

## SOUR을 이용한 하수처리시설 포기조 설계 적용에 관한 연구

주현종 · 김성철 · 이광현<sup>†</sup>

경기대학교 환경에너지시스템공학과

### Applicability Study of Reactor Design in Sewage Treatment Plant using Specific Oxygen Uptake Rate

Hyun Jong Joo · Sung Chul Kim · Kwang Hyun Lee<sup>†</sup>

Department of Environmental Energy System Engineering, Kyonggi University

(Received 23 October 2009, Revised 20 November 2009, Accepted 25 November 2009)

#### Abstract

In existing design method for aeration tank water temperature was considered as governing variable for applying safety factor. This study tried a few new approach of aeration tank design using SOUR at various temperature conditions. Specific substrate utilization rate (U) and specific oxygen uptake rate (SOUR) both were analyzed at various temperature and SRT. The laboratory scale reactor was operated on various temperature (10°C, 20°C, 25°C) and SRT (5day, 10day, 20day, 30day). In this study, SOUR tended to increase with the temperature increased. On the other hand, SOUR tended to decrease when SRT increased from 5 days to 30 days. Empirical equations were obtained  $SOUR=a/SRT+b$  and  $SOUR=(a/m) \cdot U+(b-a(n/m))$  from the relationship between SRT, U and SOUR. Empirical equations shows the possibility as a new design method for the aeration basin.

**keywords** : Empirical equation, Solid retention time, Specific oxygen uptake rate, Specific substrate utilization rate, Temperature

## 1. 서론

현재 국내에서 운영되고 있는 하수 및 오수처리장은 2004년부터 고도 처리 공정으로 개선되었거나 공사가 진행 중에 있으며, 다수의 처리장이 하수도법 개정에 따른 수질 기준에 적합하도록 기존 설계방법에 의하여 시공되어지고 있다(환경부, 2008). 한편 현재까지 생물학적 처리 공정에 기반을 둔 처리장내 유기물에 대한 처리공정은 유입수의 COD 농도 감소에 중점을 두어 왔으며 그 처리효율은 주로 부유 미생물 농도(MLSS), 슬러지 체류시간(SRT) 등 다양한 공정변수와 깊은 관련이 있는 것으로 알려져 있다(이태환 등, 2009). 또한 우리나라는 계절별 기후변화가 뚜렷하고 지역별로 유입수 및 공정내의 수온 및 기타 요인 변화가 심하여 동일한 공정에도 불구하고 일정한 처리효율의 안정성 확보가 어렵다.

이러한 원인으로 확일적 설계 방법의 적용을 예로 들면 기존의 설계방법은 계절별 수온 특성을 단순한 안전 인자(Safety factor)만을 고려하고 있으며, 또한 미생물 활성도에 따라 비기질이용율(Specific Substrate Utilization Rate, U)이 변하지만 공정 설계시 일반적 지침에 따라 U값을 정하고, 미생물 체류시간(Solid Retention Time, SRT)을 결정한 후

포기조 부피를 계산하는 방법을 적용하여 설계·시공함으로써(환경부, 2007) 처리장 운영시 유량, 수질 변동, 계절별 수온에 따른 미생물 활성도 변화에 따라 포기조 BOD 제거 및 질산화 운전 조건을 안정적으로 확립하기 어려운 것이 현실이다.

이러한 수온 변화 및 미생물 활성도를 반영하기 위하여 포기조 설계에 적용되는 여러 가지 인자들 중 계절적 운전 인자로 보편화 되어 있는 SRT와 미생물 활성도의 직접적인 지표라 할 수 있는 비산소소비율(Specific Oxygen Uptake Rate, SOUR)을 기존 포기조 설계식과 연계할 수 있다면 계절별 온도 변화와 SRT에 따른 환경 조건 변화에 따른 공정의 불안정한 운전 방안을 개선할 수 있으며, 기존 설계식에 비하여 더욱 세분화된 설계가 가능할 것이다. 이에 본 연구에서는 포기조 설계시 중요한 설계인자로 적용되는 SRT와 온도 변수에 비산소소비율(SOUR)에 의한 새로운 설계 인자를 비기질이용율(U)과 슬러지체류시간(SRT)에 접목시켜 포기조 설계법에 응용하고 평가하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험 장치

본 연구에 사용된 반응기의 구성 및 형태는 Fig. 1의 (a), (b)에 나타내었다. Lab. scale 반응기를 설계하기 위하여 국

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
kwang0513@hanmail.net

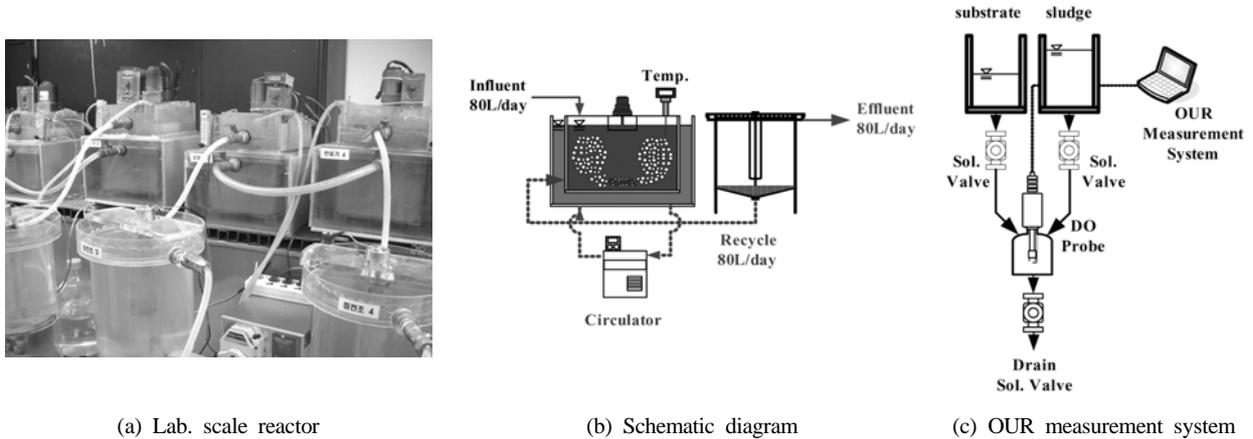


Fig. 1. Schematic diagram of lab. scale reactor using in this study.

내 하수 성상을 조사하였으며, 계절별 평균 농도를 기준으로 유입 수질을 결정하였다. 산소 소비율 측정 장치의 구성은 Fig. 1의 (c)에 나타낸 바와 같이 기질, 슬러지, 세척 용수 투입, 산소 소비율 측정 반응기, 용존산소(DO) 측정기 등과 전체 시스템을 통제하는 PLC 제어프로그램으로 구성하였다. 그리고 실험실 규모 반응기는 총 4기로 구성하였으며, 각각의 반응기에 항온 수조를 설치하여 온도를 조절하였고, 포기조와 침전조의 유효용량은 각각 13.5 L와 14.7 L로 제작하였다.

2.2. 운전 조건

본 연구에 사용된 유입수는 CH<sub>3</sub>OH, NH<sub>4</sub>Cl, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>를 이용하여 만든 합성폐수이며, 온도별로 나타난 유입수 성상을 Table 1에 나타내었다. 유입용량은 80 L/day, 포기조 체류시간은 4.05 hr이고 슬러지 반송은 1Q로 모든 운전조건에서 동일하게 설정하였고, 포기조의 DO 농도는 1.0~2.5 mg/L로 유지하였다. F/M비와 C/N비는 각각 운전 기간 동안 평균 0.579 g TCOD<sub>cr</sub>/g MLVS S·day와 15 g TCOD<sub>cr</sub>/g TN으로 나타났다. 온도 조건과 SRT에 따른 비산소소비율의 상관관계를 도출하기 위한 운

전 조건을 Table 2에 나타내었으며, 온도 변화에 따른 각각의 미생물 체류시간에서의 비산소소비율을 측정하였다.

2.3. 비산소 소비율 측정

측정 장치로부터 전송받은 산소 소비율 결과값은, 슬러지 유입, 기질 유입, 교반, 배출 및 세척의 측정 순환 사이클로부터 실시간 DO 농도 분석을 통하여 이루어진다. 산소 소비율에 대한 정보는 5분 간격으로 측정된 용존산소 농도의 수치들 중 미생물이 기질을 소비하면서 얻어진 부분의 변화된 수치를 사용한다. Fig. 2에 나타낸 그래프는 본 프로그램 실행 중 산소 소비율에 대한 정보를 제공하는 연산 작업의 예이다. 5분 단위로 산소 소비율 측정 반응기내 Polarographic 타입의 DO probe(YSI 5905/5010/200)를 통하여 측정된 용존 산소 농도의 변화를 나타낸 것이며, 측정된 용존산소 수치 중 유효한 값을 계산하는 연산과정을 나타낸 것이다.

2.4. 수질 분석 방법

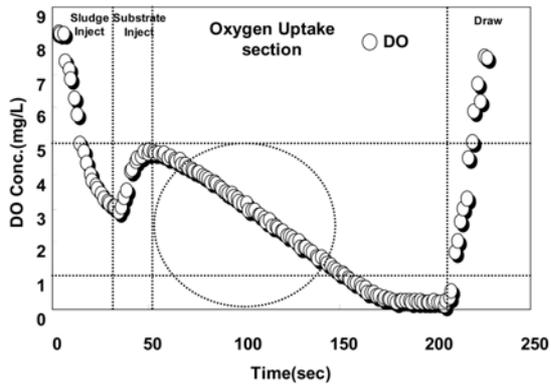
시료 채수는 매일 동일한 시간에 실시하였으며, 분석시간에 가장 많은 비중을 차지하는 고형물 분석을 우선적으로

Table 1. Characteristics of influent in the lab. scale reactor

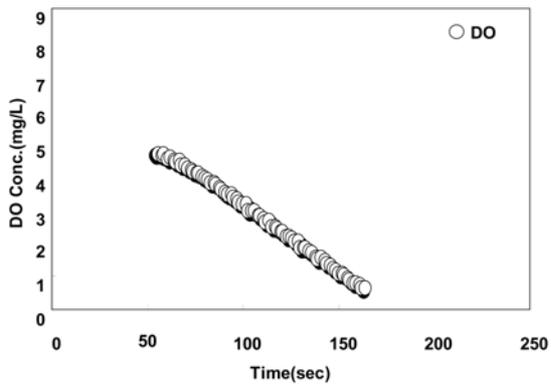
Constituent	10°C			20°C			25°C		
	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.
pH	7.46	7.73	8.1	7.39	7.68	7.93	7.4	7.73	8.03
Alk	117.29	130.14	149.1	121.27	130.47	139.16	113.32	128.84	151.09
TCOD <sub>cr</sub>	147.25	162.79	177.25	149.75	163.95	194.75	144.75	165.82	207.25
SCOD <sub>cr</sub>	134.75	155.37	174.75	144.75	156.98	182.25	139.75	159.27	189.75
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> -N	9.88	11.33	13.96	10.02	11.03	12.18	9.8	10.92	12.62
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.8	1.63	2.5	0.9	1.44	2.0	0.8	1.71	2.4
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P	0.96	1.27	1.66	0.25	1.24	1.43	1.0	1.1	1.25

Table 2. Operating conditions of lab. scale reactor

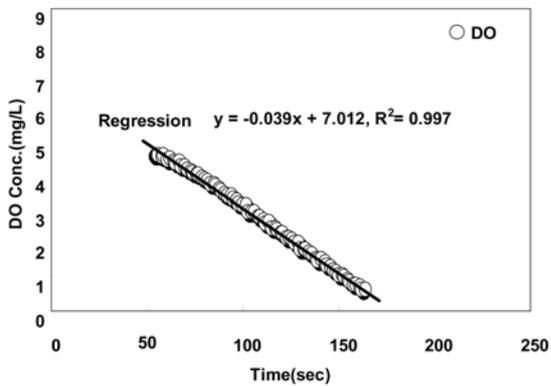
Constituent	Mode 1			Mode 2			Mode 3			Mode 4		
	Run 1	Run 2	Run 3	Run 1	Run 2	Run 3	Run 1	Run 2	Run 3	Run 1	Run 2	Run 3
Temp (°C)	10	20	25	10	20	25	10	20	25	10	20	25
SRT (day)	5			10			20			30		



(a) OUR measurement



(b) Data screening



(c) Data regression

Fig. 2. Measurement of oxygen uptake rate and data screening.

분석하였다. 시료의 항목별 분석 방법은 Standard Method (APHA et al., 2005)에 준하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 운전 결과

해당 모드별 운전 결과를 Table 3에 나타내었으며, SRT 5, 10, 20, 30일에서 동일한 원수조건하에 반응조 수온을 각각 10, 20, 25°C로 운전하였고, 반응조의 MLVSS는 SRT 5, 10, 20, 30일에서 평균 1,120, 1,940, 2,550, 2,930 mg/L로 운전되었으며, MLVSS/MLSS비는 각각 0.89~0.93으로 나타났다. COD<sub>cr</sub>의 경우 동일한 온도에서 Mode 마다 방류

수의 TCOD<sub>cr</sub>과 SCOD<sub>cr</sub>의 농도가 각각 다르게 나타났다. 10°C의 경우 동일한 유입수 조건에서 Mode 4의 방류수 TCOD<sub>cr</sub>과 SCOD<sub>cr</sub>의 농도가 각각 11.5 mg/L와 7.3 mg/L로 나타났고, 20°C와 25°C에서는 Mode 3의 방류수 COD<sub>cr</sub> 농도가 제일 낮은 것으로 나타났다. 분석된 TCOD<sub>cr</sub> 농도는 SS 유출로 인한 COD 상승농도가 어느 정도 있기 때문에 입자성 난분해성 COD 농도를 도출하는 것은 무리가 있다고 판단된다. 그러나 온도에 따라 제일 낮은 방류수 SCOD<sub>cr</sub> 농도를 용존성 난분해 COD라고 할 수 있으며, 10°C의 경우 Mode 4에서 7.3 mg/L로, 20°C와 25°C는 Mode 3에서 각각 7.3 mg/L와 7.1 mg/L로 나타난 것을 확인하였다. 모든 실험 조건에서 90% 이상의 생물학적으로 분해가능한 COD가 미생물의 기질로 활용된 것으로 나타났다.

#### 3.2. SRT와 온도 변화에 따른 비기질 소비율(U) 특성

Table 5는 운전기간 동안 각각의 Mode 운전을 통해 도출된 U값을 정리한 것이다. 온도 10°C, 20°C, 25°C에 따라 U값은 Mode 1에서 0.72, 0.79, 0.87 kg TCOD<sub>cr</sub>/kg MLVSS·day, Mode 2는 0.47, 0.51, 0.68 kg TCOD<sub>cr</sub>/kg MLVSS·day, Mode 3은 0.35, 0.42, 0.47 kg TCOD<sub>cr</sub>/kg MLVSS·day, 그리고 Mode 4에서는 0.33, 0.35, 0.43 kg TCOD<sub>cr</sub>/kg MLVSS·day의 평균값을 나타내었다. SRT가 동일한 조건에서 온도가 증가할수록 U값이 증가하는 경향을 나타내었으며, 온도가 동일한 조건에서도 이론적 식이 요구하는 바와 같이 SRT가 증가할수록 U값이 감소하는 경향을 나타내었다. Eckenfelder and Peter(1998)의 연구결과에서도 온도 10~30°C에서 온도에 따라 U값이 증가하는 경향으로 1차 선형방정식 형태를 나타내고 있었으며, 본 연구의 동일한 SRT조건에서의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 Ronald(1997)는 SRT와 F/M비 및 U값과 관련이 있다고 하였으며, 긴 SRT에 의해 미생물이 내생호흡 후에 사멸되며 슬러지 침강성 악화와 반응조내의 총 슬러지 양에 영향을 미친다고 하였으며 본 연구 결과에서도 SRT가 증가할수록 U값이 감소하는 경향을 나타내고 있었다. Samuel and Anjaneyulu(2005)의 연구 결과에서도 1/SRT와 U값의 관계를 선형 1차식으로 표현하고 있었으며, 본 연구 결과인 Fig. 3과 유사한 경향을 나타내고 있었다.

#### 3.3. SRT와 온도 변화에 따른 비산소소비율(SOUR) 특성

본 연구에서 온도와 SRT 변화에 따른 SOUR 특성을 파악하였으며, 그 결과를 Table 5와 Fig. 4에 나타내었으며, 온도와 SRT 변화에 따른 U값의 변화 특성과 매우 유사한 경향을 나타내었다. SRT 5일에서는 온도가 10°C, 20°C, 25°C로 증가할수록 SOUR이 80.7, 86.52, 90.32 (mg O<sub>2</sub>/g MLVSS·hr)로 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 이때의 포기조 MLVSS는 평균으로 각각 1,280, 1,120, 1,100 mg/L로 나타났다.

SRT 10, 20, 30일의 경우도 SRT 5일과 비슷한 경향을 보였으며, 온도가 증가할수록 SOUR이 증가하는 것으로 나

**Table 3.** Removal efficiency with various temperature in the lab. scale reactor

Constituent	10°C			20°C			25°C			
	Influent	Effluent	R.E.	Influent	Effluent	R.E.	Influent	Effluent	R.E.	
Mode 1	pH	7.7	7.6	-	7.7	7.4	-	7.7	7.4	-
	Alk.	130.1	108.0	-	130.5	69.5	-	128.8	67.2	-
	TCOD <sub>cr</sub>	162.8	20.6	87.4	164.0	16.4	90.0	165.8	20.5	87.6
	SCOD <sub>cr</sub>	155.4	14.3	90.8	157.0	12.4	92.3	159.3	14.8	90.7
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	11.3	6.3	44.6	11.0	0.7	94.1	10.5	0.4	95.9
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	1.6	3.6	-	1.4	7.0	-	1.7	8.7	-
	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P	1.3	0.7	46.6	1.2	0.8	34.4	1.1	0.9	22.2
	TSS	-	4.7	-	-	4.8	-	-	5.0	-
Mode 2	VSS	-	3.2	-	-	3.6	-	-	3.9	-
	pH		7.5	-		7.13	-		7.5	-
	Alk.		95.4	-		62.1	-		74.3	-
	TCOD <sub>cr</sub>		16.5	89.9		12.9	92.2		15.8	90.5
	SCOD <sub>cr</sub>		11.05	92.9		7.3	95.4		10.3	93.6
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-	3.2	71.8	-	0.2	97.9	-	0.3	97.3
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		5.8	-		8.4	-		9.2	-
	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P		0.7	43.2		0.9	28.1		0.9	21.2
Mode 3	TSS		3.6	-		3.9	-		7.2	-
	VSS		2.4	-		3.1	-		5.1	-
	pH		7.4	-		7.3	-		7.5	-
	Alk.		65.6	-		61.7	-		68.2	-
	TCOD <sub>cr</sub>		13.0	92.0		11.4	93.1		11.8	92.9
	SCOD <sub>cr</sub>		7.1	95.4		7.3	95.4		7.1	95.5
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-	0.2	98.1	-	0.5	95.3	-	0.2	98.6
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		8.0	-		8.3	-		9.4	-
Mode 4	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P		0.8	40.2		1.0	18.6		0.9	21.3
	TSS		3.3	-		3.7	-		5.8	-
	VSS		2.2	-		2.8	-		3.8	-
	pH		7.3	-		7.3	-		7.3	-
	Alk.		62.3	-		60.7	-		54.8	-
	TCOD <sub>cr</sub>		11.5	93.0		17.2	89.5		12.9	92.2
	SCOD <sub>cr</sub>		7.3	95.3		12.3	92.2		9.4	94.1
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-	0.4	96.8	-	0.4	96.2	-	0.2	98.4
Mode 4	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		9.2	-		9.2	-		10.7	-
	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P		0.7	42.1		0.8	35.8		1.0	11.7
	TSS		3.5	-		5.4	-		5.4	-
	VSS		2.0	-		4.0	-		3.7	-

**Table 4.** Specific substrate utilization rate with the variation of SRT and temperature

SRT (day)	U (kg TCOD <sub>cr</sub> /kg MLVSS-day)								
	10°C			20°C			25°C		
	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
Mode 1	0.594	0.822	0.72	0.745	1.105	0.79	0.566	1.087	0.87
Mode 2	0.394	0.523	0.47	0.460	0.592	0.51	0.537	1.0	0.68
Mode 3	0.314	0.396	0.35	0.337	0.543	0.42	0.395	0.610	0.47
Mode 4	0.267	0.329	0.33	0.313	0.411	0.35	0.466	0.641	0.43

**Table 5.** The mean value of SOUR with the variation of SRT and temperature

SRT (day)	SOUR (mg O <sub>2</sub> /g MLVSS·hr)		
	10°C	20°C	25°C
5	80.70	86.52	90.32
10	57.43	67.87	69.02
20	50.10	54.70	57.24
30	47.27	52.29	54.44

타났다. 그리고 같은 온도 조건에서 SRT가 증가할수록 SOUR이 감소하는 것을 확인하였으며, SRT 5일, 온도가 25°C일 때 SOUR이 가장 높은 것으로 나타났다. SRT가 길어질수록 미생물은 유기물이 한정되어 있는 상태이기 때문에 내생호흡 후 사멸하게 되며, 이에 따라 SOUR값이 감소한다고 하고 있으며(Ronald, 1997), 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있었다.

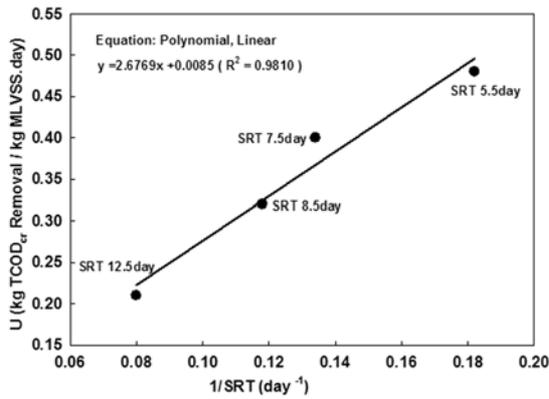


Fig. 3. The relationship between SRT and U at 20°C.

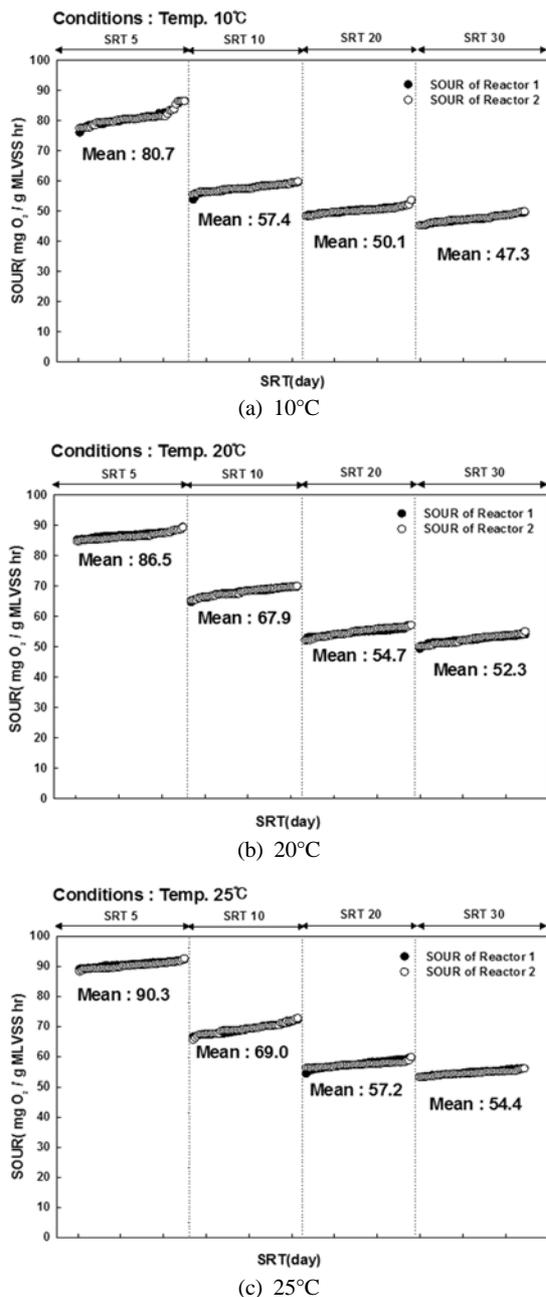


Fig. 4. The relationship between SRT and SOUR at various temperature.

### 3.4. SRT와 온도 변화에 따른 SOUR과 U 값의 상관관계

Lab. scale 반응기 실험을 통한 SRT와 온도 변화에 따른 특성은 Fig. 5에 도시하였고, 온도 변화에 따른 SOUR과 U 값의 상관관계를 Fig. 6에 나타내었다. 온도와 SRT 변화에 따른 SOUR 변화는 Guarino(1976) 연구결과와 마찬가지로 온도가 증가하고, SRT가 감소할수록 SOUR이 증가하고, 반대 조건의 경우에는 SOUR이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 온도와 SRT 변화에 따른 U값도 이와 매우 유사한 경향을 나타내었다.

Horan(1998)은 공정 운전 인자로서 F/M비와 SRT를 사용할 수 있다고 주장하였으며, 유입 특성에 따라 주요 운전 인자를 선택해야 한다고 기술하였으며, F/M비나 SRT는 공정의 특성에 따라 적용 범위가 제한될 수 있으므로, 기타 운전 인자도 가능한 한 동시에 고려해야 한다고 하였다. 또한 최소한의 SRT( $\theta_c^{min}$ ) 이상으로 운전되는 공정에서는 F/M비와 U의 차이는 근소하다고 주장하였다. 따라서, SRT, U, SOUR의 온도에 따른 상관관계를 통하여 SOUR을 공정설계를 위한 하나의 검토 인자로서 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

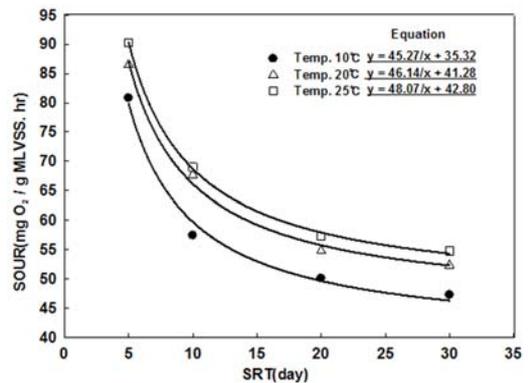


Fig. 5. The relationship between SRT and SOUR at various temperature.

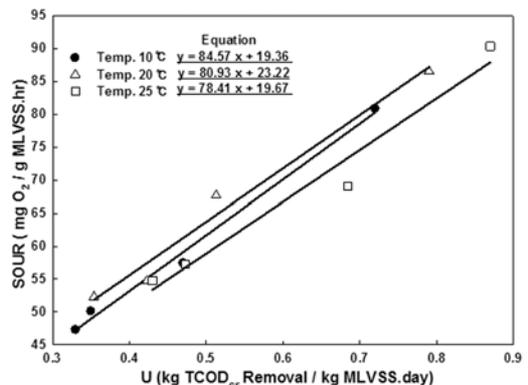


Fig. 6. The relationship between U and SOUR at various temperature.

### 3.5. SOUR을 이용한 포기조 설계식 유도 및 적용

#### 3.5.1. SOUR과 U의 미생물 동력학적 유도

비기질소비율과 비성장율의 관계를 아래의 식 (1)과 같이

정리하면 단위 미생물이 생성되며 소비되는 유기물 양(m)과 단위 미생물이 하루 동안 유지하기 위하여 기본적으로 필요로 하는 유기물 소비량(n)을 이용하여 나타낼 수 있으며, 이 관계를 식 (2)에 나타낸 바와 같이 SOUR과 비성장율의 관계식을 쓸 수 있다(Benefield et al., 1975).

$$U = m\mu + n \tag{1}$$

$$SOUR = a\mu + b \tag{2}$$

여기서, SOUR = 단위 미생물량당 산소소비율  
 a = 단위 미생물량당 합성에 필요한 산소에너지  
 b = 단위 미생물량당 필요한 내생산소계수

정상상태의 BOD와 질소를 제거하는 공정에서는  $\frac{1}{\theta_c^m} = \mu_n = \mu$  (Mikkell and Bruce, 1982)인 점을 이용하여 순성장률( $\mu_n$ )로부터  $\theta_c^m$ 을 추정하고, 해당되는 값의 SOUR을 아래 식 (3)과 같이 정리하여 최소한의 미생물체류시간( $\theta_c^m$ )과 SOUR과의 관계를 도출할 수 있다.

$$SOUR = \frac{a}{\theta_c^m} + b \tag{3}$$

또한, 비기질소비율(U)과 SOUR과의 관계를 도출하기 위하여 식 (2)를 순성장률( $\mu$ )에 대하여 변형하면 다음과 같다.

$$\mu = \frac{SOUR - b}{a} \tag{4}$$

식 (4)를 식 (1)에 대입하면,

$$SOUR = \frac{a}{m} \cdot U + (b - a\frac{n}{m}) \tag{5}$$

식 (5)와 같이 정리할 수 있다.

따라서 제한하는 설계식에 의한 포기조 용량 설계는 단일 반응조에서 유기물 제거와 질산화를 동시에 수행하는 일반적인 포기조 식에 사용되는 비기질소비율(U)을 비산소소비율(SOUR)이 고려된 비기질소비율(U)로 대입하여 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{S_0 - S}{U \cdot \bar{X}} \Rightarrow \theta' = \frac{S_0 - S}{U' \cdot \bar{X}} \tag{6}$$

여기서,  $\theta$  = 미생물 동력학식에 의거한 포기조 체류시간  
 U = 단위 미생물량당 제거되는 기질량  
 $\theta'$  = 비산소소비율(SOUR)이 적용된 포기조 체류시간

3.5.2. SOUR을 이용한 공법별 포기조 설계 적용

Table 6. Empirical formula of relationship between SOUR and SRT at various temperature conditions

	$SOUR = \frac{a}{\theta_c^m} + b$
10°C	$SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = \frac{45.27}{\theta_c^m} + 35.32$
20°C	$SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = \frac{46.14}{\theta_c^m} + 41.28$
25°C	$SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = \frac{48.07}{\theta_c^m} + 42.8$

Table 7. Empirical formula of relationship between SOUR and U at various temperature conditions

	$SOUR = \frac{a}{m} \cdot U + (b - a\frac{n}{m})$
10°C	$SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = 84.57 \cdot U + 19.36$
20°C	$SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = 80.93 \cdot U + 23.22$
25°C	$SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = 78.41 \cdot U + 19.67$

SOUR과 SRT, U와의 상관관계를 이용하여 위에서 유도된 관계식을 Table 6과 7에 나타내었다. SOUR과 SRT의 관계를 통해  $SOUR = \frac{a}{\theta_c^m} + b$ 의 실험식을 도출하였으며, 온도가 증가함에 따라 상수 a, b의 값이 증가하는 것으로 나타났다. SOUR과 U의 상관관계를 통해 실험식  $SOUR = \frac{a}{m} \cdot U + (b - a\frac{n}{m})$ 을 도출하였으며, 온도에 따라 실험식이 다르게 나타났다.

앞에서 유도된 결과 식을 실제 설계에 적용하는 것을 검토하면 Table 6과 Table 7에 나타낸 SOUR과 SRT, SOUR과 U의 상관관계식을 다음과 같은 순서로 설계할 수 있도록 정리하였다. 생물학적 폐수처리에서 질산화까지 고려된 포기조 설계를 위한 비성장률을 고려한 포기조 설계식은 기존 설계 조건으로부터 식 (7)을 이용한 nitrosomonas의 성장률  $\mu_n$ (Mikkell and Brruce, 1982)을 결정하고

$$\mu_n = 0.47 e^{0.098(T-15)} \times \frac{N}{N+10^{0.051T-1.158}} \times \frac{DO}{K_{O_2} + DO} \times [1 - 0.8333(7.2 - pH)] \tag{7}$$

식 (7)로부터 계산되어진  $(\mu_n)_{max}$ 를 이용하여  $\theta_c^m$ 을 도출한다(Benefield et al., 1975).

$$\theta_c^m = \frac{1}{\mu_n} \tag{8}$$

온도 변화에 따른  $\theta_c^m$ , SOUR, U 상관관계를 통해 도출된 실험식  $SOUR = \frac{a}{\theta_c^m} + b$ 과  $SOUR = \frac{a}{m} \cdot U + (b - a\frac{n}{m})$ 에 설계 온도와 SRT를 대입하여 SOUR을 결정하고, 두 번

**Table 8.** The design factor of typical processes (Eckenfelder and Peter, 1998; Metcalf and Eddy, 2001; Mikkil and Bruce, 1982)

	Activated sludge	A <sup>2</sup> /O	MLE	Extended aeration
MLSS (mg/L)	1,500~3,000 (2,000)	2,000~5,000 (2,500)	2,000~4,000 (3,000)	3,000~6,000 (3,000)
Y	0.4~0.8 (0.6)	0.5~0.75 (0.5)	0.4~0.65 (0.45)	0.35~0.45 (0.4)
HRT (hr)	4~8	3.5~6.5	4.5~13	18~36
SRT (day)	5~15 (5)	4~27 (10)	10~40 (20)	20~30 (30)
Empirical formula	$SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = \frac{45.27}{\theta_c^m} + 35.32$ , $SOUR(mg\ O_2/mg\ MLVSS \cdot hr) = 84.57 \cdot U + 19.36$			

**Table 9.** Comparison of the aeration tank HRT between the existing design and the new design with SOUR

Constituent	Type of process			
	Activated sludge	A <sup>2</sup> /O	MLE	Extended aeration
General design (hr)	5.62	6.24	6.38	6.70
New design (hr)	4.61	5.35	5.81	6.43
Volume difference (%)	18.10	14.26	9.02	3.94

제 식에 대입하여 U를 결정하여 U'로 한다. SOUR이 적용된 U'를 식 (9)에 대입하여 체류시간( $\theta$ )를 결정한다.

$$\theta' = \frac{S_0 - S}{X \cdot U} \tag{9}$$

따라서, 도출된 식 (9)를 포기조 설계에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, SOUR을 이용한 포기조 설계법의 한 예를 검토하기 위하여 활성슬러지, A<sup>2</sup>/O, MLE, 장기폭기 등의 공정을 선정하였고, Table 8에 있는 각 공정의 설계인자 중 괄호 속에 있는 인자를 대표값으로 하여 포기조 설계를 실시하였다. 유량은 100 m<sup>3</sup>/day이고, 유입수 및 방류수 BOD는 각각 200 mg/L와 5 mg/L로 설정하였고, 온도는 10°C로 설정하여 Table 8과 같이 본 연구에서 도출된 경험식을 활용하였다. 또한 내생감소계수(K<sub>d</sub>)와 반속도상수(K<sub>02</sub>)는 각각 0.05 day<sup>-1</sup>와 1.3 mg/L를 설계에 이용하였다.

Table 9에 대표적인 공정 4가지에 대해 본 연구를 통해 도출된 경험식을 활용한 새로운 설계법과 기존에 설계하는 방식으로 포기조를 설계한 결과를 나타내었다. 4가지 공정 모두 포기조의 HRT가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 공정별로는 활성슬러지 공정의 포기조 용적이 18.1%로 제일 크게 감소하였다. SOUR을 이용한 포기조 설계법을 활용하여 설계를 할 경우 기존의 설계방식보다 포기조 체류시간이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 온도와 SRT 변화에 대한 SOUR을 상관관계를 이용하여 포기조 설계식에 새롭게 접근하는 시도에 의의가 있는 것으로 판단되며, 실제 현장에서 적용되기 위해서는 하수를 이용하여 추가적인 연구가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 온도와 SRT변화에 따른 SOUR과 U의 상관관계를 해석하여, 온도에 따른 SOUR과 SRT, SOUR과 U에 대한 실험식을 도출하였고, 새로운 설계 동역학식 유도를 통해 실험식을 적용하여 포기조 설계식을 평가하였으

며, 또한 기존 설계식과의 비교 평가를 위해 공법별로 포기조 설계를 실시하여 비교검토를 수행하였다.

- 1) SOUR은 U, SRT, 온도와의 특정 함수형태의 상관관계를 가지고 있으며, 온도가 증가함에 따라 증가하고, SRT가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 온도가 25°C이고, SRT가 5일일 때 90.32 mg O<sub>2</sub>/g MLVSS·hr로 제일 높은 것으로 나타났다. 또한 U값은 온도가 증가하고, SRT가 감소할수록 높은 경향을 나타내었으며, SOUR의 경향과 같은 결과를 나타내었다.
- 2) SOUR과 SRT의 회귀분석을 통해 10°C, 20°C, 25°C에서 방정식  $y=45.27/x+35.32$ ,  $y=46.14/x+41.28$ ,  $y=48.07/x+42.80$ 를 각각 도출하였으며,  $SOUR = \frac{a}{\theta_c^m} + b$  형태의 실험식을 유도하여 적용하였으며, SOUR과 U의 상관관계를 통해 선형방정식  $y=84.57x+19.36(10^\circ C)$ ,  $y=80.93x+23.22(20^\circ C)$ ,  $y=78.41x+19.67(25^\circ C)$ 를 도출하여,  $SOUR = \frac{a}{m} \cdot U + (b - a \frac{n}{m})$ 의 실험식에 적용하여 포기조 설계에 활용할 수 있는 새로운 설계법을 도출하였다.
- 3) SOUR을 이용한 설계식과 기존 설계식의 공법별 체류시간을 비교 검토한 결과 활성슬러지, A<sup>2</sup>/O, MLE, 장기폭기 공정에서의 포기조 체류시간이 줄어드는 실용적인 설계가 가능하며, 각각 18.1%, 14.26%, 9.02%, 3.94%의 체적 감소 효과를 나타내었다.
- 4) SOUR을 이용한 설계는 유입 기질의 특성과 포기조 수온에 따른 미생물 활성도를 고려한 설계방법으로 유입 부하변동이 심하고, 계절별 온도 편차가 뚜렷한 국내 하수처리장 포기조 설계에 적용이 가능할 것으로 판단되지만, 현장 적용성을 향상시키기 위해서는 하수를 이용한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

### 사 사

본 연구는 경기대학교 연구년 과제(2006년 9월 1일~2007년 8월 31일)로 경기대학교의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 이태환, 박민혜, 이보미, 허진, 양희정(2009). 하·폐수 처리 시설 내 유입수 특성이 유기물 처리효율에 미치는 영향. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(5), pp. 674-681.
- 환경부(2007). *하수도시설기준*. 한국상하수도협회.
- 환경부(2008). *운영관리 실태조사 결과*.
- APHA, AWWA, WEF. (2005). *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., Whashington DC.
- Benefield, L. D., Randall, C. W., and King, P. H. (1975). Process control by oxygen-uptake and solids analysis. *Journal WPCF*, **47**(10), pp. 289-293.
- Eckenfelder, W. W. and Peter, G. (1998). *Activated Sludge Process Design and Control Theory and Control Theory and Practice*. **1**, Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania.
- Guarino, C. F. (1976). *Operation of Wastewater Treatment Plants*, **MOP/11**, WPCF, Washington, D. C.
- Horan, N. J. (1998). *Biological Wastewater Treatment System, Theory and Operation*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Metcalf and Eddy (2001). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Third Edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Mikkil, G. M. and Bruce, A. B. (1982). *Oxidation Ditches In Wastewater Treatment*, Ann Arbor Science Publishers, USA.
- Ronald, L. D. (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Samuel, D. S. R. and Anjaneyulu, Y. (2005). Evaluation of biokinetic parameters for pharmaceutical wastewater using aerobic oxidation integrated with chemical treatment. *Process Biochemistry*, **40**, pp. 165-175.