

A/O공정에서 슬러지체류시간에 따른 인 방출 및 섭취속도와 비산소소비율과의 상관관계

최정수 · 이광현[†] · 주현종^{*} · 김성철^{**}

경기대학교 일반대학원 환경에너지시스템공학과

^{*}경기대학교 환경에너지시스템공학과

^{**}(주) 젠트로

The Relationship of Specific Phosphorus Release / Uptake Rate and Specific Oxygen Uptake Rate considering the Sludge Retention Time in the A/O Process

Jung Soo Choi · Kwang Hyun Lee[†] · Hyun Jong Joo^{*} · Sung Chul Kim^{**}

Department of Environmental Energy System Engineering, Graduate School Kyonggi University

^{*}Department of Environmental Energy System Engineering, Kyonggi University

^{**}Gentro Co., Ltd

(Received 2 December 2009, Revised 9 February 2010, Accepted 18 February 2010)

Abstract

The purpose of this study is to derive the correlation between the Specific Phosphorus Release Rate (SPRR), Specific Phosphorus Uptake Rate (SPUR) and Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR) at various Sludge Retention Time (SRT) condition in the A/O process. The laboratory scale reactor was operated on various SRT (10 day, 20 day, 30 day, 40 day). In this study, the SPRR, SPUR and SOUR tended to decrease with the SRT increase. Empirical equations was obtained $y = 4.54E-006x^2 + 0.0007x - 0.0315$, $R^2 = 0.925$ (SOUR vs. SPRR) and $y = 3.22E-006x^2 + 0.0004x - 0.0173$, $R^2 = 0.928$ (SOUR vs. SPUR) from the relationship between SRT, SPRR and SPUR and SOUR. Therefore, the anaerobic tank design based on the research result such as SPRR, SPUR of a phosphorus design and SOUR would be possible.

keywords : Phosphorus removal, Sludge retention time, Specific oxygen uptake rate, Specific phosphorus release rate, Specific phosphorus uptake rate

1. 서론

현재 수질오염총량제도 1단계 추진 방향 시 유기물질의 적정 배출량 산정 및 관리 방법에만 국한되었던 정책에서 총 인(T-P)에 대한 총량관리계획이 수립되면서 효율적인 인 처리 측면이 필요하게 되었다(환경부, 2007).

또한 하수처리시설 방류수 수질 기준 역시 2008년 1월 1일부터 특별 지역 방류수 수질 기준인 BOD₅ 10 mg/L, SS 10 mg/L, COD_{Mn} 20 mg/L, T-N 20 mg/L, T-P 2 mg/L로 강화되었다.

생물학적인 방법을 통해 인 제거를 할 경우 슬러지체류시간(Sludge Retention Time, SRT)과 인 방출 속도(Specific Phosphorus Release Rate, SPRR) 및 인 과잉 섭취 속도(Specific Phosphorus Uptake Rate, SPUR)를 고려하여 혐기조 체류시간을 결정해야 하지만, 기존의 설계 방법은 혐기조의 수리학적 체류시간을 약 1~2 시간 범위 내에서 고정하여 설계·시공함으로써 안정적인 인 제거효율을 확보하기

어려운 실정이다. 또한 현재 유기물 및 질소 제거를 위한 미생물 활성화도 연구는 실 처리장에 적용되어 높은 수준까지 진행되고 있지만 인 제거를 위한 미생물 활성화도 연구결과는 미흡한 실정이다.

이러한 인 제거 필요성에 따라 본 연구의 목적은 A/O 공정에서 SRT를 중간 변수로 하여 SPRR 및 SPUR과 미생물 활성화도의 상관관계를 도출함에 있으며, 미생물 활성화도는 미생물이 용존산소(DO)를 섭취하는 정도를 나타내는 비산소소비율(Specific Oxygen Uptake Rate, SOUR)을 이용하여 측정하였다.

이에 따른 본 연구의 절차로 첫째, SRT에 따른 SPRR, SPUR과의 관계, SRT에 따른 SOUR과의 관계를 문헌조사를 통해 살펴보았다. 문헌조사 결과 SRT가 증가함에 따라 SPRR, SPUR 및 SOUR은 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 둘째, SPRR, SPUR과 SOUR과의 상관관계에 관한 기존연구 결과가 없는 실정이므로 둘과의 관계를 가설로 수립하여 연구하였다. 즉 SRT 감소에 따라 미생물 활성화도의 간접적인 지표인 비산소소비율은 증가하게 될 것이며 이러한 증가는 SPRR, SPUR 인자에도 영향을 줄 것이라는 가설이다. 이러한 가설을 토대로 SOUR이 인 제거 인자인

[†] To whom correspondence should be addressed.
kwang0513@hanmail.net

SPRR 및 SPUR 사용 시 간접적인 지표로 사용 가능한지를 판단하는데 연구 목적을 두었다.

2. 연구방법

2.1. 실험 장치

본 연구에 사용된 반응기의 구성 및 형태는 Fig. 1의 (a)에 나타내었으며, 실험실 규모의 반응기는 생물학적인 제거에 보편적으로 사용되어지는 A/O 공정을 선택 운전하였다.

반응기는 혐기조 8.1 L, 포기조 18.6 L로 설계하였으며, 수리학적 체류시간은 혐기조 1.9 hr, 포기조 4.5 hr로 운전하였다.

또한 산소소비율 측정 장치의 구성은 Fig. 1의 (b)에 나타낸 바와 같이 기질, 슬러지, 세척용수 투입, 산소소비율 측정 반응기, DO 측정기 등과 전체 시스템을 통제하는 Programmable Logic Controller(PLC) 제어프로그램으로 구성하였다.

2.2. SRT에 따른 SPRR 및 SPUR 도출

본 연구에 사용된 유입수는 CH_3OH , CH_3COONa , NH_4Cl , KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , NaHCO_3 를 이용하여 만든 합성폐수이며, 유입수 기질 농도는 CH_3OH 100 mg/L, CH_3COONa 150 mg/L로 설정하였다. 질소 농도는 NH_4Cl 20 mg/L, 인 농도는 KH_2PO_4 (2.5 mg/L)와 K_2HPO_4 (2.5 mg/L)를 사용하여 5 mg/L로 설정하였다. 필요한 알칼리도는 NaHCO_3 를 사용하여 50 mg/L as CaCO_3 로 맞추어 공급하였다. 설정되어진 합성폐수를 이용하여 운전한 유입수 성상을 Table 1에 나타내었다. 유입유량은 100 L/day, 슬러지 반송은 1 Q로 모든 운전조건에서 동일하게 설정하였고, 포기조의 DO 농도는 1.0~2.5 mg/L로 유지하였다. F/M비와 C/N비는 각각 운전 기간 동안 평균 0.37 g $\text{TCOD}_{\text{Cr}}/\text{g MLVSS}\cdot\text{day}$ 와 12.76 g

Table 1. Characteristics of influent in the lab. scale reactor (SRT : 10~40 day)

Constituent	Influent concentration (mg/L, except pH)		
	Min.	Max.	Ave.
pH	7.28	7.89	7.70
Alk	152.0	274.0	192.4
TCOD_{Cr}	237.0	274.8	250.8
SCOD_{Cr}	229.8	274.8	245.3
$\text{NH}_3\text{-N}$	16.8	20.9	19.8
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	4.4	5.3	5.0

$\text{TCOD}_{\text{Cr}}/\text{g NH}_3\text{-N}$ 으로 나타났다. SRT에 따른 SPRR 및 SPUR과 SOUR과의 상관관계를 도출하기 위해 SRT를 10, 20, 30, 40 day로 설정하여 운전하였다.

2.3. SRT에 따른 SOUR 측정

측정 장치로부터 전송받은 산소소비율 결과 값은, 슬러지 유입, 기질 유입, 교반, 배출 및 세척의 측정 순환 사이클로부터 실시간 DO 농도 분석을 통하여 이루어진다. 산소소비율에 대한 정보는 5분 간격으로 측정된 DO 농도의 수치들 중 미생물이 기질을 소비하면서 얻어진 부분의 변화된 수치를 사용한다. Fig. 2에 나타낸 그래프는 본 프로그램 실행 중 산소소비율에 대한 정보를 제공하는 연산 작업의 예이다. Fig. 2(a)는 5분 단위로 산소소비율 측정 반응기 내 Polarographic 타입의 DO probe (YSI 5905/5010/200)를 통하여 슬러지 유입, 기질 유입, 교반, 배출 및 세척 시 측정된 DO 농도의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 2(b)는 측정된 DO 농도 수치 중 유효한 값을 얻는 과정이며 본 실험 중 유효한 값은 기질이 주입되어 DO 농도가 감소하는 구간부터 1 mg/L로 되는 지점까지로 설정하였다. Fig. 2(c)는 회귀분석을 이용하여 산소소비율을 얻는 과정을 나타낸 것이다.

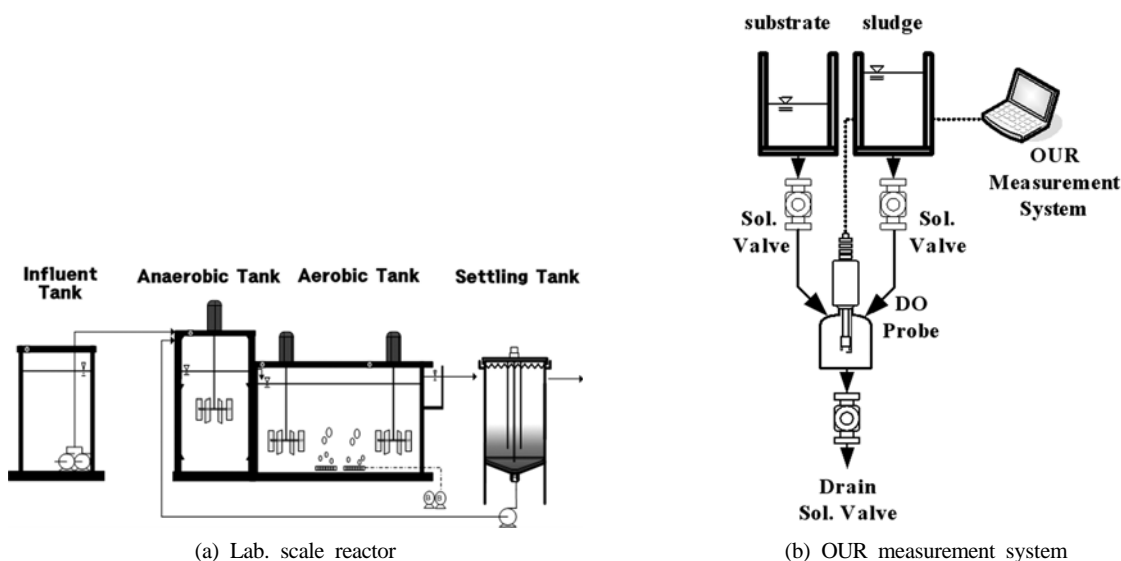


Fig. 1. Schematic diagram of lab. scale reactor (a) and OUR measurement system (b).

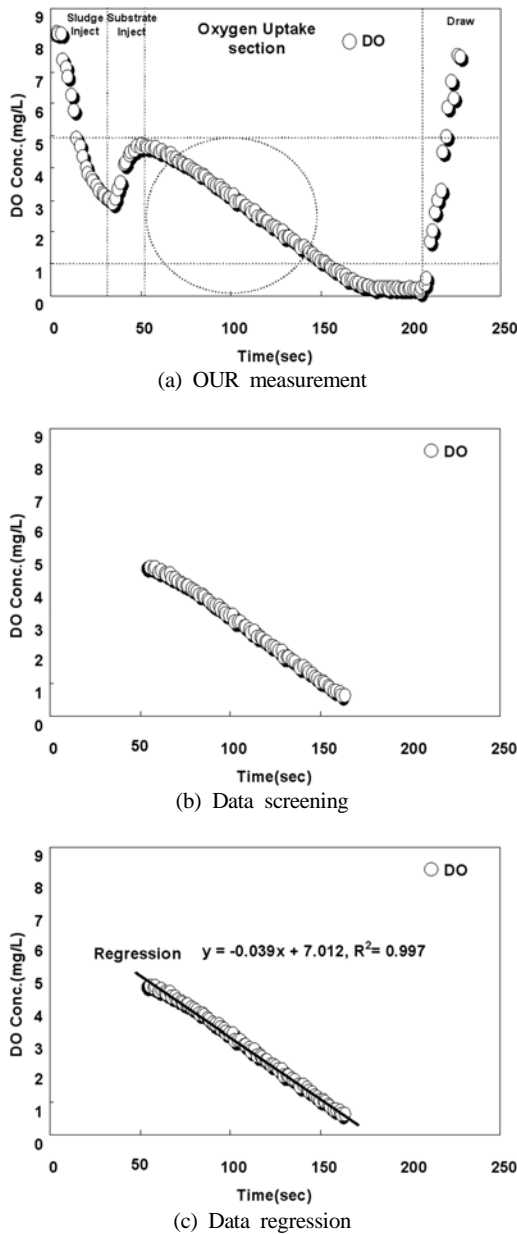


Fig. 2. Measurement of oxygen uptake rate, data screening and data regression.

2.4. 수질 분석 방법

시료 채수는 매일 동일한 시간에 실시하였으며 시료의 항목별 분석 방법은 Standard Methods (APHA, 2005)에 준하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. SRT에 따른 공정운전 결과

해당 모드별 운전 결과를 Table 2에 나타내었으며, 조건별 SRT에 따라 동일한 원수조건하에 운전하였다. 반응조의 MLVSS는 SRT 10, 20, 30, 40일에서 평균 1,758~3,429 mg/L로 운전되었으며, MLVSS/MLSS비는 각각 0.68, 0.73, 0.82, 0.87로 나타났다.

COD_{Cr}의 경우 유입 TCOD_{Cr}이 SRT 10, 20, 30, 40일에서 각각 평균 251.5, 250.2, 248.8, 250.8 mg/L로 나타났으며, 방류 TCOD_{Cr}이 각각 평균 12.3, 12.0, 9.2, 7.4 mg/L로 95.1, 95.2, 96.3, 97.0%의 평균 제거효율을 보였다. SRT에 따른 COD_{Cr}의 제거효율은 전반적으로 안정적인 수치를 보였다.

PO₄³⁻-P의 경우 유입 농도가 SRT 10, 20, 30, 40일에서 각각 평균 5.0, 5.1, 4.9, 4.9 mg/L로 나타났으며, 방류 PO₄³⁻-P가 각각 평균 0.18, 0.52, 3.50, 4.30 mg/L로 96.4, 89.8, 28.6, 12.2%의 평균 제거효율을 보였다. 유입수, 혐기조, 포기조, 방류수 순으로 PO₄³⁻-P의 농도 변화를 Fig. 3, 4, 5, 6에 나타내었다. SRT에 따른 PO₄³⁻-P의 제거효율은 SRT가 증가할수록 낮아지는 것을 볼 수 있었다. Maier (1984)의 Pilot plant를 이용한 인 제거 연구에서 SRT가 30일 이상에서 인 제거 효율이 급격히 저하하는 것을 볼 수 있었으며, 본 연구 결과에서도 SRT가 20일에서 30일로 운전 시 89.8%에서 28.6%로 인 제거효율이 급격히 저하하는 것으로 나타났다. 이는 SRT의 증가로 인해 인 관련 미생물들의 활성도 저하로 인한 것으로 판단되어진다. 따라서 SRT는 생물학적 인 제거에 있어서 중요한 인자로 사용되어질 수 있으며 또한 이와 같은 결과를 토대로 SPRR 및 SPUR과의 특성을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2. Removal efficiency in the lab. scale reactor (08. 06 ~ 09. 05)

Constituent	Influent (mg/L)			Effluent (mg/L)			Removal Efficiency (%)			
	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	
SRT 10 (08. 06 ~ 08. 08)	TCOD _{Cr}	237.3	274.8	251.5	5.3	35.8	12.3	97.8	87.0	95.1
	SCOD _{Cr}	229.8	274.8	244.0	4.8	32.3	11.9	97.9	88.2	95.1
	PO ₄ ³⁻ -P	4.7	5.3	5.0	0.01	0.74	0.18	99.8	86.0	96.4
SRT 20 (08. 09 ~ 08. 11)	TCOD _{Cr}	240.3	272.5	250.2	2.8	24.8	12.0	98.8	90.9	95.2
	SCOD _{Cr}	230.8	270.2	244.5	2.3	22.3	11.1	99.0	91.7	95.5
	PO ₄ ³⁻ -P	4.7	5.2	5.1	0.07	0.75	0.52	98.5	85.6	89.8
SRT 30 (08. 12 ~ 09. 02)	TCOD _{Cr}	238.3	268.3	248.8	2.8	19.3	9.2	98.8	92.8	96.3
	SCOD _{Cr}	232.5	262.3	241.5	2.3	17.3	8.4	99.0	93.4	96.5
	PO ₄ ³⁻ -P	4.4	5.1	4.9	3.2	3.8	3.5	27.3	25.5	28.6
SRT 40 (08. 03 ~ 09. 05)	TCOD _{Cr}	245.3	258.3	250.8	3.3	14.3	7.4	98.7	94.5	97.0
	SCOD _{Cr}	240.3	251.8	243.3	2.8	12.3	7.0	98.8	95.1	97.1
	PO ₄ ³⁻ -P	4.7	5.1	4.9	4.1	4.6	4.3	12.8	9.8	12.2

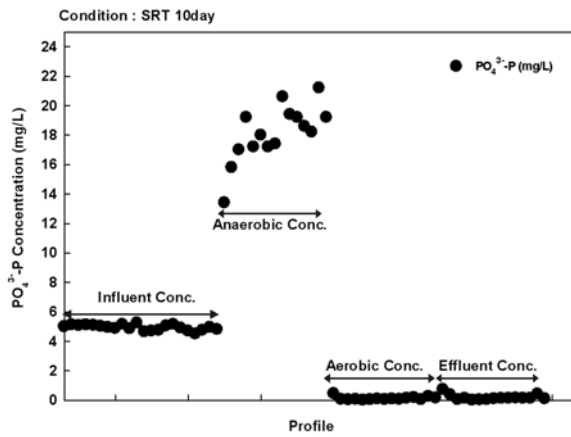


Fig. 3. Profile of PO_4^{3-} -P concentration in the SRT 10 day.

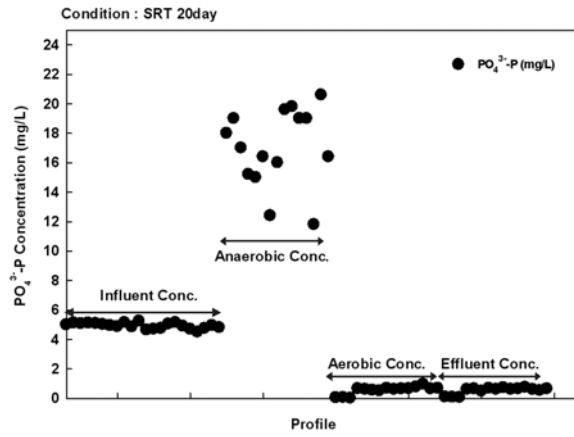


Fig. 4. Profile of PO_4^{3-} -P concentration in the SRT 20 day.

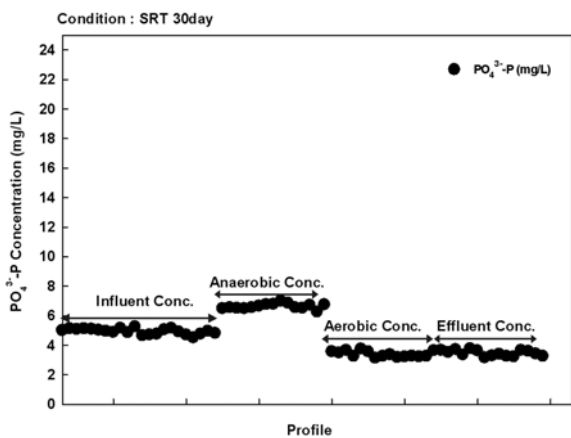


Fig. 5. Profile of PO_4^{3-} -P concentration in the SRT 30 day.

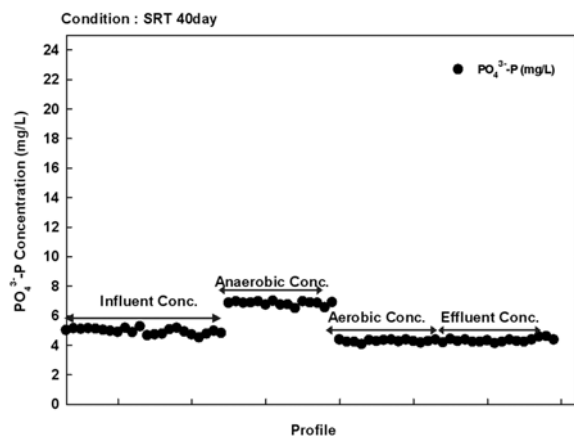


Fig. 6. Profile of PO_4^{3-} -P concentration in the SRT 40 day.

3.2. SRT에 따른 SPRR 및 SPUR 특성

Table 3은 운전기간 동안 도출된 U, 먹이-미생물(Food-to-Microorganism, F/M) 비, SPRR, SPUR값을 정리한 것이다.

SRT 10, 20, 30, 40 day에 따라 SPRR는 평균 0.091, 0.055, 0.007, 0.006 mg P release/mg MLVSS·day로 나타났으며, SRT가 증가할수록 SPRR는 감소하는 경향을 보였다.

Rodrigo(1996)의 SRT와 SPRR와의 연구에서도 SRT가 증

가함에 따라 인 방출에 관여된 박테리아의 분포가 감소하며 SPRR이 낮아진다는 결과를 나타내고 있으며, 본 연구 결과인 Fig. 7과 유사한 경향을 보이고 있다.

SRT 10, 20, 30, 40 day에 따라 SPUR은 평균 0.057, 0.033, 0.005, 0.004 mg P uptake/mg MLVSS·day로 나타났으며, SRT가 증가할수록 SPRR과 마찬가지로 SPUR 또한 감소하는 경향을 보였으며 Fig. 8과 같이 나타내었다.

Table 3. The phosphorus design parameters with variation of SRT

A/O Process		Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
U (mg TCOD _C /mg MLVSS·day)	Min.	0.525	0.397	0.403	0.360
	Max.	0.983	0.616	0.445	0.404
	Ave.	0.743	0.474	0.419	0.379
F/M (mg TCOD _C /mg MLVSS·day)	Min.	0.389	0.288	0.295	0.261
	Max.	0.740	0.453	0.328	0.294
	Ave.	0.553	0.355	0.305	0.275
SPRR (mg P release/mg MLVSS·day)	Min.	0.052	0.033	0.007	0.005
	Max.	0.115	0.078	0.008	0.007
	Ave.	0.091	0.055	0.007	0.006
SPUR (mg P uptake/mg MLVSS·day)	Min.	0.034	0.023	0.005	0.003
	Max.	0.078	0.044	0.006	0.004
	Ave.	0.057	0.033	0.005	0.004

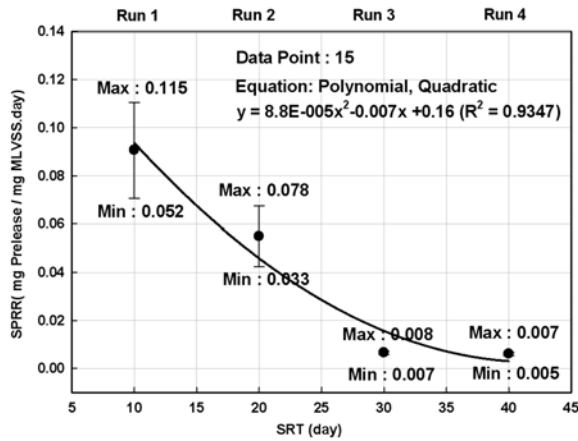


Fig. 7. The relationship between SRT and SPRR.

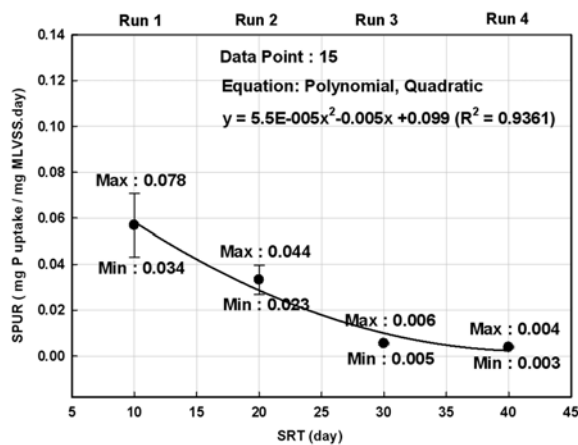


Fig. 8. The relationship between SRT and SPUR.

이는 Maier(1984) 연구 중 SRT가 증가함에 따라 F/M 비가 0.2 kg BOD/kg MLVSS·day에서 0.1 kg BOD/kg MLVSS·day로 감소되어, 결국 포기조 슬러지의 SPUR이 MLVSS당 5.7에서 2.6의 비율로 감소한 인 제거 실험과 유사한 결과를 도출하였다. 또한 김광수 등(2002)의 연구에서 SRT를 8, 15, 23 day로 운전한 결과 F/M 비가 0.47, 0.35, 0.20으로 감소하였다. SRT 8일로 운전하였을 경우 인의 방출 및 섭취가 원활히 진행되었으며, SRT 23일로 운전하였을 경우에는 인의 방출 및 섭취가 감소한다는 연구 결과와 F/M 비가 SRT 증가에 따라 0.553, 0.355, 0.305, 0.275로 감소하고, 동시에 인 방출 및 섭취 또한 감소하는 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타냈다.

3.3. SRT에 따른 SOUR과의 상관관계

본 연구에서 SRT 변화에 따른 SOUR 특성을 파악하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었으며, SRT 변화에 따른 SPRR 및 SPUR 변화 특성과 매우 유사한 경향을 보였다.

SRT를 10, 20, 30, 40 day로 하여 운전한 결과 평균 SOUR 값은 각각 106.75, 75.41, 54.71, 37.90 mg O₂/g MLVSS·hr로 측정되었으며 SRT가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

이는 Huang and Cheng(1984)의 연구에서 SRT가 증가할

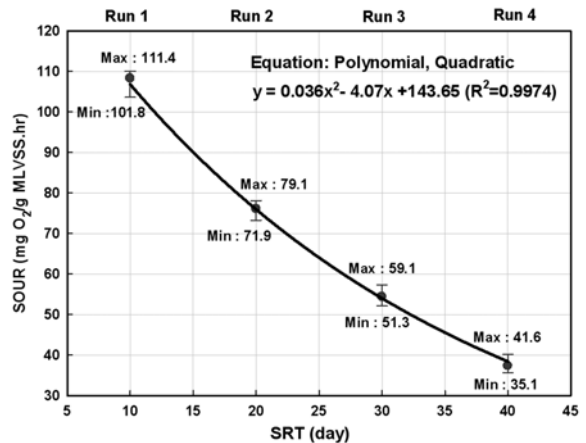


Fig. 9. The relationship between SRT and SOUR.

수록 미생물의 비기질 이용율(Specific Substrate Utilization Rate, U) 감소에 따라 SOUR이 감소한다는 결과와 SRT가 길어질수록 미생물은 유기물이 한정되어 있는 상태이기 때문에 내생호흡 후 사멸하게 되며, 이에 따라 SOUR 값이 감소한다고 하고 있으며(Ronald, 1997), 본 연구 결과에서도 SRT가 길어질수록 SOUR 값이 감소하는 것을 볼 수 있었다.

3.4. SRT에 따른 SPRR 및 SPUR과 SOUR과의 상관관계

SRT에 따른 SPRR과 SOUR에 대한 특성은 Fig. 10에 도시하였고, SRT에 따른 SPUR과 SOUR에 대한 특성은 Fig. 11에 정리하였다.

SRT에 따른 SPRR과 SOUR의 상관관계는 Rodrigo(1996)와 Huang and Cheng(1984)의 연구결과와 마찬가지로 SRT가 감소할수록 SPRR 및 SOUR은 증가하는 것을 보였으며, SPRR과 SOUR의 경우 회귀분석을 통해 $y = 4.54E-006x^2 + 0.0007x - 0.0315$ ($R^2 = 0.925$) 형태의 2차 함수로 도출되었으며, SOUR이 10 mg O₂/g MLVSS·hr 증가 시 SPRR은 약 0.0088 mg P release/mg MLVSS·day 정도 증가하였다.

SRT에 따른 SPRR과 SOUR과의 상관관계는 Maier(1984)와 Huang and Cheng(1984)의 연구결과와 마찬가지로 SRT

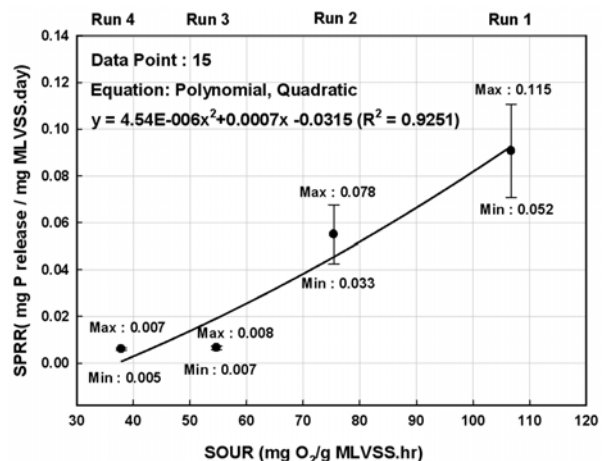


Fig. 10. The relationship between SOUR and SPRR.

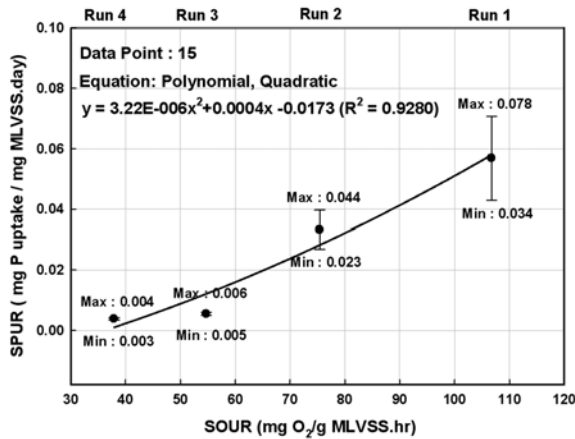


Fig. 11. The relationship between SOUR and SPUR.

가 증가할수록 SPUR 및 SOUR은 감소하고, 반대 조건의 경우에는 SPUR 및 SOUR은 증가하는 것을 보였으며, SPUR과 SOUR의 경우 회귀분석을 통해 $y = 3.22E-006x^2 + 0.0004x - 0.0173$ ($R^2=0.928$) 형태의 2차 함수로 도출되었으며 SOUR이 10 mg O₂/g MLVSS·hr 증가 시 SPUR은 약 0.0059 mg P uptake/mg MLVSS·day 정도 증가하였다.

Horan(1998)은 공정 운전 인자로서 F/M 비 및 U와 SRT를 사용할 수 있다고 주장하였으며, 유입 특성에 따라 주요 운전 인자를 선택해야 한다고 기술하였다. 또한 생물학적 인 제거는 잉여 슬러지에 인을 과량 섭취시켜 이를 제거하는 것으로 폐기되어지는 슬러지 즉 SRT와 밀접한 관계가 있다고 하였다. 하지만 F/M 비 및 U와 SRT는 공정의 특성에 따라 적용 범위가 제한될 수 있으므로, 기타 운전 인자도 가능한 한 동시에 고려해야 한다고 하였다.

따라서, SPRR 및 SPUR과 SOUR과의 상관관계를 통하여 SOUR을 인 설계 인자 사용 시 하나의 검토 인자로서 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 SRT에 따른 SPRR 및 SPUR과 SOUR과의 상관관계 도출을 통해 인 설계인자 사용 시 SOUR을 간접지표로 활용할 수 있는 방안을 수립하고자 하였다. 이에 따라 SRT와 SPRR 및 SPUR과의 상관관계를 해석하였으며, 동시에 SRT와 SOUR과의 관계를 도출하였다. 또한 연구결과를 토대로 SRT를 중간 변수로 이용한 SPRR 및 SPUR과 SOUR과의 관계를 회귀분석을 이용하여 도출하였다.

1) 인 설계인자로 사용되어지는 SPRR 및 SPUR과 미생물 활성도 지표로 활용되어지는 SOUR과 SRT는 2차 함수 형태의 상관관계를 가지고 있으며, SRT가 증가 시 SPRR 및 SPUR과 SOUR은 감소하는 경향을 보였으며, 본 연구에서의 SRT 조건 중 SRT 10일 일 경우 SPRR, SPUR은 각각 0.091, 0.057 mg P release, uptake/mg

MLVSS·day, SOUR은 106.75 mg O₂/g MLVSS·hr로 가장 높은 것으로 나타났다.

2) SRT와 SPRR 및 SPUR과의 회귀분석을 통해 $y = 8.8E-005x^2 - 0.007x + 0.160$, $R^2=0.9347$ (SPRR), $y = 5.5E-005x^2 - 0.005x + 0.099$, $R^2=0.9361$ (SPUR) 형태의 2차 함수로 나타났다. 또한 SRT와 SOUR과의 회귀분석을 통해 $y = 0.0363x^2 - 4.0888x + 143.67$, $R^2=0.9974$ 형태의 2차 함수로 나타났다.

3) SPRR 및 SPUR과 SOUR 변화에 영향을 미치는 SRT를 중간 변수로 하여 상관관계를 도출한 결과 SPRR과 SOUR의 경우, $y = 4.54E-006x^2 + 0.0007x - 0.0315$ ($R^2=0.925$), SPUR과 SOUR의 경우 $y = 3.22E-006x^2 + 0.0004x - 0.0173$ ($R^2=0.928$) 형태의 2차 함수로 도출되었으며, 미생물 활성도의 지표로 활용되어지는 SOUR과 인 제거 특성은 간접적인 관계를 보이는 것으로 판단된다.

4) 본 연구는 SRT와 SPRR 및 SPUR과 SOUR과의 상관관계를 도출하기 위하여 유입 기질을 아세테이트 및 메탄올을 이용하여 연구한 결과이므로 실 처리장 반영에 필요한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 합리적인 인 설계인자 도출을 위해 본 연구 수행 시 설정한 SRT를 좀 더 세분화하여 다양한 조건에서의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김광수, 서규태, 이경호, 김낙주(2002). A/O 및 A²/O공정의 생물학적 인 제거 특성 비교. 수질보전 한국물환경학회지, **18**(2), pp. 123-130.
- 환경부(2007). 수질오염총량제 시행성과와 2단계 총량제 추진방향. 유역총량 제도과.
- APHA, AWWA and WEF (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th Ed., Washington D.C. USA.
- Horan, N. J. (1998). *Biological Wastewater Treatment System, Theory and Operation*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Huang, Y. C. and Cheng, M. D. (1984). Measurement and new applications of oxygen uptake rates in activated sludge process. *Journal WPCF*, **56**(3), pp. 27.
- Maier, W. (1984). Pilot Scale Studies on Enhanced Phosphorus Removal in a Single Stage Activated Sludge Treatment Plant, Enhanced Biological Phosphorus Removal Wastewater. *IAWPRC*, **11**, pp. 51.
- Rodrigo, M. A. (1996). Influent of sludge age on enhanced phosphorus removal in biological system. *Wat. Sci. Tech.*, **34**(1), pp. 41-48.
- Ronald, L. D. (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, Inc., New York.