

분뇨처리장의 공정개선에 의한 처리효율 향상에 관한 연구

이 찬 원¹ · 김 승 현 · 김 창 수 · 문 성 원 · 전 흥 표 · 윤 종 섭
경남대학교 토목환경공학부
(2003년 10월 22일 접수; 2004년 6월 1일 채택)

Improvement of treatment efficiency for sanitary treatment facilities by process modifications

Chan-Won Lee, Seung-Hyun Kim, Chang-Soo Kim, Sung-Won Moon,
Hong-Pyo Jeon and Jong-Sup Yun

Department of Civil and Environmental Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea
(Manuscript received 22 October, 2003; accepted 1 June, 2004)

There is a need to improve the efficiency of the existing sanitary treatment facilities, because the effluent standard becomes more stricter and septic sludge increased. Thus, operating processes of sanitary treatment system in M city changed with installation of additional facilities. Process modifications were as follows: Dilution water was added to the next process after primary aeration tank. Some secondary sedimentation sludge was recycled to primary aerator so that most of the organics were stabilized in primary aeration tank under automatic control of dissolved oxygen. The line of effluent from dewatering process flowing to the activated sludge tank was changed to the primary aerator. The primary sedimentation sludge line was linked to a thickener. Polymer was added to the activated sludge tank. The effluent of primary aerator and aerobic digester was recycled from the 5th to the 1st sector. As consequences of above process modifications, the improvement of removal efficiency was achieved as BOD 54%, COD 42%, SS 61%, T-N 39%, and T-P 12%, respectively.

Key Words : Sanitary treatment, Septic sludge, Process modifications, Removal efficiency

1. 서 론

우리나라 최초의 분뇨처리장은 1972년도에 서울과 부산에 건설되었다¹⁾. 이후 지속적인 투자와 확장에 힘입어 2001년 전국적으로 가동되고 있는 분뇨처리 시설은 193개소 31,291kl/day이다²⁾. 수세식 화장실이 많지 않았던 초창기에 분뇨처리장에 유입되는 분뇨는 재래식 화장실에서 수거한 생분뇨가 대부분으로 농도가 높았다. 재래식 화장실이 주류를 이루던 시대에 분뇨처리장으로 유입된 분뇨의 BOD 농도는 약 20,000mg/ℓ 이었으나, 수세식 화장실이 보급되면서 대부분의 분뇨가 정화조를 거쳐 정화조 슬러지로 전환되어 분뇨처리장에 유입되고 있으

로 분뇨의 농도는 감소하여 10,000mg/ℓ 이하가 되었다.

분뇨가 자원의 개념에서 처리대상 폐기물로 인식이 전환되면서 고농도 유기물인 분뇨의 처리는 처리공정의 선택에서부터 어려움을 안고 있다. 지금까지 영국, 미국 등지에서 개발되어 광범위하게 적용되어온 처리공법은 활성슬러지법이다. 이 방법은 고농도보다는 저농도에 적합한 방법으로 분뇨와 같은 고농도의 유기물을 함유하고 있는 폐수의 처리에는 적합하다고 볼 수 없다. 그러므로 고농도의 분뇨는 통상 전처리를 거친 후 2단계에 걸쳐 처리하게 된다. 1단계 소화 또는 폭기처리 한 후 이것을 20배 정도 희석하여 농도를 감소시킨 후 활성슬러지법으로 2단계 처리하여 방류하는 방법으로 일명 표준희석법이라고 한다³⁾.

본 연구의 대상인 M시 분뇨처리장도 같은 방법으로 분뇨를 처리하고 있다. 최근 방류수 수질기준

Corresponding Author : Chan-won Lee, Department of Civil and Environmental Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Koera
Phone : +82-55-249-2988
E-mail : water@kyungnam.ac.kr

강화로 기존 시설 및 운영방법으로는 방류수질 기준을 만족하기 어려워 기존의 분뇨처리장 처리효율을 향상시키기 위하여 처리공정을 개선하였다. 본 연구에서는 M시의 분뇨처리장 활성오니법에서 초과되고 있는 SS의 처리에 관해 연구하였으며, 이의 개선 후 효과를 나타내고자 하였다.

2. 실험 방법 및 시설

2.1. 실험방법

분뇨처리장의 시료채취는 2000년 1월부터 2001년 12월까지 실시하였다. 2000년 7월에 공정을 개선하였으며, 공정개선 전·후의 수질과 활성슬러지의 변화를 측정하였다. 유입수와 유출수의 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 대장균수와 활성슬러지조의 pH, DO, 수온은 수질오염공정시험법⁴⁾에 의하여 측정하였다.

2.2. 실험대상 시설

M시 분뇨처리장의 처리시설은 1977년 8월 100kl

/day, 1979년 8월 100kl/day, 1982년 5월 150kl/day로 설치하여 현재 총 350kl/day의 처리용량을 가동하고 있다. 기존 분뇨처리장의 공정을 Fig. 1에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 위생처리장은 1·2·3계열로 구분되어 있으며, 제 1계열에서는 분뇨 및 가정용 부패정화조 오니를, 제 2·3계열에서는 순수정화조 오니를 처리하고 있다. 각 처리장의 처리공정을 보면 제 1·2계열은 무회석·회석폭기조와 활성오니조를 통한 처리방법을 사용하고 있으며, 제 3계열은 호기성소화조와 활성오니조를 통한 처리방법을 사용하고 있다. 폭기조와 활성오니조는 각각 5지로 구성되어있다.

2.2.1. 분뇨처리 공정

수거차량으로 운반된 분뇨 및 정화슬러지는 전처리 공정으로 유입되어 스크린을 거쳐 분뇨 속에 함유된 모래, 씨앗 등의 협잡물을 제거한 후 저류조로 유입시켜 수질을 균등화하여 폭기조와 호기성소화

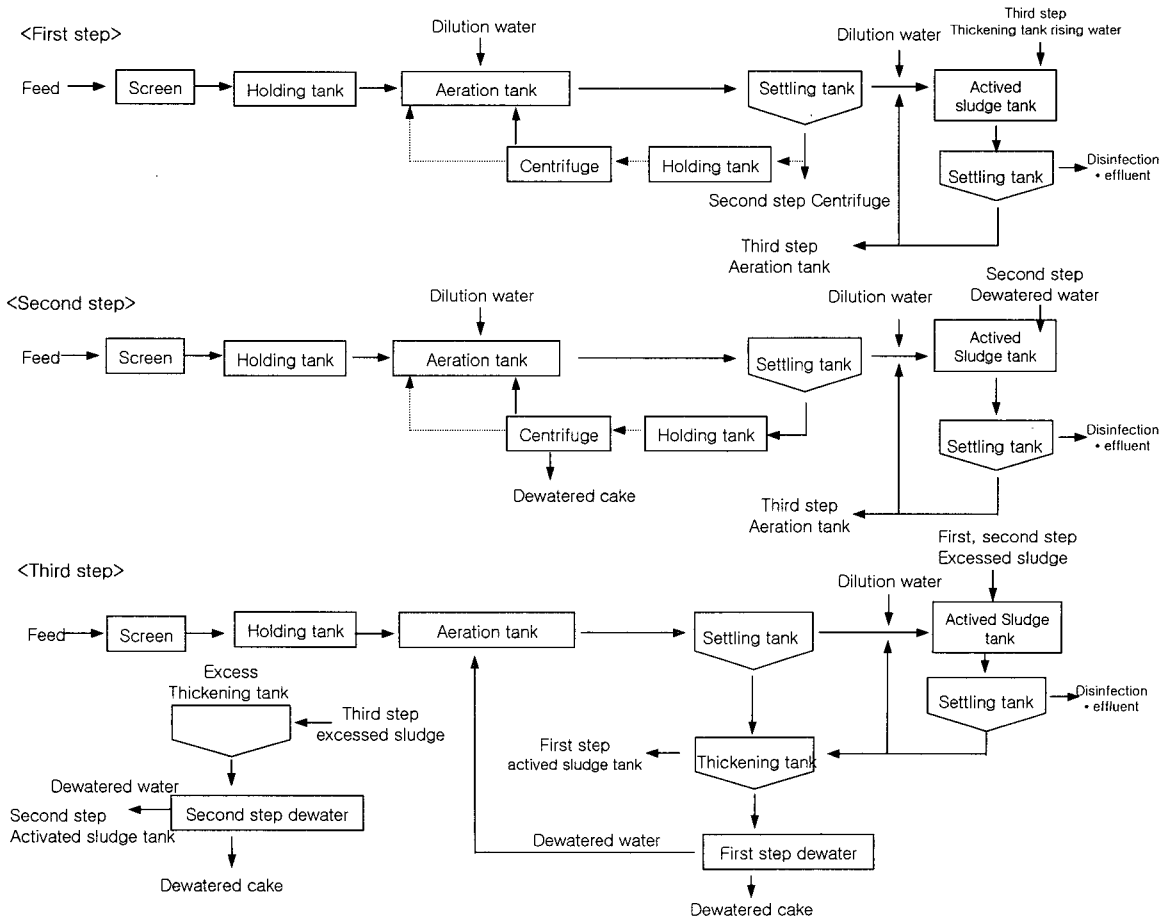


Fig. 1. Diagram of sanitary treatment system before process modification in M City.

조로 보낸다. 다음 공정을 위하여 최초침전지로 이송되어 고액분리를 한 후 활성슬러지조에서 처리하여 유기물을 제거한 후 최종침전지에서 침강시키고 염소소독 후 최종 방류하고 있다.

전처리 공정은 분뇨처리를 하는데 있어 각 공정에 설치된 펌프, 기계, 배관 등의 운영상 지장을 초래하는 무기물질과 협잡물질을 제거하며, 분뇨 및 정화조 슬러지를 적절히 유입되도록 하는 투입시설, 분뇨 및 정화조슬러지에 함유된 협잡물과 토사류를 제거할 수 있는 스크린, 균등한 수질을 공급하기 위한 저류시설로 구성되어 있다.

저류조는 유량조절과 예비 폭기에 의한 부패방지의 기능을 갖고 있다. 호기성 산화 및 소화시설은 BOD 산화환을 이용하여 전처리 설비에서 협잡물을 제거한 분뇨를 무회석 또는 회석조에서 장시간 폭기하여 유입수에 함유된 BOD성분을 제거하는 방식으로 고농도 유기물을 안정화시키므로써 휘발성 유기물과 BOD의 양을 감소시킨다.

활성슬러지 처리공정은 1차 폭기 또는 호기성 소화 처리시설에서 제거되지 않은 유기물을 분해하여 침강성이 좋은 슬러지 Floc을 형성하여 최종침전지에서 슬러지와 처리수로 분리되게 하는 생물학적처리법의 핵심 공정이다. 최근 5년간 월별 최종방류수량은 Table 1에 나타난 바와 같이 일평균 분뇨 처리량에 6~9배 정도 공정수를 회석하여 분뇨를 처리하고 있다. 일반적으로 분뇨의 농도가 높을 경우에 10~20배로 회석하여 처리한다³⁾. 본 처리장의 경우 2000년 1월~2월 방류수 SS농도가 34mg/l로 방류수 수질기준을 초과하여 7배정도 회석하여 처리하였다. 1999년 1월1일부터 강화되어 개정·시행되

는 분뇨처리시설 방류수 수질기준⁵⁾은 BOD 30mg/l, COD 50mg/l, SS 30mg/l, T-N 60mg/l, T-P 8mg/l 대장균군 3,000MPN/ml 이하이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분뇨발생량의 변화 추이

1995년부터 2001년까지 M시의 분뇨와 정화조 오니 발생량 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 생활수준의 향상과 주택개량으로 비위생적인 수거식 화장실은 점차 감소하고 위생적인 수세식 화장실이 증가함에 따라 분뇨의 발생량은 감소하고, 정화조 오니의 발

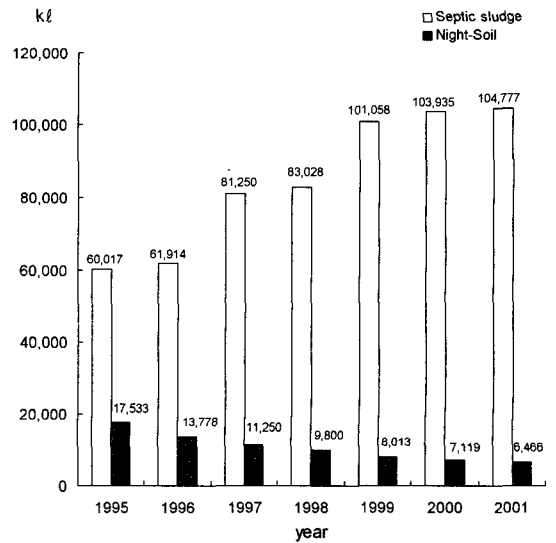


Fig. 2. Yearly variations of night-soil and septic sludge.

Table 1. Flow rate of final effluent

Month	Year	1997	1998	1999	2000	2001
Total		954,244	837,269	1,006,605	773,302	716,027
Mean		79,520	69,772	83,884	64,442	59,669
Jan.		64,318	92,632	74,472	97,538	69,720
Feb.		52,013	83,124	96,068	83,869	62,580
Mar.		77,611	84,653	77,680	73,351	54,300
Apr.		80,307	90,345	81,077	63,219	54,630
May		88,241	87,007	85,697	71,914	71,137
June		81,945	78,177	82,619	61,449	54,954
July		94,672	81,090	80,653	63,701	82,566
Aug.		92,606	85,623	76,199	48,561	60,187
Sept.		80,652	37,559	79,023	47,070	52,122
Oct.		69,782	38,091	91,389	52,644	49,941
Nov.		77,364	35,041	92,194	50,053	53,322
Dec.		94,733	43,927	89,534	59,933	50,568

생량은 증가하였다. 이 그림에 나타난 바와 같이 분뇨는 1995년 17,533kl에서 2001년 6,466kl로 11,067kl 감소하였으며, 정화조 오니는 1995년 60,017kl에서 2001년 104,777kl로 44,760kl 증가하였다. 분뇨와 정화조 오니를 포함해서 일 평균 총유입량은 1995년 기준 212kl에서 305kl로 증가하였다.

3.2. 분뇨처리장의 문제점

2000년 1월~2월의 SS 분석결과 34mg/l로 오수·분뇨 처리시설 방류수 수질기준 30mg/l를 초과하였고, 또한 T-P도 기준치 8mg/l에 육박하였다. 고도처리시설이 되어 있지 않은 현재의 분뇨처리 시설에서 분뇨의 증량처리 및 SS제거 효율을 높이기 위해서는 공정개선이 필수적이다. 구체적인 문제점은 다음과 같다.

희석폭기조에서 방류수 수질기준을 맞추기 위해 희석하므로 체류시간이 짧으며, 활성오니조로 유입

되는 SS농도가 6,000~7,000mg/l로 매우높다. 최종 침전지에서 슬러지가 부상되어 방류수 SS를 증가시키고, 최초침전조에서 종합농축조로 이송하는 펌프가 수동운전됨으로써 적정한 시간에 슬러지 이송이 어려워 고농도의 슬러지가 활성오니조로 유입되었다. 또한 탈질 제거시설이 없다.

3.3. 방류수질 향상을 위한 시설 및 공정개선

M시 분뇨처리장의 시설 및 공정개선 후의 변화된 처리공정도는 Fig. 3에 나타내었다. 시설개선내용과 공정개선내용은 다음과 같다.

3.3.1. 시설개선

분뇨처리장의 문제점을 개선하기위해 시설을 개선한 것은 4가지이다. 첫째, 체류시간을 조절하기위해 폭기조의 슬러지 상태에 따라 종합농축조 월류수를 1계열 활성슬러지조 1지에서 1계열 폭기조까

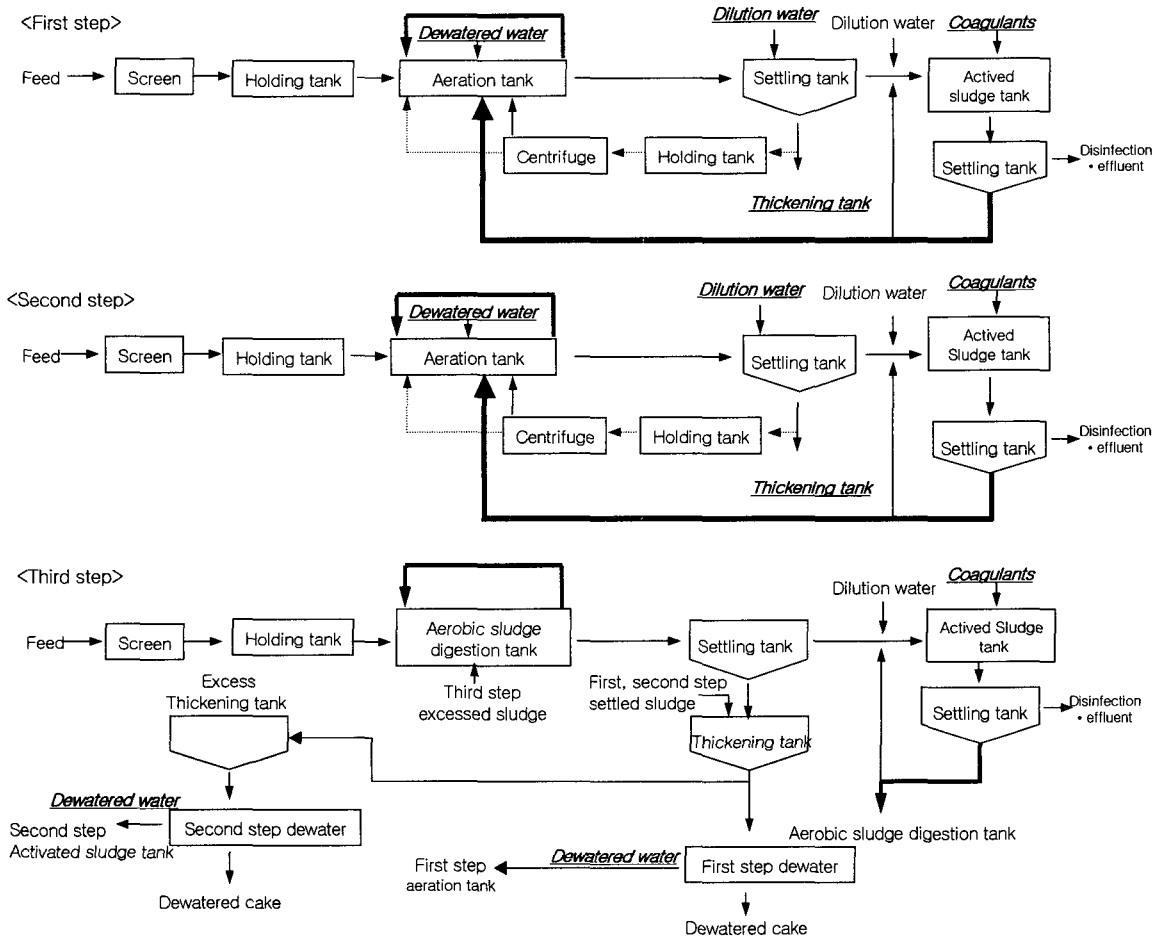


Fig. 3. Diagram of sanitary treatment system after process modifications. (Italic and underline symbolize process modification)

지 배관을 연장하여 유입시켰다. 둘째, 방류수의 SS를 감소시키기위해 활성슬러지조 마지막지에 응집제 투여시설을 설치하였다. 셋째, 분뇨이송펌프 고장에 대비하여 항시 정량을 조절할 수 있는 드레인 배관 및 시간 조절용 타이머 설치하였다. 넷째, Blower 시설 및 분뇨이송 배관의 운영체계를 개선하였다. 1, 2계열 무회석·회석 폭기조 5지에서 회석조 3지로 슬러지 반송펌프와 배관을 신설하였고, 3계열 소화조 5지에서 1지로 슬러지 반송펌프와 배관을 설치하였다. 1계열 Blower Line과 2·3계열 Blower Line 연결하였고, 활성슬러지조 각지별 공기조절밸브를 부착하였다.

3.3.2. 공정개선

분뇨처리장의 문제점을 개선시키기 위해 공정을 5가지 변경하였다. 첫째, 회석조에서 회석하여 처리하던 방식에서 무회석으로 처리하였다. 둘째, BOD나 COD가 높을 경우 폭기량을 증가시킴으로써 발생하는 편플록현상 및 탈질반응 등으로 최종 방류수 SS가 초과할 경우 응집제를 투여할 수 있도록 하였다. 셋째, T-N이 높을 경우 1차 처리(폭기조)에서 과폭기하고 1·2계열은 폭기조 3지의 폭기량을 줄여 탈질 반응이 일어날 수 있도록 DO를 0.5이하로 낮추어 주고 또한 최초침전조의 회석배율을 낮추어 체류시간을 늘려 탈질 반응이 최초침전조에서 일부 일어나도록 유도하였다. 활성슬러지조 4지에서 폭기량을 줄여 DO를 낮추어 탈질 반응이 일어나도록 하였다. 넷째, T-P가 높을 경우 최초침전조에서 이송되는 1차 슬러지를 빠른 시간 내에 탈수하고 활성슬러지조 4지에서 폭기를 줄이고 5지는 폭기를 증가시켰다. 다섯째, 대장균군이 법적 기준치(3,000MPN/ml 이하)를 초과할 경우 염소투입량을 증가시켰다. 공정개선을 통하여 동절기에는 염소소독을 하지 않아도 100MPN/ml 이하로 떨어져 있는 상태이지만, 하절기 기온 상승 등으로 인해 기준치를 초과할 경우 염소소독을 해야한다. 환경부의 분뇨처리시설 구조지침⁵⁾에 따르면 소독조의 체류시간은 15분 이상이 필요한 것으로 되어 있으며, 실제 본 처리장의 소독조 체류시간은 18~36분이었으며, 설계기준에 만족하였다.

3.4. 시설 및 공정 개선 후 수질 개선 효과

2000년과 2001년의 폭기조로 유입되는 물의 분석 결과는 Table 2와 같았다. BOD, COD, T-N, T-P의 경우는 거의 변화가 없으나 SS의 경우는 7,739mg/l에서 5,934mg/l로 감소하였다. 이는 저류조 기능향상과 분뇨 투입의 적절한 관리에 기인하는 것으로 판단되었다.

가장 중요한 공정 개선 중의 하나로 폭기조에 회

Table 2. Yearly average concentration of influent in 2000~2001 (mg/l)

Year	Influent				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P
2000	3,053	3,268	7,739	643	109
2001	3,265	3,311	5,944	659	111

석수를 넣지 않았다. 이로 인하여 폭기조의 유기물 농도가 높아지고 유량은 낮아졌다. 또한 최종침전조의 반송슬러지 MLSS(mixed liquor suspended solids) 농도가 평균 2,400mg/l에서 5,900mg/l로 증가하였다. 따라서 수리학적 체류시간은 증가하게 되고 2000년의 폭기조 평균 DO 농도 0.35mg/l에서 2001년 0.91mg/l로 유지시켜 대부분의 유기물이 폭기조에서 분해되었다. 폭기조의 F/M비는 0.02~0.05kgBOD/kgMLSS·day 범위를 유지하였다. 또한 활성슬러지조로 유입되는 SS 농도가 Table 3에서 보는 바와 같이 많이 감소하였다. 최초침전지가 혐기화 되기 전에 종합농축조로 슬러지를 이송하여 탈수함으로써 활성슬러지조 유입수 수질이 개선되었다.

최종방류수의 BOD, COD, SS, T-N, T-P를 Fig. 4에 나타내었다. 2000년 7월에 공정을 개선하였으며, 공정개선전·후를 비교하면 BOD 54.1%, COD 41.8%, SS 61.1%, T-N 39.1%, T-P 11.7%의 개선 효과가 나타났다.

공정개선 후 방류수의 질소 농도는 약 20mg/l 이하, 인의 농도는 약 6mg/l 이하를 유지하면서 방류수 수질 기준을 만족하였다. 조정섭과 지해성⁶⁾은 국내의 회석식 기존 분뇨처리시설에도 무회석 또는 저회석에 의한 A/O 방식으로 질소, 인 제거가 가능함을 보여주었다. 하지만 방류수의 질소 농도가 80mg/l 이상이었고, 인의 농도는 4~8mg/l의 범위였다. 김주용 등¹⁾은 간헐 폭기에 의하여 질소 최고 제거율 97.0%, 인 최고 제거율 62.4%의 결과를 얻었다. 공정이 개선된 본 처리장의 경우 활성슬러지 4지에서 탈질을 유도하였으나 탈질반응이 충분히 일어나지 못한 것으로 판단된다. 따라서 활성

Table 3. The concentration of SS in secondary activated sludge tank after process modification (mg/l)

	First step		Second step		Third step	
	Before	After	Before	After	Before	After
SS	1,573	68	2,113	66	1,568	129

Before : before modification(Feb., Mar., Apr., May, Jun.)
After : after modification(Aug., Sep., Oct.)

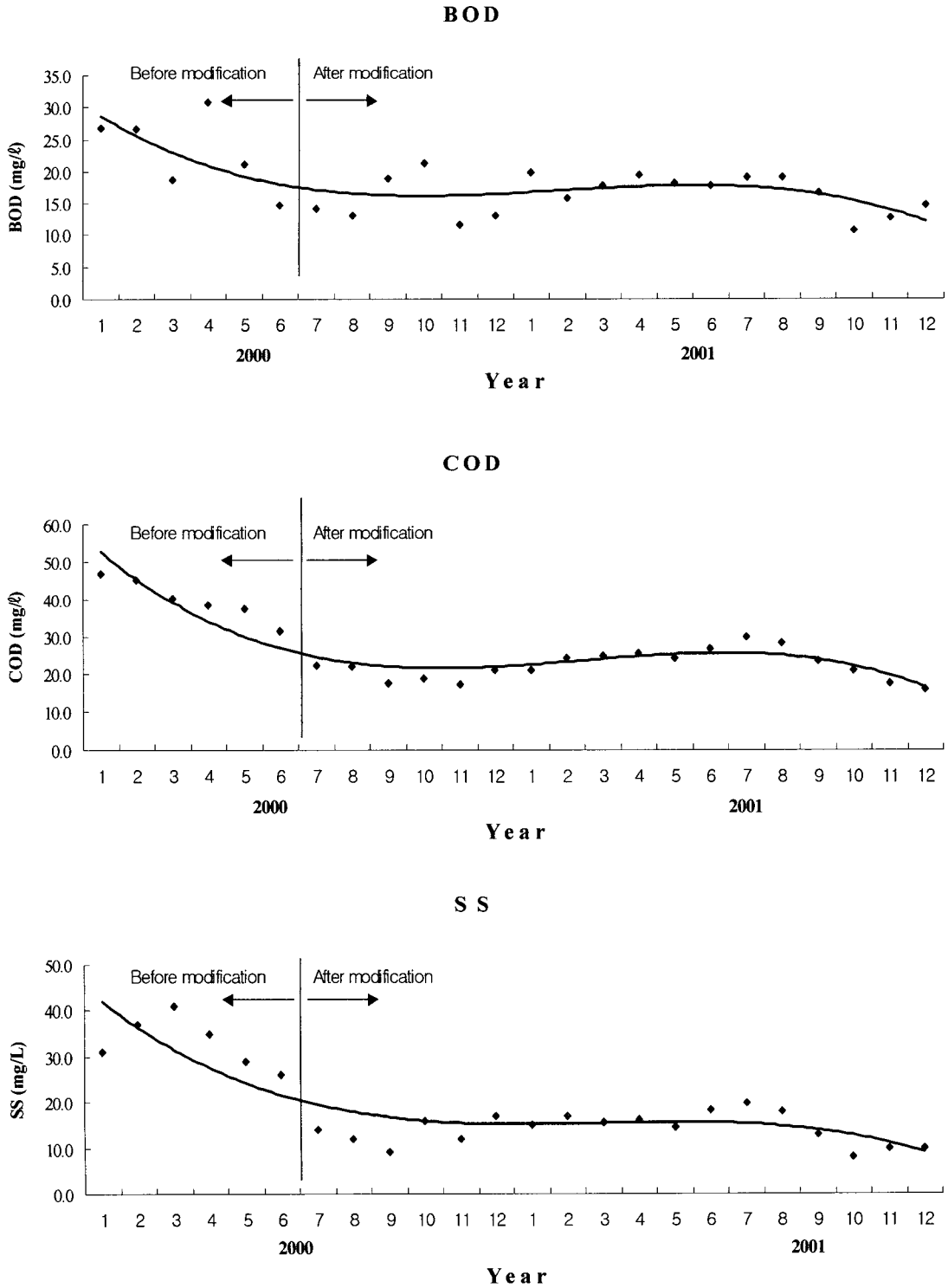


Fig. 4. Effluent water qualities before and after process modifications.

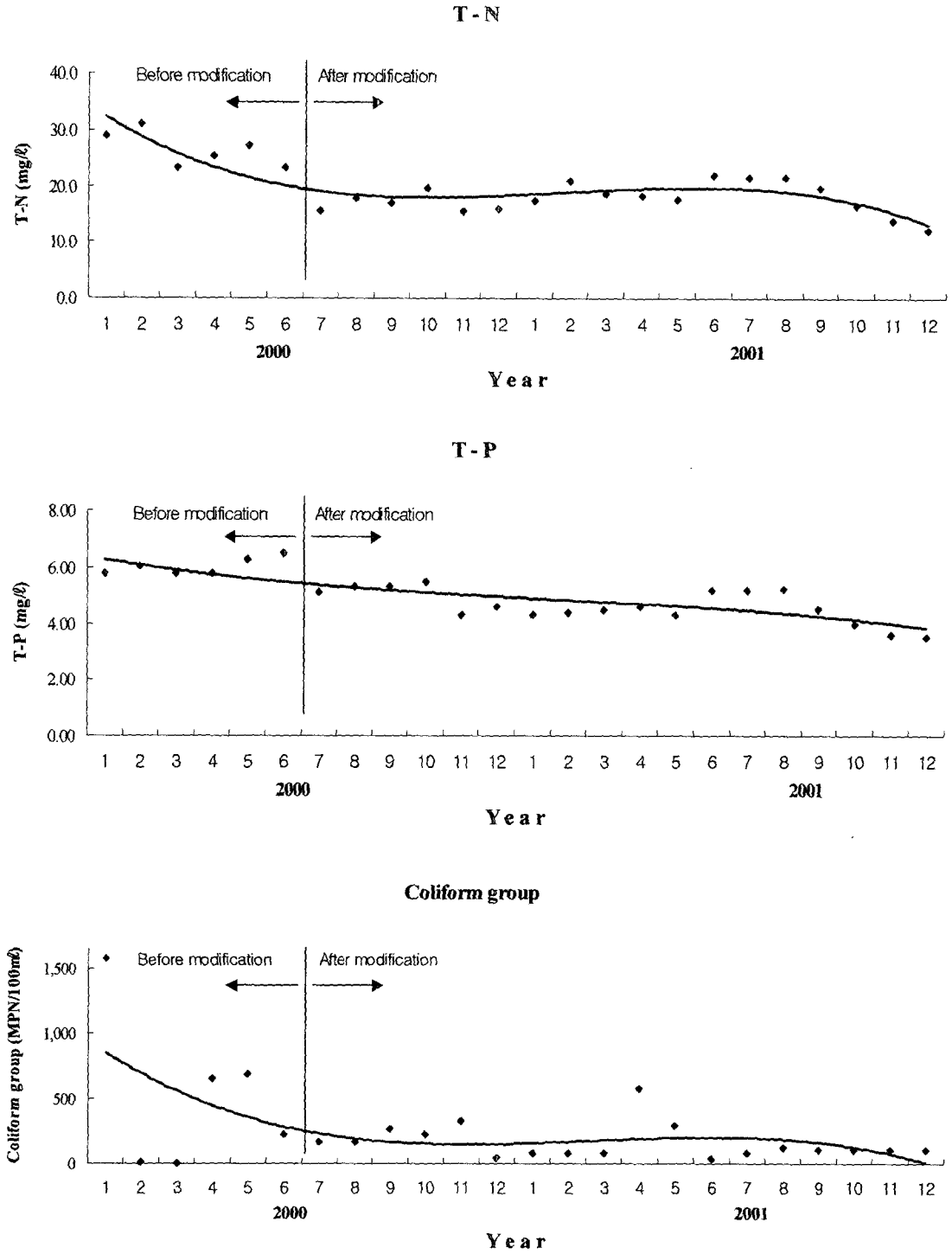


Fig. 4. Continued.

슬러지 4지에 슬러지를 투입하여 유기물을 공급하거나 용량이 충분한 활성슬러지 전체를 이용하여 간헐폭기시스템으로 전환하면 보다 좋은 효율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5는 활성슬러지조에 고분자 응집제를 투입한 후 방류수의 SS변화를 나타낸 것이다. 응집제 주입으로 슬러지 침강성이 개선되어 방류수의 SS가 크게 감소하였다.

3.5. 에너지 절감효과

2000년도와 2001년도의 전력사용량은 Table 4에 제시하였다. 2000년에는 하절기인 8월에 전력소모량이 가장 높게 나타났으며, 동절기인 12월에 가장 전력소모량이 낮게 나타났다. 2001년 역시 하절기인 9월에 가장 높은 전력 소모량을 나타내었으나 2000년 8월 280,982 kWh보다 27,264kWh 낮은 253,718kWh로

나타났다. 2000년 전력사용량은 2,729,903kWh이고, 2001년 전력사용량은 2,597,550kWh로 2000년에 비해 4.85%감소하였다. 월별 평균 전력사용량은 2000년에 227,491kWh였으며, 2001년에는 216,463kWh였다. 이렇게 전력사용량이 감소된 것은 활성슬러지조의 MLSS를 낮게 유지하여 DO 소비량이 줄어 Blower와 탈수기의 가동이 감소하였기 때문이며, 또한 응집제 주입 등으로 인한 슬러지의 침강성이 개선되어 원심분리기의 사용이 불필요하였기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

M시의 분뇨처리장의 처리효율을 개선하기 위해 처리시설 및 공정을 개선하였으며, 또한 시설 및 공정개선후의 수질의 변화를 측정하여 수질 개선효과

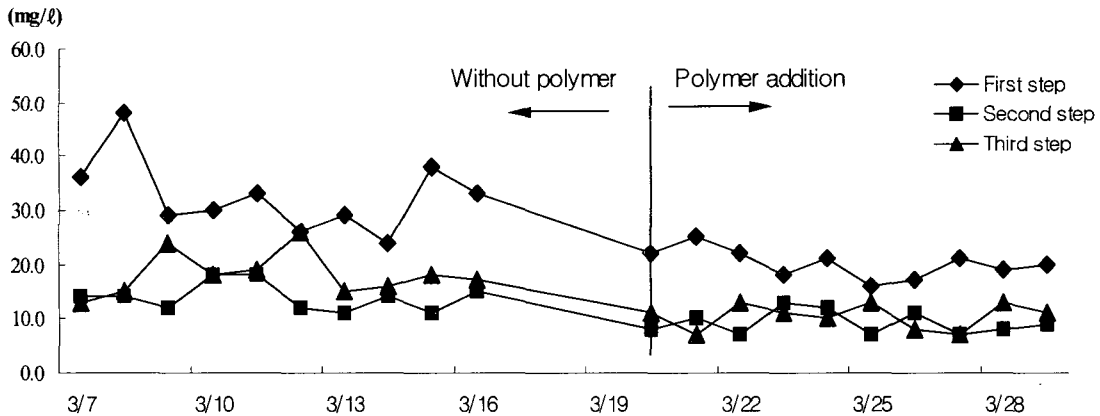


Fig. 5. SS removal effect by polymer addition to 5th sector of activated sludge.

Table 4. The quantities of electricity consumed during process control

(kWh)

Month	Year	2000	2001
Jan.		250,589	246,918
Feb.		260,419	200,709
Mar.		219,420	188,160
Apr.		231,120	209,232
May		202,771	233,414
June		253,690	240,307
July		259,123	194,784
Aug.		280,982	208,320
Sept.		253,718	253,718
Oct.		198,710	201,451
Nov.		192,960	195,187
Dec.		126,394	225,350
Sum		2,729,903	2,597,550

를 조사한 결과는 다음과 같았다.

- 1) 희석폭기조에서 방류수 수질기준을 맞추기 위해 공정수로 희석하여 체류시간이 짧아 체류시간을 늘리기 위해 중합농축조 월류수를 1계열 활성슬러지조 1지에서 1계열 폭기조까지 배관을 연장 설치하였다. 희석수는 최초폭기조 다음단계에 투입하였다.
- 2) SS 농도가 방류수 수질 기준을 초과하였던 2002년 3월과 2000년 7월 공정개선후를 비교할 때 BOD는 54.1%, COD는 41.8%, SS는 61.1%, T-N는 39.1%, T-P는 11.7%의 개선효과를 가져왔다.
- 3) 2000년 전력사용량은 2,729,903 kWh이고, 2001년 전력사용량은 2,597,550 kWh로 2000년에 비해 4.85%감소되었었다. 이렇게 전력사용량이 감소된 것은 활성슬러지조의 MLSS를 낮게 유지하여 DO 소비량이 줄어 Blower와 탈수기의 가동이 감소하였기 때문이다. 또한 응집제 주입등으로 인한 슬러지의 침강성이 개선되어 원심분리기의 사용이 불필요하였기 때문에 전력사용량이 줄어들었다.

감사의 글

본 연구는 2003학년도 경남대학교 학술논문게재 연구비 지원으로 이루어졌다.

참 고 문 헌

- 1) 김주용, 김남욱, 문병현, 이택순, 1999, 간헐폭기를 이용한 분뇨처리장의 오염물질 제거에 관한 연구, 대한환경공학회 '99추계학술연구발표회 논문집(II), 341-342pp.
- 2) 이상철, 2002, 環境基礎施設 統計資料集, (주)한국환경단체진흥회, 250pp.
- 3) 조광명, 이갑득, 이광호, 1981, 일본의 분뇨처리 현황, 대한토목학회지, 29(1), 27-35.
- 4) 최규철, 김무식, 류근우, 황재석, 1996, 수질오염 공정시험법 주해, 동화기술, 596pp.
- 5) 환경부, 2000, 오수·분뇨 및 축산폐수에 관한 법률 시행규칙.
- 6) 조정섭, 지해성, 1998, 분뇨처리시설의 질소·인 제거공정, 대한환경공학회지, 20(8), 1131-1137.