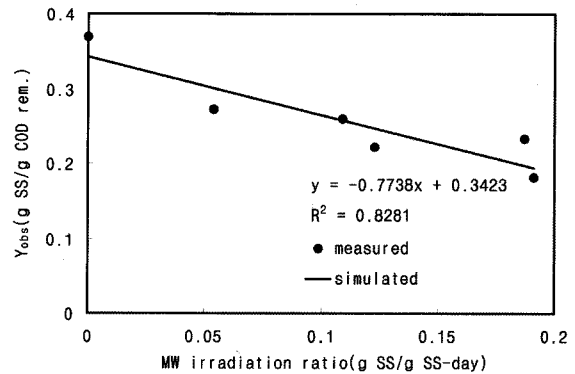


Fig. 4. Effects of microwave irradiation ratio on the microbial yield coefficient in the activated sludge process.

Table 3의 자료를 이용하여 잉여슬러지의 일부를 초단파조사 처리한 Reactor-M의 경우에 초단파조사비와 미생물성장계수 값 간의 관계를 Fig. 4에 나타내었는데 초단파조사비가 1 g SS/g SS-day 증가하면 미생물성장계수 값은 약 0.91 g SS/g COD removed 감소하여 대체적으로 초단파조사 처리되는 잉여슬러지의 양이 증가할수록 잉여슬러지 발생량이 감소함을 알 수 있다.

지금까지 잉여슬러지를 초단파조사 처리하여 잉여슬러지량을 감소시키는 연구가 수행된 예가 없으므로 서론에서 소개된 여러 가지 잉여슬러지 감소방법 중에서 몇 가지 예를 들면 Sakai 등³²⁾은 하수처리시 잉여슬러지 고형물의 4배에 해당하는 슬러지 고형물을 34 mg O₃/g SS의 농도로 처리한 결과 슬러지 발생량을 100% 줄일 수 있었으며, Yasui와 Shibata³³⁾는 합성폐수 처리시 잉여슬러지 고형물의 1, 2 및 3배에 해당하는 슬러지 고형물을 모두 50 mg O₃/g SS의 농도에서 처리한 결과 슬러지 발생량을 각각 33%, 67.5% 및 100% 감소시킬 수 있었다. 또한 Saktaywin 등³¹⁾은 하수를 MLSS농도가 2,300 mg/L이고 반송슬러지 유량이 유입유량의 33%인 A/O공법에서 유입유량의 1.1%에 해당하는 반송슬러지를 30-40 mg O₃/g SS의 농도로 처리하였을 때 잉여슬러지 발생량을 60% 감소시킬 수 있었다.

Fig. 4에 도시된 본 연구에서의 초단파조사비에 따른 잉여슬러지 발생량의 감소 경향을 타 연구의 결과와 비교하면 초단파조사비를 증가시키면 잉여슬러지 발생량을 더욱 줄일 수 있을 것으로 판단되지만, 초단파조사비를 너무 증가시키면 반응조의 미생물량이 감소하여 F/M비가 증가함으로써 잉여슬러지 발생량이 도리어 증가하고 하수처리효율도 악화될 것이다. 따라서 앞으로 하수처리효율을 악화시키지 않으면서 잉여슬러지 발생량을 최대한으로 감소시킬 수 있는 최적 초단파조사비에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

4. 결론

초단파조사 처리된 잉여슬러지를 하수와 함께 활성슬러지 공법으로 병합처리할 때 하수처리효율과 잉여슬러지 발생량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실험을 실시한 결과 다음

과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 온도가 20℃이고 MLSS농도가 약 2,000 mg/L인 250 mL의 혼합액을 발진주파수가 2,450 MHz이고 정격고주파출력이 700 W인 전자렌지(microwave oven)로 40~300 sec간 초단파조사 처리한 결과 수온이 약 20℃/min의 율로 증가하였으며, 혼합액의 SCOD, TKN 및 T-P 농도는 모두 40~130 sec의 조사시간에서 가장 많이 증가하였다.

2) 조사시간에 따른 혼합액 미생물의 OUR을 측정된 결과 130 sec 이상의 조사시간(65℃ 이상)에서는 혼합액 미생물이 거의 사멸하는 것으로 나타났다.

3) 잉여슬러지를 초단파조사 처리한 다음 유입수에 혼합시켜 활성슬러지공법으로 병합처리하였을 때 특히 처리수의 COD 및 T-N 농도가 증가하였다.

4) 초단파조사비가 1 g SS/g SS-day 증가할수록 미생물 성장계수 값은 0.91 g SS/g COD removed의 비율로 감소하였다.

사 사

이 논문은 인하대학교의 2007년도 교내 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- Vesilind, P. A. and Spinoso, L., "Production and regulations," *Sludge into Biosolids - Processing, Disposal, Utilization*, Spinoso, L. and Vesilind, P. A.(Eds.), IWA Publishing, London, 3~18(2001).
- Egemen, E., Corpening, J., and Nirmalakhadan, N., "Evaluation of an ozonation system for reduced waste sludge generation," *Water Sci. Technol.*, **44**(2-3), 445~562(2001).
- Kroiss, H., "What is the potential for utilizing the resources in sludge?," *Water. Sci. Technol.*, **49**(10), 1~10(2004).
- Canales, A. P. and Poles, J. L., "Decreased sludge production strategy for domestic wastewater treatment," *Water Sci. Technol.*, **30**(8), 97~106(1994).
- Kim, J. S., Lee C. H., and Chang I. S., "Effect of pump shear on the performance of a crossflow membrane bioreactor," *Water Res.*, **35**(9), 2137~44(2001).
- Yoon, S. H., Kang, I. J., and Lee, C. H., "Fouling of inorganic membrane and flux enhancement in membrane-coupled anaerobic bioreactor," *Sep. Sci. Technol.*, **34**(5), 709~724(1999).
- Chiu, Y. C., Chang, C. N., Lin, J. G., and Huang, S. J., "Alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before anaerobic digestion," *Water Sci. Technol.*, **36**(11), 155~162(1997).
- Oh, S. E., "Improvement of anaerobic digestion rate of biosolids in waste activated sludge(WAS) by ultrasonic pretreatment," *Environ. Eng. Res* (Jour. Korean Soc. of Environ. Eng.), **11**(3), 143~148(2006).
- Muller, J. A., "Prospects and problems of sludge pretreatment processes," *Water Sci. Technol.*, **44**(10), 121~128(2001).
- Jolis, D., Jones, B., Marneri, M., Kan, H., and Jones, S., "Thermal hydrolysis pretreatment for high solids anaerobic digestion," *Proceedings of 10th Anaerobic Digestion World Congress*, Vol. II, pp. 1113~1120, Montreal, Canada, Aug. 29-Sept. 2(2004).
- Skiadas, I. V., Gavala, H. N., Lu, J., and Ahring, B. K., "Thermal pre-treatment of primary and secondary sludge at 70℃ prior to anaerobic digestion," *Proceedings of 10th Anaerobic Digestion World Congress*, Vol. II, pp. 1121~1124, Montreal, Canada, Aug. 29-Sept. 2(2004).
- Kim, K., Fujita, M., Daimon, H., and Fujie, K., "Application of hydrothermal reaction for excess sludge reuse as carbon sources in biological phosphorus removal," *Water Sci. Technol.*, **52**(10-11), 533~541(2005).
- Camacho, P., Ginestet, P., and Audic, J.-M., "Understanding the mechanism of thermal disintegrating treatment in the reduction of sludge production," *Water Sci. Technol.*, **52**(10-11), 235~245(2005).
- Chauzy, J., Graja, S., Gerardin, F., Cretienot, D., Patria, L., and Fernandes, P., "Minimization of excess sludge production in a WWTP by coupling thermal hydrolysis and rapid anaerobic digestion," *Water Sci. Technol.*, **52**(10-11), 255~263(2005).
- Yasui, H., Nakamura, K., Sakuma, S., Iwasaki, M., and Sakai, Y. A., "Full-scale operation of a novel activated sludge process without excess sludge production," *Water Sci. Technol.*, **34**(3-4), 395~404(1996).
- Di laconi, C., Bonemazzi, F., Lopez, A., and Ramadori, R., "Integration of chemical and biological oxidation in a SBBR for tannery wastewater treatment," *Water. Sci. Technol.*, **50**(10), 107~114(2004).
- Yeom, I. T., Lee, K. R., Choi, Y. G., Kim, H. S., Kwon, J. H., Lee, U. J., and Lee, Y. H., "A pilot study on accelerated sludge degradation by a high-concentration membrane bioreactor coupled with sludge pretreatment," *Water Sci. Technol.*, **52**(10-11), 201~210(2005).
- Yasui, H., Matsushashi, R., Noike, T., and Harada, H., "Anaerobic digestion with partial ozonation minimises greenhouse gas emission from sludge treatment and disposal," *Water Sci. Technol.*, **53**(3), 255~263(2006).
- Collins, A. G., Mitra, S., and Pavlostathis, S. G., "Microwave heating for sludge dewatering and drying," *J. WPCF.*, **63**(6), 921~924(1991).

20. Banik, S., Bandyopadhyay, S., and Ganguly, S., "Bio-effects of microwave - a brief review," *Biores. Technol.*, **87**, 155~159(2003).
21. Tsai, T. S., "A microwave method for the extraction of cellular ATP," *J. Biochem. Meth.*, **13**(6), 343~346(1986).
22. Fung, D. Y. C. and Cunningham, F. E., "Effects of microwaves on microorganism in foods," *J. Food Prot.*, **43**, 641~650(1980).
23. Woo, I.-S., Rhee, I.-K., and Park, H.-D., "Differential damage in bacterial cells by microwave radiation on the basis of cell wall structure," *Appl. Environ. Microbiol.*, **66**, 2243~2247(2000).
24. Hong, S. M., Park, J. K., and Lee, Y. O., "Mechanism of microwave irradiation involved in the destruction of fecal coliforms from biosolids," *Water Res.*, **38**, 1615~1625(2004).
25. Wojciechowska, E., "Application of microwaves for sewage sludge conditioning," *Water Res.*, **39**, 4749~4754(2005).
26. Park, B., Ahn, J.-H., Kim, J., and Hwang, S., "Use of microwave pretreatment for enhanced anaerobiosis of secondary sludge," *Water Sci. Technol.*, **50**(9), 17~23(2004).
27. Hong, S.-M., Park, J.-K., Lee, Y.-O., and Park, C.-H., "Pretreatment of sludge with microwaves for pathogen destruction and improved anaerobic digestion performance," *Daewoo Const. Technol. Report*, **28**, 76~86(2006).
28. Eskicioglu, C., Kennedy, K. J., and Droste, R. L., "Characterization of soluble organic matter of waste activated sludge before and after thermal pretreatment," *Water Res.*, **40**, 3725~3736(2006).
29. Rittmann, B. E. and McCarty, P. L., *Environmental Biotechnology : Principles and Applications*, McGraw-Hill (2001).
30. Boehler, M. and Siegrist, H., "Potential of activated sludge disintegration," *Water Sci. Technol.*, **53**(12), 207~216(2006).
31. Saktaywin, W., Tsuno, H., Nagare, H., and Soyama, T., "Operation of a new sewage treatment process with technologies of excess sludge reduction and phosphorus recovery," *Water Sci. Technol.*, **53**(12), 217~227(2006).
32. Sakai, Y., Fukase, T., Yasui, H., and Shibata, M., "An activated sludge process without excess sludge production," *Water Sci. Technol.*, **36**(11), 163~170(1997).
33. Yasui, H. and Shibata, M., "An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process," *Water Sci. Technol.*, **30**(9), 11~20(1994).