

미생물호흡률 측정에 의한 COD분액과 공정모사를 이용한 동절기 하수유출수의 NBOD 발생원인 분석

조옥상[†] · 강성욱 · 임동혁^{*}

수원대학교 환경공학과

^{*}(주)한미엔텍

The Analysis of NBOD from Sewer Outflow in Winter Season by the COD Fractions using the Respirometry and Process Simulations

Wook Sang Cho[†] · Seong Wook Kang · Dong Hyuk Im^{*}

Department of Environmental Engineering University of Suwon

^{*}Hanmee Entec

(Received 22 September 2009, Revised 18 November 2009, Accepted 14 December 2009)

Abstract

In this work, the presence of nitrification biochemical oxygen demand (NBOD) frequently occurred in the sewer outflow in winter season was analysed by the COD fraction methods using the respirometry and process simulations with real operation data measurements and analysis. The activated sludge models applied in this process simulation were based on the ASM No.2d temp. models, published by International Association on Water Quality (IAWQ). The ASM No.2d model is an extension of the ASM No.2 model and takes into account of carbon removal, nitrification, denitrification and phosphorus removal. The denitrifying capacity of phosphorus accumulating organisms has been implemented in the ASM No.2d model because experimental evidence shows that some of the phosphorus accumulating organisms can denitrify. It was shown that the concentrations of autotrophs (X_{AUT}) in the secondary clarifier and the NH_4-N of T-N increased in the presence of NBOD measurements. Because of the low temperature (average 8°C) and possible operational troubles, the outcoming autotrophs exhausted oxygen in the process of nitrifying NH_4-N .

keywords : Activated sludge model (ASM), ASM No.2d Temp, Nitrification biochemical oxygen demand (NBOD), WWTP Simulation

1. 서론

NBOD(Nitrification Biochemical Oxygen Demand)는 NOD(Nitrogenous Oxygen Demand)로 표기되기도 하며 보통 질산화세균 즉, 무기물을 에너지원으로 사용하는 독립영양미생물의 산소 소비량을 의미한다. NBOD의 발생은 주로 유기물의 잔류량에 따라 결정되어 보통 BOD 실험 시작 후 7~10일 이후에 발생하게 된다. 따라서 BOD₅까지는 NBOD의 영향을 거의 받지 않고 CBOD(Carbonaceous Oxygen Demand)를 측정할 수 있는 것이 일반적이었다(장세주 등, 2007).

하지만, 본 논문의 연구 대상인 하수처리시설의 경우 동절기가 시작되어 유출 수질의 BOD₅가 서서히 증가하다가 유입수의 수온이 보증 수온인 12°C 이하로 유입되었을 경우에 보증수질(BOD₅ 8.3 mg/L 이하)을 상회(BOD₅ 11.3 mg/L)하는 결과가 관찰되었다. 이에 하수처리시설 분석실

에서 Table 1과 같은 실험을 통하여 유출수의 BOD₅가 증가한 원인이 NBOD의 영향으로 분석하였으며, 동절기에 질산화균의 최대 비성장율(μ_{max} , maximum specific growth rate)이 온도에 영향을 받아 하수처리시설의 질산화 반응 효율이 급감했기 때문에 5일 이내에 NBOD가 발생한 것으로 분석하였다. 그러나 이는 간단한 실험과 문헌조사에 의해 추정된 결과이며, NBOD가 집중적으로 발생한 동절기에는 본 연구대상 하수처리시설에 혐기성 소화조가 미완성된 상태였고 유입하수의 온도가 평균 8°C로 유지되는 등 열악한 운전조건이었기 때문에 보다 정확한 수질 분석과 공정모사에 의한 원인분석이 요구되었다. 따라서 본 연구에서는 미생물 호흡률 측정과 L/C(Liquid Chromatograph)로 측정된

Table 1. Comparison BOD₅ values with CBOD₅ values

DATE	BOD ₅	CBOD ₅
		Influent + ATU
4. Jan.	6.6	2.0
11. Jan.	15.9	2.9
1. Feb.	17.9	5.3

[†] To whom correspondence should be addressed.

wscho@suwon.ac.kr

유입수 분액에 의한 수질데이터를 활용하여 연구 대상 하수처리시설 동절기 상황을 구현한 공정모사를 수행함으로써 NBOD 발생에 대한 원인 분석을 수행하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 미생물 호흡률 측정기(Respirometer)를 활용한 COD 분액

ASM No.2d(Activated Sludge Model No.2d, IAWQ)는 ASM No.2을 기본으로 개선 및 확장을 하여 IAWQ에서 설계한 모델이다. 즉, ASM No.2에 인접취 미생물인 PAOs가 호기조에서는 인흡수를 수행하지만 무산소조에서 탈질 반응에도 관여하는 미생물 반응식을 추가한 모델이다. 인축적 미생물(Phosphorus Accumulating Organisms)의 탈질 능력(Denitrifying Capacity)은 ASM No.2d에서 구현되었는데 이는 실험적인 증거로 몇몇 인축적미생물이 탈질을 할 수 있다는 실험 결과 토대로 이루어지게 되었다(Henze et al., 2000).

ASM No.1에서의 ASM No.2로의 변화 중 인제거에 대한 구현을 들 수 있는데, 최종적으로 ASM No.2d에서 인제거에 대한 거의 확실한 모델을 구현했다고 볼 수 있다. ASM No.2d 역시 ASM No.2와 마찬가지로 인중합체와 TSS와 관련된 모델도 포함되어 있다. 또한 고려되는 생물학적 요소는 Table 2와 같으며, 이는 유입수 분액 항목과도 같다. 유입수 분해는 크게 두 개로 나누어지는데 입자성 물질과 용존성 물질로 나눌 수 있다. 모든 입자성 성분은 전기적으로 중립이어야 한다. 하지만 용존성 성분은 이온전자가 운반될 수 있어 전기적인 특성을 가질 수 있다.

ASM No.1과 달리 생물학적 인제거를 위하여 생분해 가능한 용존성 물질인 S_S 는 발효 가능한 유기물(S_F)과 발효 부산물(S_A)로 세분되었다. 모든 화학양론의 계산을 위해 S_A 는 발효 부산물(Fermentation Products)을 모두 포함하는 아세트산염(Acetate)에서만 존재한다고 가정한다. 천천히 생분해 되는 유기 물질인 X_S 는 입자성 물질로 가정된다. 용존성 난분해 유기물질인 S_I 는 하수처리장에서 더 이상 분해할 수 없는 물질이다. 입자성 난분해 유기물질인

X_I 역시 시스템에서 분해되지 않는다. 즉, X_I 는 미생물에 의해서 역시 더 이상 분해되지 않는 입자성 유기물질로 S_I 와 다른 점은 방류되지 않고 반응조에 축적된다. 이로 인해 유입되는 농도보다 반응조 내부의 농도가 높게 나타나는 것이다. X_I 는 반송과 같은 일련의 수리학적 영향으로는 외부로의 유출이 되지 않는 것으로 가정되어지며, 폐슬러지의 처리에 의해서만 제거된다.

총 20개의 유입수 분액 데이터 중 미생물 호흡률 측정기를 사용하여 추정할 수 있는 값은 $TCOD_{Cr}$ 값을 구성하는 $S_S, S_I, X_S, X_I, X_{AUT}, X_H$ 이며, L/C 등을 사용하여 S_A 값에 해당하는 VFAs(Volatile Fatty Acids)를 측정하여 S_S 를 S_A 와 S_F 로 세분화할 수 있다(Melcer et al., 2003).

COD 분액은 Fig. 1의 미생물 호흡률 측정기에, 여과시킨

Table 2. The biological components considered in the WWTP models of category ASM No.2d

Name	Description
H_2O	Water
S_I	Inert soluble matter
S_O	Dissolved oxygen
S_{N2}	Dinitrogen, N_2
S_F	Fermentable, readily biodegradable organic matter
S_A	Fermentation products, considered to be acetate
S_{NO}	NO_2^- and NO_3^- -nitrogen
S_{PO}	Inorganic soluble phosphorus, primarily ortho-phosphates
S_{NH}	Ammonium nitrogen, NH_4-N
S_{ALK}	Alkalinity of the wastewater
X_I	Inert particulate matter
X_S	Slowly biodegradable matter
X_H	Heterotrophic biomass
X_{PAO}	Phosphate accumulating organisms : PAO
X_{PP}	Poly-phosphate
X_{PHA}	A cell internal storage product of phosphorus accumulating organisms
X_{AUT}	Autotrophic biomass
X_{TSS}	Total suspended solids TSS
X_{MeOH}	Metal-hydroxides
X_{MeP}	Metal-phosphate, $MePO_4$

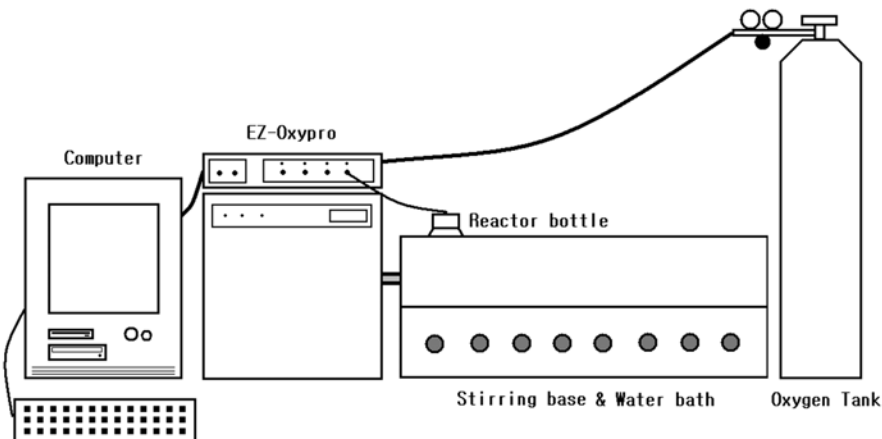


Fig. 1. Schematic diagram of respirometer.

유입수와 여과시키지 않은 원수를 각각 250 mL 주입하여 호흡률 데이터를 산정한 다음 식 (1)~(4)를 사용하여 값을 산정하였다. X_I 는 유입수 분액이 끝난 후에 식 (5)에 의해 산정되며, S_I 는 미생물 호흡률 측정 실험 중 내생 호흡 전단의 COD_{Cr} 를 측정하여 산정할 수 있다. 또한 X_{AUT} 는 질산화억제제인 ATU(Allylthiourea)를 투여한 $BOD_5(CBOD)$ 와 질산화억제제를 투여하지 않은 BOD_5 를 비교 분석하여 값의 차이가 발생하면 미생물 호흡률을 측정하여 산정하고 그렇지 않은 경우에는 기본값인 0.001 mg/L로 공정모사를 수행하였다(조옥상과 강성욱, 2009).

$$T_S = \frac{OC_T}{1 - Y_H} \tag{1}$$

$$T_S = S_S + X_S \tag{2}$$

(조옥상과 강성욱, 2009)

$$S_S = \frac{OC_1}{1 - Y_H} \tag{3}$$

$$X_H = \frac{e^{(y-intercept) \cdot 24}}{\frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot (slope \cdot 24 + b_H)} \tag{4}$$

(신항식 등, 2001)

$$X_I = TCOD - (S_A + S_F + S_I + X_S + X_H + X_{AUT}) \tag{5}$$

Y_H 는 heterotrophic biomass의 yield coefficient : 0.67gCOD/gCOD (Henze et al., 1987)

Table 3. Results of the influent COD fraction

COD Component	Influent 1		Influent 2	
	Concentration (mg/L)	% (%TCOD _{Cr})	Concentration (mg/L)	% (%TCOD _{Cr})
S_I	9.8	6.0	10.1	6.1
S_A	26.3	16.2	27.47	16.7
S_F	53.1	32.6	53.73	32.6
X_S	54.8	33.7	54.35	33.0
X_I	8.7	5.3	8.15	5.1
X_H	10.1	6.2	10.8	6.6
Total	162.8	100	164.6	100

2.2. 유입수 성상 분석 결과

혐기조, 무산소조, 호기조로 구성된 연구 대상 하수처리 시설은 하루 35,000 ton/day의 유입수가 유입된다. 공정 시험 방법 및 Hach社의 DR-4000을 사용하여 유입수를 측정 한 결과 Table 4와 같은 결과를 얻었다.

2.3. 유입수 분액 결과

Table 3의 유입수 COD 분액 결과와 Table 4의 유입수 성상 분석 결과값을 바탕으로 유입수 분액을 실시하였다. 정상상태 공정 모사의 경우 유입수 데이터가 1개 필요하

Table 4. Influent wastewater characteristics

Item	Constituent	Influent 1	Influent 2
COD	TCOD _{Cr}	162.8 mg/L	164.6 mg/L
	TCOD _{Mn}	62.0 mg/L	73.0 mg/L
	SCOD _{Cr}	92.4 mg/L	94.7 mg/L
	SCOD _{Mn}	38.0 mg/L	39.0 mg/L
BOD	TBOD ₅	63.4 mg/L	65.4 mg/L
	SBOD ₅	29.2 mg/L	35.2 mg/L
Nitrogen	T-N	22.1 mg/L	21.8 mg/L
	NO ₂ -N	0.1223 mg/L	0.1152 mg/L
	NO ₃ -N	0.6 mg/L	0.6 mg/L
	NH ₄ -N	18.7 mg/L	18.54 mg/L
Phosphates	TKN	19.3 mg/L	18.9 mg/L
	T-P	2.6 mg/L	2.6 mg/L
	PO ₄ -P	2.2 mg/L	2.2 mg/L
	Alkalinity	171 mg/L	172 mg/L
	TSS	69.0 mg/L	64.0 mg/L

Table 5. Result of influent fraction

Name	Influent 1	Influent 2
	Values (g/m ³)	Values (g/m ³)
S_I	9.8	10.1
S_O	0.001	0.001
S_{N2}	0.001	0.001
S_F	53.1	53.73
S_A	26.3	27.47
S_{NO}	0.001	0.001
S_{PO}	2.2	2.2
S_{NH}	18.7	18.54
S_{ALK}	171	172
X_I	8.7	8.15
X_S	54.8	54.35
X_H	10.1	10.8
X_{PAO}	10.1	10.8
X_{PP}	0.001	0.001
X_{PHA}	0.001	0.001
X_{AUT}	0.001	0.001
X_{TSS}	69.0	64.0
X_{MeOH}	0.01	0.01
X_{MeP}	0.01	0.01

로 본 연구에서는 시료 1의 COD 분액 결과와 공정시험 결과를 바탕으로 유입수 분액을 실시하였다. 그 결과는 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 0.01 혹은 0.001로 입력된 값은 모델링 식에는 이용되어지나 유입수 중에는 없거나 혹은 없다고 가정하는 값들을 나타낸 것이다. 이렇게 산정된 값을 WEST[®] 공정모사기에 유입수 값으로 입력하고 공정 모사를 수행하였다.

2.4. 공정모사 수행

공정모사를 수행하기 위하여 하수처리시설의 설계인자값 및 현재 운영인자값을 조사 분석하였다. 공정모사 프로그램으로는 IAWQ의 인증을 받은 벨기에 Hemmis社의 WEST[®]

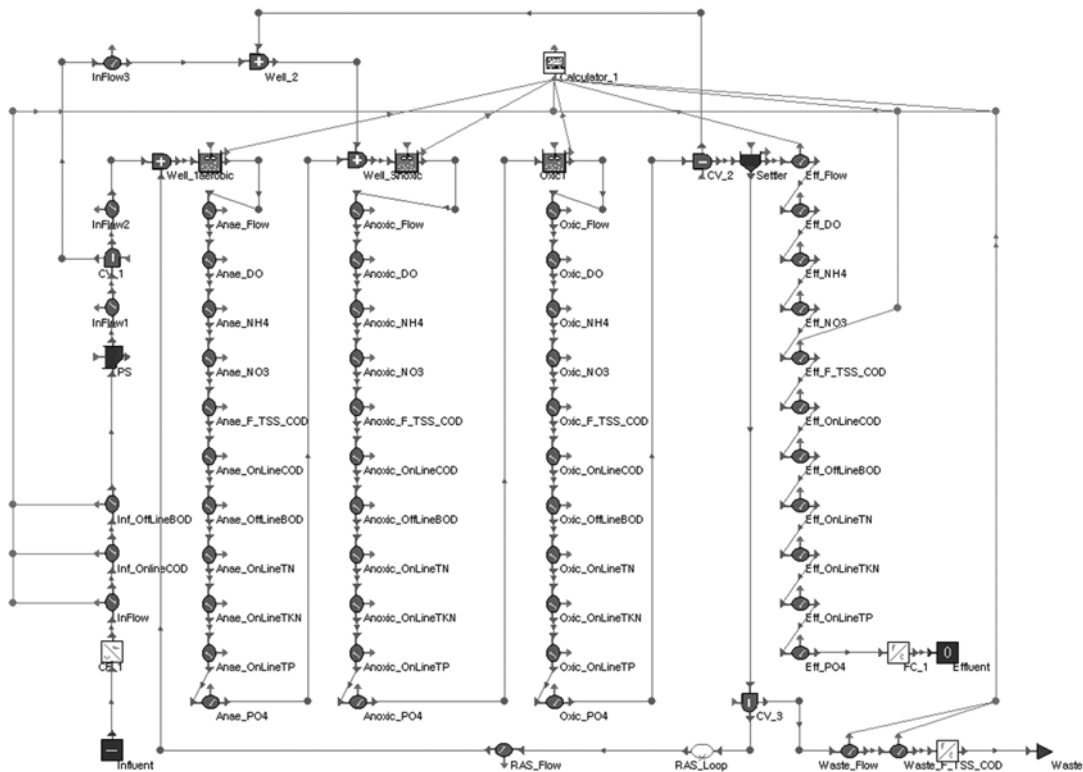


Fig. 2. Schematic diagram of the node in the WEST[®] (Case 1).

를 사용하였으며, 이러한 분석값을 바탕으로 WEST[®]의 ‘Node’를 입력하여 Fig. 2와 같이 하수처리시설을 구성 (Configuration)하였다. 하지만 Fig. 2의 경우 반류수가 포함되어 있지 않았는데 이로 인하여 정상상태 공정모사 값과 유출 수질 값이 일치하지 않는 결과가 출력되었다. 원인 분석을 위해 공정시설의 운영인자를 재검토하는 중에 반류수로 인하여 유입수질이 크게 증가되어 있었음을 인지하였다. 즉, 현재의 하수처리시설로 유입되는 원래의 유입하수에 반류수 즉, 슬러지 소화조 상등수, 탈수기 탈수여액 그리고 멤브레인 역세척수, 분뇨 등이 혼합되어 유입되고 있었다. 또한, 현재는 혐기성 소화조가 완성되어 반류수의 상등수가 안정적으로 배출되고 있었으나, NBOD가 발생한 시점인 동절기에는 혐기성 소화조가 가동되지 않아 반류수 농도가 일시적으로 높게 배출되던 문제점도 존재하였다.

따라서 Fig. 2의 구성을 수정하여 새롭게 Fig. 3을 구성하였다. Fig. 3에서는 NBOD가 발생한 시기에 실험 대상 하수처리시설의 슬러지 처리 계통 시설이 가동되지 않았던 운전상황을 구현하기 위하여 잉여슬러지와 1차슬러지를 1차적으로 침전시켜주는 중력농축조를 설치하여 이를 ST_1과 ST_2로 명명하였다. 또한 농축기의 미설치로 인하여 잉여슬러지를 혐기성 소화조로 운송하여 처리하기 위하여 CV_4로 명명된 배분기(Distributor)를 설치하여 농축기의 미설치시 혐기성 소화조로 운송되고, 농축기 설치시 폐슬러지로 처리되도록 공정모사 구성도를 구현하였다. 또한 CV_4는 컨트롤러를 구성하여 유량을 조절할 수 있도록 구성하였다. ST_1의 중력농축조의 경우 중력농축조의 유출수인 월류수는 반류수에 포함되어 유입수와 혼합되어 유입하

도록 구성하였다.

혐기성 소화조로 분뇨가 유입되는 것을 구현하였으며, 멤브레인 필터로 구성된 2차 침전조 후단의 방류수 여과설비에서 발생되어 반류수에 포함되는 역세척수(Filter Backwash Water)도 구현하여 반류수 흐름의 물질수지의 정확성을 높였다.

분뇨의 경우 41~49 m³/day가 유입되는 반면 역세척수의 경우 1,000 m³/day가 유입되기 때문에 부하량면에서는 분뇨가 차지하는 비율이 높으나 역세척수의 경우도 높은 비율을 가지고 있어 반류수질에 영향을 주는 중요한 인자 중 하나로 분석되었다.

하수처리시설의 반응조는 혐기조, 무산소조 1, 무산소조 2, 그리고 호기조로 구성하였다. 무산소조 2의 경우 동절기와 하절기에 각각 무산소조와 호기조로 변형 운영이 가능하게 구성하였으며, 공정계산기 Node를 각각의 센서에 연결하여 SRT, HRT, Mass, Volume, BOD₅에 근거한 F/M비, COD_{Cr}에 근거한 F/M비 등을 계산하였다. 이 때 내부반송 및 외부반송 그리고 2차 침전조에도 공정계산기 센서 라인을 연결하여 SRT, HRT, Mass, Volume, F/M비 등을 계산해야 되나 이럴 경우 계산 값이 너무 커지는 문제점이 발생하여 2차 침전조까지만 센서 라인을 연결하여 운영 인자 값을 산정하였으며, 내부반송과 외부반송에 의한 부피와 총 슬러지량은 고려하지 않았다. 또한 모든 계산에 사용되어진 유입수질과 유량은 순수 유입수질과 유량이 아닌 순수유입수와 반류수가 혼합된 수질과 유량을 사용하였다.

각각의 반응조에는 DO 컨트롤러를 설치하여 적정 DO를 유지하고자 하였으며, kla(산소전달계수) 값으로 조정하지

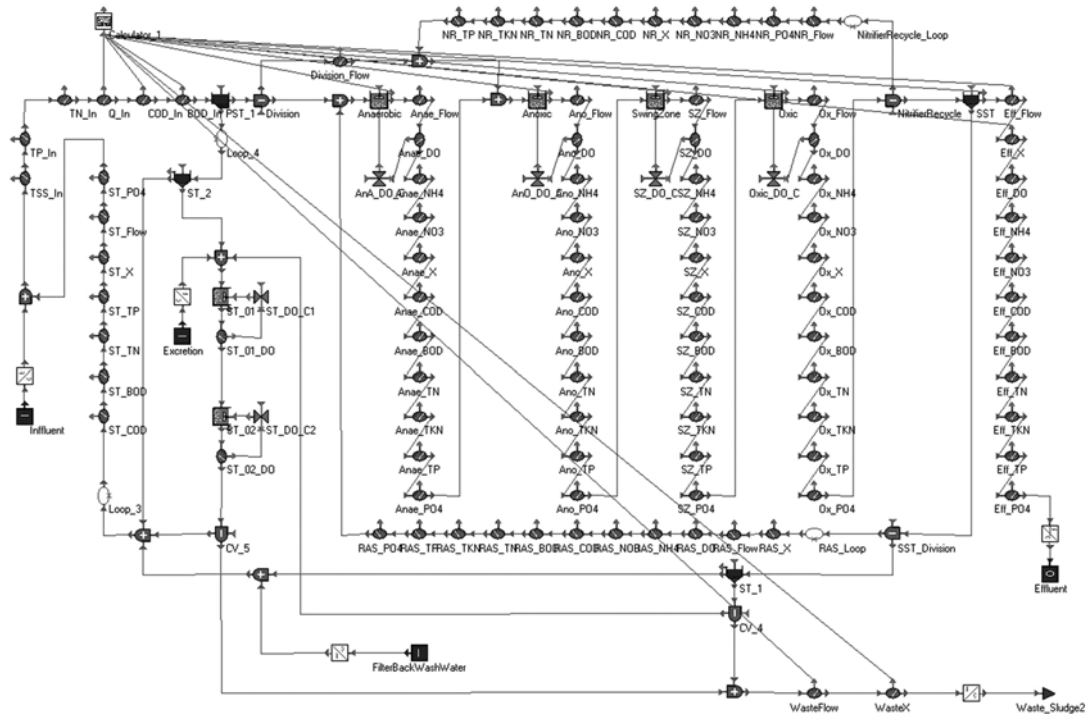


Fig. 3. Schematic diagram of the node in the WEST® (Case 2).

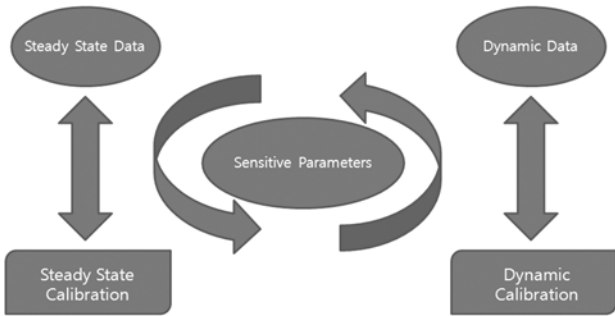


Fig. 4. Schematic representation of the calibration methodology (Insel et al., 2003).

않고 DO 농도로 조정하기 위해 PI(비례적분제어) 방식을 채택하였다.

Fig. 4는 하수처리장 공정모사에 대한 진행 순서를 보여주고 있다. 미생물 호흡률 측정과 VFAs 등의 측정 결과로 추정된 유입수 분액 결과값을 바탕으로 산정되어진 정상상태 수질 인자값을 유입수 데이터로 입력하여 정상상태 공정 모사를 수행한다. 정상상태 공정 모사 결과 수질이 안정적으로 유출되어지면, 하수처리장을 구성하고 있는 매개변수에 대한 민감도 분석을 실시하여 유출수질에 대한 각각의 매개변수 보정을 실시한다. 이러한 일련의 과정을 통하여 동적 공정 모사를 수행하게 되고 최종결과물을 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

Fig. 3의 구성과 Fig. 4의 공정모사 과정을 통해 20°C 정상상태 공정모사 결과로 출력된 2차침전조 유출수질과 실험에 의한 2차침전조 유출수질을 비교하면 BOD₅의 경우 공정 모사 결과는 6.7 mg/L, 실험에 의한 2차침전조 유출 BOD₅는 4.03 mg/L였다. COD_{cr}의 경우 공정 모사 결과는

23.3 mg/L, 실험에 의한 2차침전조 유출 COD_{cr}는 22.6 mg/L였다. TN의 경우 공정 모사 결과는 13.0 mg/L, 실험에 의한 2차침전조 유출 TN은 11.7 mg/L였다.

3. 결과 및 고찰

20°C 정상상태 공정모사를 바탕으로 10°C와 8°C일 때 정상상태 공정모사를 수행한 결과 동절기 연구 대상 하수처리시설에 다음과 같은 문제점이 분석되었다.

- 1) 침사지로 유입되는 반류수가 고농도로 유입되어 하수처리시설에 전반적으로 악영향을 주고 있다.
- 2) 8°C에서 질산화가 진행되는 도중 암모니아성 질소의 유출농도가 서서히 증가하는 현상으로 인하여 후에 NBOD로 추정되는 반응에 사용되었을 가능성이 제기되었다. 이는 폐슬러지량의 감소로 인하여 반류수 농도가 증가되어 유입수질이 변화했기 때문으로 분석되어졌다.
- 3) 슬러지 처리의 불안정으로 인하여 MLSS의 농도 조절에 어려움이 발생하여 2차침전조의 침강성이 좋지 않다.
- 4) 유입하수가 8°C로 유입될 때 즉, 보증수온 이하로 유입될 때 MLSS의 감소로 인하여 2차침전조에서 슬러지의 계면 농도가 상승하고 그로인한 독립영양미생물(X_{AUT})의 유출량이 증가하여 유출수 중 NH₃-N을 질산화시키는 과정에서 NBOD가 발생할 가능성이 높은 것으로 분석된다.

Fig. 5는 슬러지 처리 안정화 유무에 따른 반류수 농도를 공정 모사 결과를 통하여 보여주고 있다. TP와 TSS를 제외하면 약 2배 정도의 농도 차이를 보이고 있으며, TP는 약 6배 정도 증가하는 것으로 공정 모사 결과로 산정되었

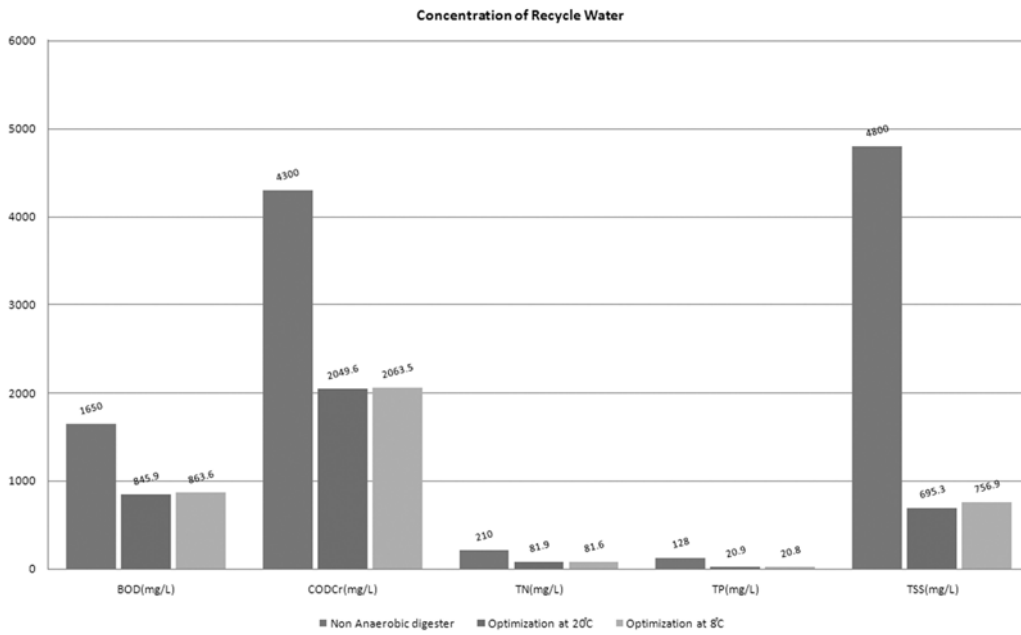


Fig. 5. Concentration of recycling water.

다. 또한 TSS의 경우에도 약 6배 정도 증가하는 것으로 공정 모사 결과로 산정되었다.

현재의 NBOD로 추정되는 현상은 동절기시 혐기성 소화조의 미구축으로 인하여 발생된 불안정한 슬러지 처리에 원인이 있는 것으로 분석되었다. 보증수는 이상일 경우 Fig. 5와 같은 비정상적인 반류수가 유입되어 전체적으로 유입농도가 상승하였다.

즉, 고도처리에서 MLSS의 증가는 2차 침전조의 계면농도를 안정시키고 그로 인하여 Fig. 6에서와 같이 X_{AUT} (독립영양미생물) 유출량이 Fig. 7에서 보다 안정화되고 유

출량도 감소한다. 또한 동절기에 슬러지 처리의 불안정으로 인하여 MLSS 농도가 감소되고 슬러지 계면 농도가 안정화되지 않은 상태에서 Fig. 8에서와 같이 NH₃-N의 유출 농도가 증가하였기 때문에 NBOD로 추정되어지는 현상이 발생한 것으로 분석되었다.

Fig. 6과 Fig. 7의 그래프에서 마이너스값은 2차 침전조에서 월류되어 방류되는 하수를 의미하며, Fig. 6에서와 같이 20°C에서 독립영양미생물인 X_{AUT}의 유출량은 10.2 kg/day인데 반해 보증 수은 이하의 동절기를 나타내는 Fig. 7의 경우에는 17.8 kg/day으로 동절기 독립영양미생물의 2

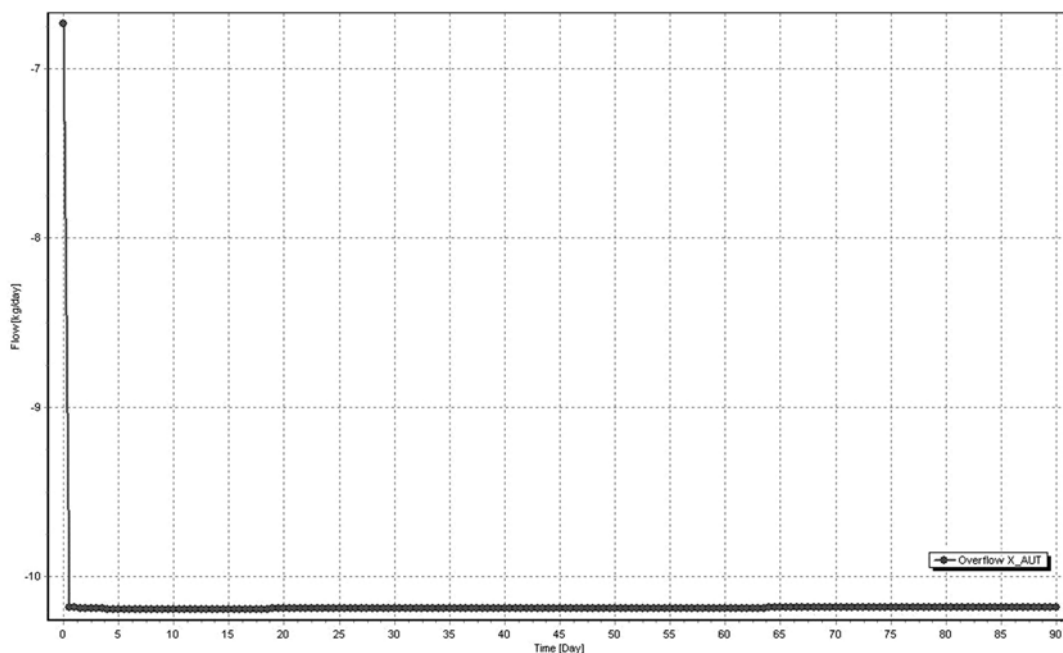


Fig. 6. Outflow of autotrophs (X_{AUT}) at 20°C.

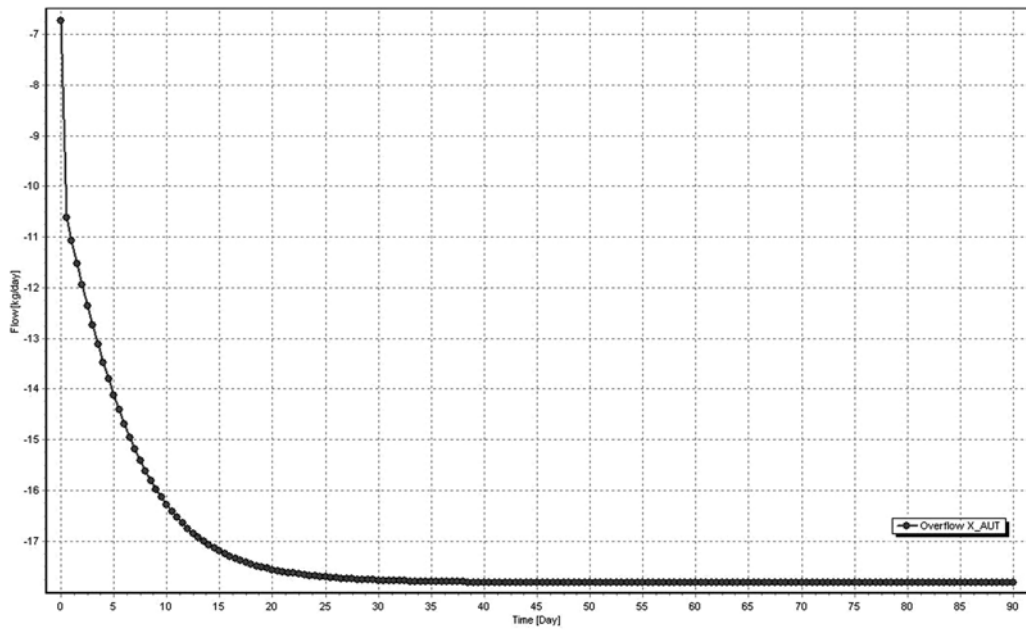


Fig. 7. Outflow of autotrophs (X_{AUT}) at 8°C.

차 침전조 유출량이 증가하였음을 알 수 있다. 슬러지 처리가 불안정한 상태에서 온도가 낮아지면서 미생물 활성도가 낮아지고, 그로인하여 2차 침전조 슬러지 계면 농도가 증가하면서 2차 침전조에서 유출되는 독립영양미생물의 양이 증가하고 있음을 보여주고 있다. 또한 질산화 효율이 낮아지면서 유출수에 Fig. 8과 같이 암모니아성 질소(NH_4-N)의 유출량이 높게 유출되고 있었다. 종합적인 상황을 분석한 결과 독립영양미생물이 유출수에 존재하는 암모니아성 질소를 질산성 질소로 변환하는데 관여하여 DO를 소모하고, 그로인하여 BOD 실험 결과 BOD값이 높아지는 현상을 초래한 것으로 분석되었다.

슬러지 처리 장치가 완성되지 않은 상태에서 잉여슬러지를 혐기성 소화조로 이송하였을 경우 Fig. 5와 같이 반류수 농도가 각각 COD_{Cr} 4,100 mg/L, BOD_5 1,650 mg/L, TSS 4,800 mg/L, TN 210 mg/L, TP 128 mg/L 등 고농도로 유출되어 하수처리장 전반에 악영향을 주고 있는 것으로 분석되었다.

이와 같이 잉여슬러지를 혐기성 소화조로 이송하여 운전할 경우 MLSS 농도 및 TP 유출농도 그리고 BOD_5 는 약간씩 감소하게 되지만 COD_{Cr} 및 TN의 경우에는 유출수질이 증가하는 현상을 보인다. 폐슬러지량의 감소로 인하여 SRT가 증가하게 되며, COD_{Cr} 에 근거한 F/M비는 빠른 속도로

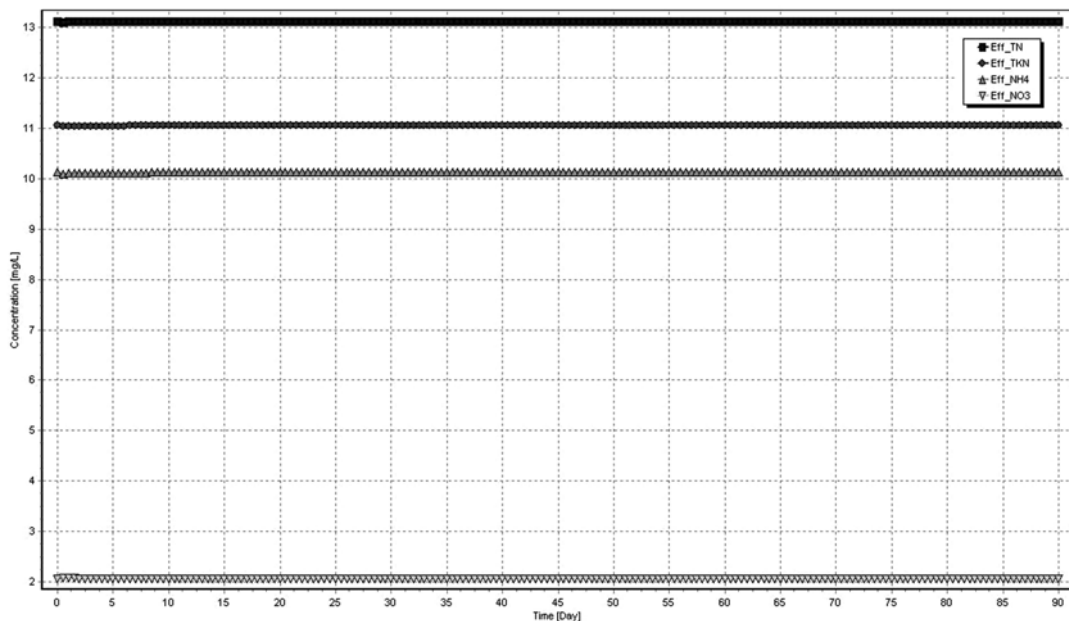


Fig. 8. Instable effluent water quality at 10°C (TN, TKN, NH_4-N , NO_3-N).

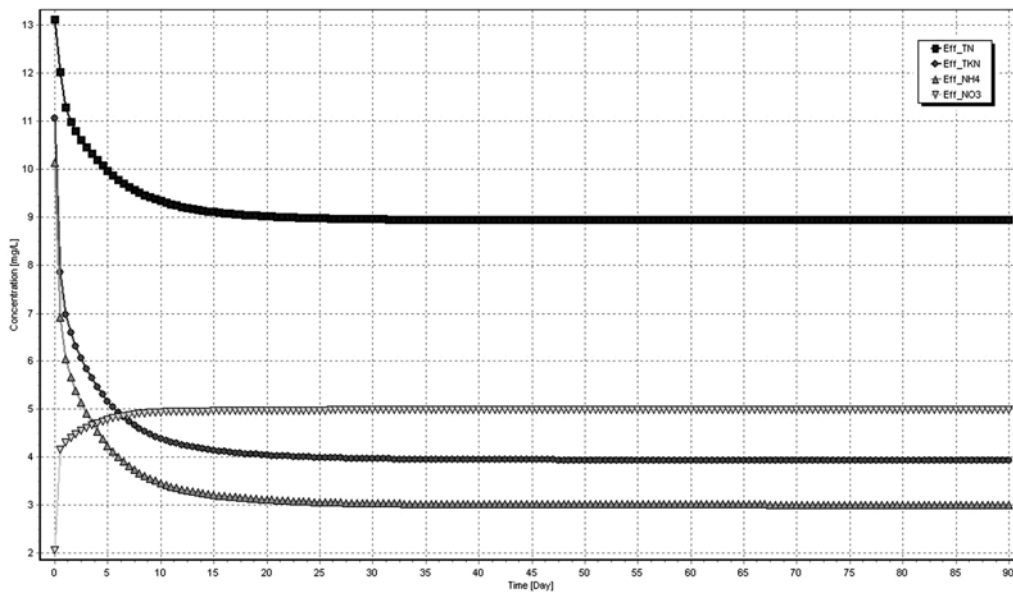


Fig. 9. Optimization of effluent water quality at 10°C (TN, TKN, NH₄-N, NO₃-N).

증가하는 반면, BOD₅에 근거하는 F/M비는 느리게 증가하는 현상을 보이고 있다.

또한 동절기 공정모사 결과 현재와 같이 혐기성 소화조의 정상적인 처리로 인하여 슬러지 처리가 안정화되었을 경우라도 혐기조와 무산소조의 DO가 높은 경우에는 인제거 효율이 급감하게 되며, 유출 COD_{Cr} 농도와 BOD₅ 농도 또한 증가하게 되는데, 이 때 MLSS가 감소하게 되면서 독립영양 미생물 유출량이 증가하기 때문에 동절기 운전시 혐기조와 무산소조의 적절한 DO농도가 유지되도록 해야 한다. 또한 동절기는 TN의 유출농도를 감소시키는 운전 방법보다는 Fig. 9와 같이 유출 NO₃-N를 유출 NH₄-N보다 높게 유지하면 NBOD의 발생을 예방할 수 있는 것으로 분석되었다.

4. 결론

연구대상 하수처리시설을 공정모사한 결과, 동절기 슬러지 처리가 비정상적으로 운영 중일 때는 침사/스크린조로 유입되는 반류수가 고농도로 유입되어 하수처리시설에 전 반적으로 악영향을 주고 있었으며, 반류수의 영향으로 암모니아성 질소(NH₄-N)의 유출 농도가 높고 이로 인하여 총질소(TN)의 유출 수질이 높은 문제점이 있었다. 또한 타 하수처리 시설에 비해 2차 침전조의 침강성이 좋지 않았으며, 이로인해 유입수 수온이 8°C로 유입될 경우에는 2차 침전조에서 독립영양미생물(X_{AUT})의 유출량이 증가하여 유출수의 암모니아성 질소와 반응하면서 NBOD가 발생할 가능성이 높았다.

공정모사 결과, 본 연구대상 하수처리시설의 동절기 NBOD 발생 원인은 혐기성 소화조의 미완성으로 인하여 폐슬러지, 슬러지 탈수여액, 역세척수, 분뇨 등의 처리가 정상적이지 않을 때에는 반류수 농도가 증가하면서 MLSS가 감소되고 감소된 MLSS로 인해 2차침전조 슬러지 계면 농도가 증가하면서 독립영양미생물의 배출량이 증가하게

된다. 또한 혐기성 소화조의 미완성으로 인하여 폐슬러지, 슬러지 탈수여액, 역세척수, 분뇨 등의 처리가 정상적이지 않을 때에는 반류수 농도가 높기 때문에 반류수가 포함된 유입수의 농도가 높아지면서 암모니아성 질소가 증가하게 되는데 이 때 내부반송량을 증가시키면 TN 유출 농도는 감소하지만 암모니아성 질소 유출 농도는 증가하여 독립영양미생물이 유출된 암모니아성 질소를 분해하면서 NBOD를 발생시킬 수 있기 때문에 내부반송량을 증가시키는 것은 바람직하질 못하다.

참고문헌

신항식, 정형석, 남세용(2001). 미생물 호흡률에 의한 유입 하수의 유기물질과 미생물 분율 측정. *한국생물공학회지*, **16**(4), pp. 351-355.

장세주, 이성호, 박해식, 박정길(2007). 하수처리장 유출수의 NOD를 고려한 BOD 측정에 관한 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(2), pp. 188-192.

조옥상, 강성욱(2009). 여과한 하수와 하수원액의 VFAs 측정과 미생물 호흡률 측정법을 이용한 하수의 유기물 분액 방법에 관한 연구. *유기물자원화*, **17**(1), pp. 58-72.

Henze, M., Grady, C. P. L. jr, Gujer, W., Marais, G. v. R., and Matsuo, T. (1987) *Activated Sludge Model No.1 (IAWPRC Scientific and Technical Report No.1)*, IAWPRC, London.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., and van Loosdrecht, M. (2000). *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. IWA, London.

Insel, G., Russell, D., Beck, B., and Vanrolleghem, P. A. (2003). *Evaluation of Nutrient Removal Performance For an Orbal Plant using the ASM2d Model*. WEFTEC, USA.

Melcer, H., Dold, P. L., Jones, R. M., Bye, C. M., Takacs, I., and Stensel, H. D. (2003). *Methods for Wastewater Characterization in Activated Sludge Modeling*. 99-WWF-3, Water Environment Research Foundation, USA.