

## 일원분산분석을 이용한 OSA공정의 잉여슬러지 감량화 영향인자 분석

남덕현\* · 노성천\*\* · 박수열\*\*\* · 정인호\*\*\*\* · 박철휘\*\*\*\*\*

### Statistical Analysis of Effect Factors for Excess Sludge Reduction in the OSA Process

Duck Hyun Nam\* · Seong Cheon Noh\*\* · Su Yul Park\*\*\* · In Ho Chung\*\*\*\* · Chul Hwi Park\*\*\*\*\*

**요약** : 하수처리 공정 중 Oxidation-Settling-Anaerobic(OSA) 공정은 활성슬러지 공정(CAS)에서 슬러지 반송라인에 내생호흡을 유도하기 위해 혐기조가 추가된 공정이다. 공정 내 슬러지 감량 유도를 목적으로 개발되었다는 점에서 다른 하수처리공정과 차별성을 갖는다. 슬러지 감량과 관련한 외부인자와  $P_{X,VSS}$ 의 관계를 분석하고자 통계학적 분석(F검정, ANOVA)을 실시하였다. 연구에서 OSA공정은 63.5%의 잉여슬러지 감량률을 보이는 것으로 나타났다.  $P_{X,VSS}$ 의 관련인자로 선정된 각 외생요인 분석 결과, 생물학적 반응조 oxic reactor에서는 F/M비와 SRT, anaerobic reactor의 경우는 HRT가 슬러지 감량에 가장 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 서울과 같은 대도시에서 발생하는 하수 잉여슬러지 감량 주요인자의 통계학적 평가는 향후 공정 내 슬러지 감량이 가능한 하수고도처리공정 개발에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어** : 하수처리, 슬러지 감량화, OSA, ANOVA

**ABSTRACT** : The Oxidation-Settling-Anaerobic (OSA) treatment process, a modified Conventional Activated Sludge (CAS) process, was developed for the purpose of sludge reduction. The insertion of a sludge holding tank into a sludge return line, an anaerobic reactor, forming an OSA process, may provide a cost-effective way of reducing excess sludge production during a process. The OSA process was evaluated for its sludge reduction ability, with an observed excess sludge reduction of 63.5%, as  $P_{X,VSS}$ , compared with the conventional activated sludge process. Through an analysis of variance (ANOVA) and F-distribution of the OSA process, the F/M ratio was defined as the most important operation parameter of  $P_{X,VSS}$  in oxic reactor. Other parameters related with  $P_{X,VSS}$  were the HRT and SRT. With respect to  $P_{X,VSS}$ , the HRT were defined as the most important parameters in anaerobic reactor.

**Key Words** : wastewater treatment, sludge reduction, OSA, ANOVA

\* 대림산업(주) 기술연구소 선임연구원(Senior Researcher, Technical Research Institute, Daelim Industrial Co., Ltd),

교신저자(E-mail: dhnam@daelim.co.kr, Tel: 02-2011-8291)

\*\* 의정부시 하수처리과 계장(Senior Staff, Department of Wastewater Treatment, Uijeongbu City)

\*\*\* 의정부시 하수처리과 과장(Manager, Department of Wastewater Treatment, Uijeongbu City)

\*\*\*\* 신홍대학 도시환경관리과 겸임교수(Adjunct Professor, Department of Urban Environmental Management, ShinHeung College)

\*\*\*\*\* 서울시립대학교 환경공학부 교수(Professor, Department of Environmental Engineering, University of Seoul)

## I. 서론

활성슬러지 공정의 변법으로 연구된 Oxic-Settling-Anaerobic(OSA)공정은 공정 내에서 잉여슬러지 감량을 유도하는 공정이다(Chudoba et al., 1992a; Chudoba et al., 1992b). OSA공정은 잉여슬러지의 성장조건에 제약을 두어 제시되었다. 일반 활성슬러지 공정의 슬러지 반송라인에 혐기조를 설치하여 호기조로부터 반송된 호기성 미생물을 혐기, 낮은 ORP, 그리고 낮은 유기물부하 조건에 노출시킴으로써 미생물의 내생호흡은 물론 cell-lysis를 유도하여 호기조로 재투입하는 공정이다(An, 2004). 기타 슬러지 전처리방법에 비해 가용화효율은 다소 낮으나 공정이 단순하고 슬러지 생산효율이 낮아 운전유지비가 저렴하다는 장점을 가지고 있다.

OSA공정 내 잉여슬러지 감량화와 관련된 독립변수를 영향인자로 하여 통계학적 관점에서 슬러지 감량에 대한 관련성을 분석하고자 하였다. 통계학적 분석을 위해 분산분석기법인 ANOVA (analysis of variance)와 실험요인과 외생요인에 대한 분산값을 통해 관련성을 검정하는 F-분포를 이용하였다.

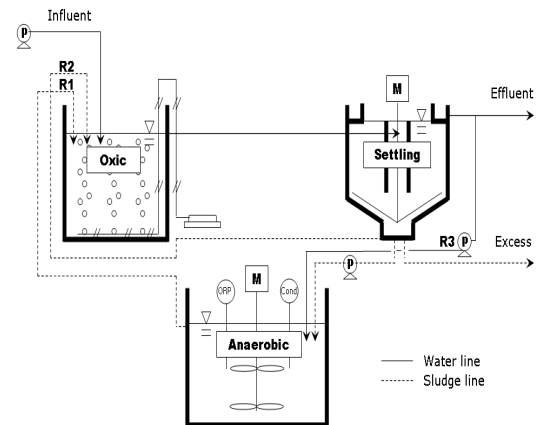
본 연구에서는 OSA공정의 특성인 공정 내 슬러지 감량 영향인자를 고찰함으로써 향후 슬러지

저감형 하수고도처리공정 개발의 공학적 근거를 마련함을 목적으로 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 반응조 구성

분석을 위해 이용된 반응조, 사양 그리고 인공하수 구성을 <그림 1>, <표 1>, <표 2>에 각각 나타내었다.



<그림 1> OSA공정 흐름도

<표 1> OSA 단위반응조의 사양

Item	Unit	Oxic	Settling	Anaerobic
Volume	L	18.9	10.5	34.9
Dimension	mm	290×290×225 <sup>EH</sup>	Φ400×300 <sup>EH</sup>	440×200×390 <sup>EH</sup>
HRT	hr	4	2.5	12
Appearance	-	Rectangular	Cylindrical	Rectangular
Material		Acrylic		

&lt;표 2&gt; 인공하수의 조성

Chemicals	Concentration (mg/L)
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	234.4 as COD <sub>cr</sub>
NH <sub>4</sub> Cl	95.5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	22
NaHCO <sub>3</sub>	300 as CaCO <sub>3</sub>
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	34
MnSO <sub>4</sub>	1.7
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	2.2

## 2. 운전인자의 선정

미생물에 의한 기질의 이용 결과 생성된 총슬러지발생량을 간략히 표현하면 식 (1) 또는 식 (2)와 같다.

$$P_{X, VSS} = Y_{obs}(Q)(S_o - S) \quad (1)$$

$$P_{X, VSS} = \frac{X_T V}{SRT} \quad (2)$$

식 (2)를 기질제거량, 유입수 내 non-biodegradable volatile suspended solid(nbVSS), 그리고 동역학계수들에 의한 VSS생산수율을 포함하여 다시 나타내면 식 (3)과 같이 표현된다. 이러한 식

의 유도는 반응조의 기질이용 물질수지를 기초로 이론적 표현이 가능하다(Metcalf and Eddy, 2004). 식 (3)에서 주요 관련인자로 판단된 인자를 실험인자로 선정하였으며 <표 3>과 같이 선정된 인자와 종속관계에 있는 P<sub>X,VSS</sub>의 관련성을 F검정을 수행한 뒤 검증된 인자와 P<sub>X,VSS</sub>의 실험식을 유도하고자 분산분석을 수행하였다.

$$P_{X, VSS} = \frac{QY(S_o - S)}{1 + (k_d)SRT} + \frac{(f_d)(k_d)QY(S_o - S)SRT}{1 + (k_d)SRT} + \frac{QY_n(NO_x)}{1 + (k_{dn})SRT} + Q(ndVSS) \quad (3)$$

특히, 기질이용과 미생물의 성장률을 예측하기 위한 동역학 계수들(즉  $k$ ,  $f$ ,  $Y$ ,  $k_d$  등)은 온도에 따라 변할 수 있어 온도를 영향인자에 포함하였다. 예를 들어  $T^{\circ}\text{C}$  반응속도 상수( $k_T$ )는 온도에 대한 영향을 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$k_T = k_{20}\theta^{(T-20)} \quad (4)$$

## 3. 통계학적 분석

OSA 공정의 oxic reactor, anaerobic reactor에

&lt;표 3&gt; OSA공정 슬러지 감량 영향인자의 선정

Process	Objective	Reactor	Factors		Dependant variable
			Experimental	Extraneous	
OSA	Sludge reduction	Oxic	Return ratio F/M ratio HRT SRT	The other factors	P <sub>X,VSS</sub>
		Anaerobic	F/M ratio HRT Temp.		

〈표 4〉 일원분산분석표의 구조

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Variance	Variance ratio
Treatment	SSTR	k-1	$s12 = SSTR/(k-1)$	$s12/s22$
Extraneous factors	SSEF	N-k	$s22 = SSEF/(N-k)$	
Total	SST	N-1		

대해 일원분산분석과 F분포를 이용한 검정으로  
운전인자 분석을 대상으로 하였다. 분산분석에는  
SPSS 15.0 통계분석 프로그램을 이용하였다.

분산분석 Analysis of Variance(ANOVA)란  
종속변수의 개별 측정값과 이들 관측치의 평균값  
사이의 변동을 그 원인에 따라 몇 가지로 나누어  
분석하는 방법이다. 분산분석은 실험요인의 종류  
에 따라 몇 가지로 나누어 볼 수 있다.

실험요인의 종류가 하나인 모형은 일원분산분  
석(one-way analysis of variance), 둘일 경우에는  
이원분산분석(two-way analysis of variance)이  
라 한다.

#### 1) 일원분산분석

변동의 원인별 분해를 위한 방법으로 종속변수  
의 변동에 영향을 미치는 요인이 하나인 일원분산  
분석에서는 첫 번째 변동요인을 실험요인이라 하  
고 실험결과에서 이 실험요인이 개별 측정값 변동  
의 원인을 말한다. 두 번째 요인은 외생요인이라  
하며 통계분석에서 통제하기 힘든 요인을 묶어 지  
칭하는 요인이다.

실험요인에 의한 변동을 sum of squares due to  
treatment(SSTR)라 하고 외부요인에 의한 변동  
을 sum of squares due to extraneous factors  
(SSET)라 한다.

제곱합의 분해는 관측치의 총 변동 중 실험요  
인과 외생요인 각각에 의해 발생하는 정도를 이해

하는 것으로 식 (5)로 정의된다.

$$SST = SSTR + SSEF \quad (5)$$

ANOVA를 실시한 뒤 결과물로서 나타나는 일  
원분산분석표의 구조는 〈표 4〉와 같다.

#### 2) F분포를 이용한 검정

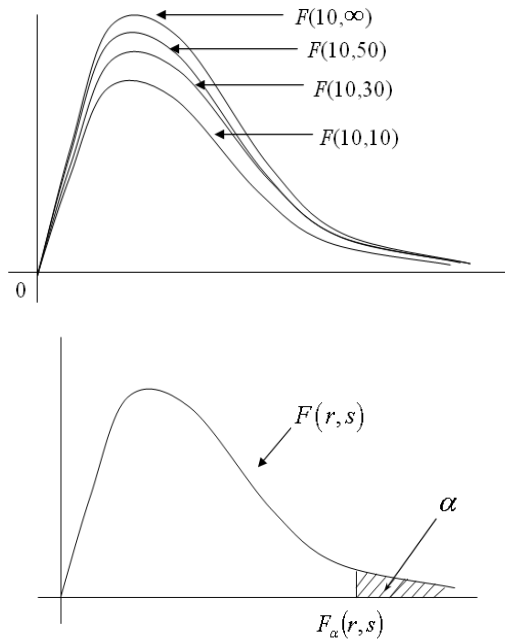
F분포는 영국 학자 Fisher가 개발한 통계학적  
의사결정 방법으로 만약 실험요인이 변동에 별다  
른 영향을 미치지 못하는 경우, 실험요인에 의한  
분산값이나 외생요인에 의한 분산값은 거의 같은  
값으로 표현된다는 논리로 개발되었다.

F분포는 일반적으로 독립변수는 하나이나 변  
수의 수준이 여러 개인 경우에 주로 이용하며 이  
를 위해서는 분산을 분산으로 나눈 분산비율을 산  
출해야 한다. 분산분석에서는 실험요인에 의한 분  
산을 외생요인에 의한 분산으로 나누어 분산비율  
을 결정한다. 실험요인이 영향을 미치지 못할 경  
우, F분포 하에서의 확률변수인 분산비율 수치는  
1에 근사한 값을 취하게 된다. F분포를 구성하는  
확률변수값은 분산을 분산으로 나눈 값이므로 0  
보다 작을 수 없으며, 0에서 ∞값을 취한다. F분포  
에서는 분산을 분산으로 나눈 통계치를 이용하여  
의사결정을 하므로 분자의 자유도와 분모의 자유  
도를 알아야만 한다.

N을 표본의 크기, k를 실험요인의 수준수로 정

의할 때, 일원분산분석은 분자의 자유도는  $k-1$ , 분모의 자유도는  $N-k$ 인  $F$ 분포를 사용한다. 요약하면 일원분산분석에서 실험요인이 아무런 영향을 미치지 못한다면, 분산비율은 분자의 자유도가  $k-1$ , 분모의 자유도  $N-k$ 인  $F$ 분포를 따른다는 것이다.

분산분석에서의 기각역은 항상  $F$ 분포의 오른쪽 끝부분이다.  $F$ 값이  $F$ 분포의 오른쪽 끝에 위치한다면 실험요인의 효과가 없으므로 종속요인에 대한 실험요인의 관련성이 낮은 것으로 판단한다. 반대로 측정  $F$ 값이 분자의 자유도( $r$ ) 및 분모의 자유도( $s$ ), 그리고 유의수준( $\alpha$ )을 고려한 기각역  $F$ 값에 비해 크다면 두 변수의 관련성이 크다고 인정하게 된다. <그림 2>는  $F$ 분산과 관련한  $F$ 분포 표이다.



<그림 2>  $F$ 분포 chart

또한, 각 유의수준( $\alpha$ )에서 분자와 분모의 자유도에 따라  $F$  기각치인  $F_\alpha(r, s)$ 를 선정하게 되며  $F$  계산

값과의 비교를 통해 귀무가설(null hypothesis) 기각 여부와 대립가설(alternative hypothesis)의 선정을 판단하게 된다(김태웅 · 이원준, 2007).

통계학적 가설 검정에서 가설은 귀무가설을 의미한다. 귀무가설은 주로 부정적인 의견 설정으로 '효과가 없다', '기대에 미치지 못 한다' 또는 '독립 변수인 결과에 대하여 변수수준인 운전인자가 영향을 주지 않는다' 등으로 가설한다. 귀무가설 기각은 이와 상반되는 의견인 대립가설 선정에 근거를 제공하게 된다. 유의수준은 기각 여부를 결정짓는 경계치를 의미하며 영역 내에 분포값이 포함될 경우 귀무가설을 인정하게 된다. 유의수준이 한쪽만을 고려하는 검정을 단측검정이라 하며, 대개의 학술연구와 같은 문제점 분석에서 어느 한 방향으로 결론을 내리는 단측검정이 이용된다.

### 3) 다중회귀모형(multiple regression model)

많은 경우에 있어 단 하나의 독립변수로 종속변수의 변동을 충분히 설명할 수 없는 경우 다수의 독립변수가 모형에 포함되어야 하며, 이러한 모형을 다중회귀분석이라 한다. 다중회귀모형은 종속변수의 변동을 설명하기 위하여 2개 이상의 독립변수가 사용된다는 점 이외에는 개념상 단순회귀분석과 유사하다. 둘 이상의 독립변수를 이용하게 되면 단순회귀분석에 비해 더 우수한 예측치를 구현할 수 있다. 다중회귀모형의 회귀식은 1차식의 형태를 갖는다.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (6)$$

서로 독립적인 형태를 갖는  $k$ 개의 독립변수를 이용하여 종속변수인  $y$ 값의 변동을 알아보는 것을 목적으로 한다. 다중회귀 모형을 이용한 결과로 분석을 수행하면 <표 5>와 같은 결과를 얻을

〈표 5〉 다중회귀분석 결과 예시

Regression statics					
R square					
Adjusted R square					
Standard error					
Observation					
	Degree of freedom	Sum of square	Mean of square	F	Sig. F
Regression					
Residual					
Total					
	Coefficient	Standard error	t stat	P-value	
Intercept					
X1					
X2					

수 있다.

〈표 5〉에서 첫 번째 행은 회귀와 관련한 통계치를 나타내며 두 번째 행은 ANOVA 분석 그리고 세 번째 행은 회귀계수의 유의성을 검정하는 항목을 포함하게 된다(이영훈, 2003). 첫 번째 행에서 R square는 회귀식의 결정계수, adjusted R square는 독립변수가 2개 이상인 다중회귀분석의 경우 독립변수가 증가할수록 결정계수가 증가하는 경향이 있어 독립변수의 수와 크기가 결정계수에 미치는 영향을 감안하여 수정한 결정계수, standard error는 표준분포의 표준오차 그리고 observation은 관측수를 각각 의미한다.

ANOVA 분석을 포함하는 두 번째 행에서 degree of freedom은 주어진 표본 중 자유롭게 그 값이 변할 수 있는 데이터의 개수인 자유도, sum of square는 표본제곱의 합, mean of square는 표본제곱합의 평균, F는 독립변수에 따른 분산과 외생요인의 분산비율에 따라 계산된 비, 그리고 Sig. F는 유의수준 설정에 따라 분자 및 분자의 자유도

를 감안한 F분포표상의 기각치를 각각 의미한다. Sig. F에 비해 산출된 F비가 클 경우 귀무가설은 기각된다. 회귀계수의 유의성을 검정하는 세 번째 행에서 coefficient는 다중회귀식을 구성하는 항의 계수, t stat은 표준편차를 모르는 경우인 정규분포 t분포에서 자유도와 신뢰수준을 감안한 t값과의 비교를 위해 계산된 검정통계치로 유의수준 t값보다 클 경우 귀무가설이 기각됨을 의미한다. 그리고 P-value는 표본분포에서 귀무가설이 인정되는 가정 하에서 구한 검정통계치보다 기각역이 위치한 방향으로 치우치는 값이 검정통계치로 나올 확률을 의미하는데 P값이 작을수록 귀무가설을 기각하는 신뢰도는 향상된다.

### III. 결과 및 고찰

슬러지 감량에 대하여 각 반응조의 운전인자를 대상으로 변수에 대한 원인별 분해를 위하여 ANOVA 분석 중 일원분산분석을 실시하였다. 일

원분산분석을 위해  $F$ -검정을 적용하였다. 분석에서 귀무가설(null hypothesis)은 '각 실험요인이  $P_{X,VSS}$ 에 영향을 주지 않는다'이며 대립가설(alternative hypothesis)은 '각 실험요인이  $P_{X,VSS}$ 에 영향을 있으므로 관련인자로 볼 수 있다'로 선정하였다.

### 1. Oxidic reactor

OSA oxidic reactor에서 선정된 운전인자를 실험

요인으로 하고 슬러지 생산량인  $P_{X,VSS}$ 를 종속요인으로 하여 ANOVA 분석을 실시하였다. 실험요인과  $P_{X,VSS}$ 의 관련성 검토 결과는 <표 6>과 같으며, 유의수준 5% 이내로 설정하였다. ANOVA 분석을 통한 통계 data를  $F$ -검정을 통해 분석하여 oxidic reactor의 운전인자와  $P_{X,VSS}$ 의 관련성을 검토하였다. 유의수준 5% 이내에서 각 조건에서  $F$  prob.에 비하여  $F$  ratio가 클 경우 귀무가설은 기각되며 대립가설이 인정되어 관련성을 검증하게 된다. <그림 3>은 운전인자와  $P_{X,VSS}$ 의  $F$ -검정 결

<표 6> Oxid 반응조  $P_{X,VSS}$ 와 운영인자의 ANOVA 분석결과 ( $\alpha=0.05$ )

<Between Return ratio and  $P_{X,VSS}$ >

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratio	P-value	F prob.
Treatment	0.207	2	0.103	0.379	0.690	3.682
Extraneous factors	4.090	15	0.272			
Total	4.296	17				

<Between F/M and  $P_{X,VSS}$ >

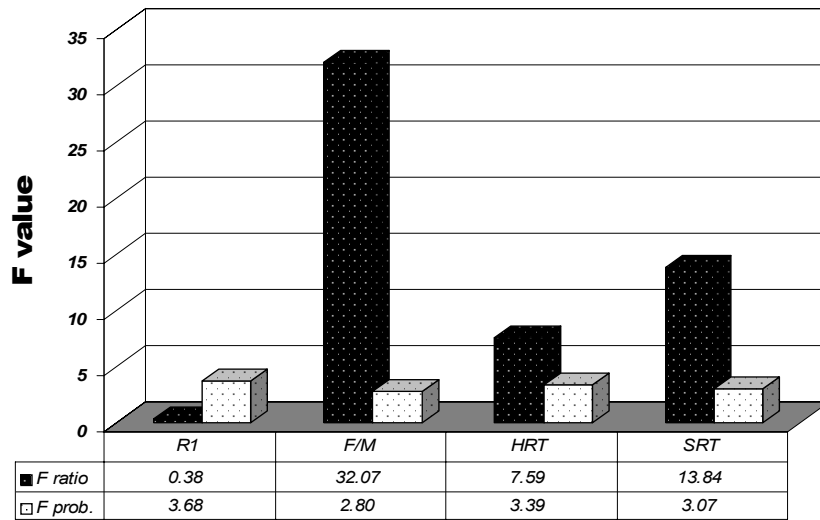
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratio	P-value	F prob.
Treatment	12.251	4	3.062	32.067	4.208E-09	2.795
Extraneous factors	2.196	23	0.095			
Total	14.448	27				

<Between HRT and  $P_{X,VSS}$ >

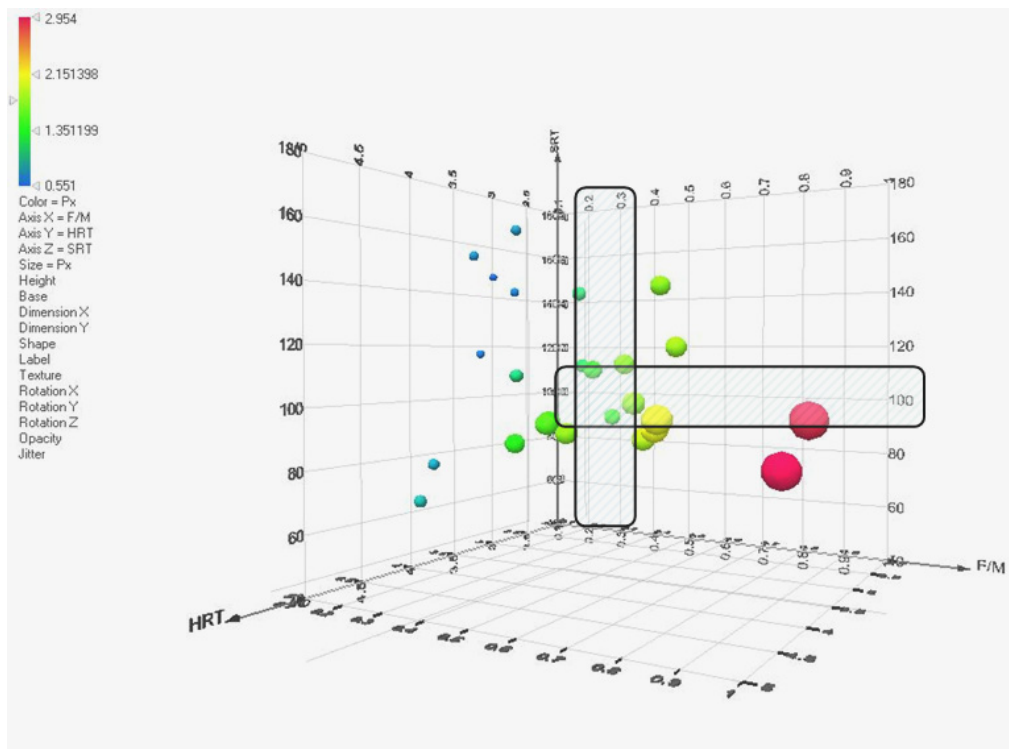
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratio	P-value	F prob.
Treatment	4.066	2	2.033	7.593	0.00265	3.385
Extraneous factors	6.693	25	0.267			
Total	10.759	27				

<Between SRT and  $P_{X,VSS}$ >

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratio	P-value	F prob.
Treatment	6.678	3	2.226	13.836	3.344E-05	3.072
Extraneous factors	3.378	21	0.160			
total	10.056	24				



〈그림 3〉 Oxic 반응조  $P_{X_{VSS}}$ 와 운전인자 *F*-test 결과



〈그림 4〉 Oxic 반응조  $P_{X_{VSS}}$ 와 운전인자의 관련도



과를 보여준다.

〈그림 3〉에 나타나듯  $P_{X,VSS}$ 에 대하여 반송비  $R_1$ 은 귀무가설이 인정되며, F/M비, HRT, SRT가 F prob.에 비하여 F ratio가 크므로 귀무가설인 '실험요인이  $P_{X,VSS}$ 에 영향을 주지 않는다'는 기각된다. 즉, 대립가설(alternative hypothesis)인 '실험요인이  $P_{X,VSS}$ 에 영향을 있으므로 관련인자로 볼 수 있다'로 결론할 수 있게 된다.

OSA oxic reactor의 경우, 슬러지 생산이 F/M비와 SRT에 가장 밀접하게 관련되어 있으며 기타 조건으로서는 HRT에 관련성을 갖는 것으로 해석할 수 있다. 〈그림 4〉에 oxic reactor에서  $P_{X,VSS}$ 와 운전인자의 관계를 도식화하여 표현하였다.

〈그림 4〉에서 각 점의 부피는  $P_{X,VSS}$ 를 의미하며 SRT와 F/M비를 축으로 하는 평면에 위치하여 관련인자임을 알 수 있고 도수의 상대적 부피로 슬러지 감량 범위를 확인할 수 있었다. F/M비는 독립변수 범위 0.2~0.6 범위 중 0.2~0.3, SRT는 70~160 days 범위 중 90~110 days가 합리적인 운전조건으로 제시될 수 있다.

## 2. Anaerobic reactor

Anaerobic reactor에서 선정된 운전인자를 실험요인으로 하고 슬러지 생산량인  $P_{X,VSS}$ 를 종속요인으로 하여 ANOVA 분석을 실시하였다. 실험요

〈표 7〉 Anaerobic 반응조  $P_{X,VSS}$ 와 운영인자의 ANOVA 분석결과 ( $\alpha=0.05$ )

〈Between HRT and  $P_{X,VSS}$ 〉

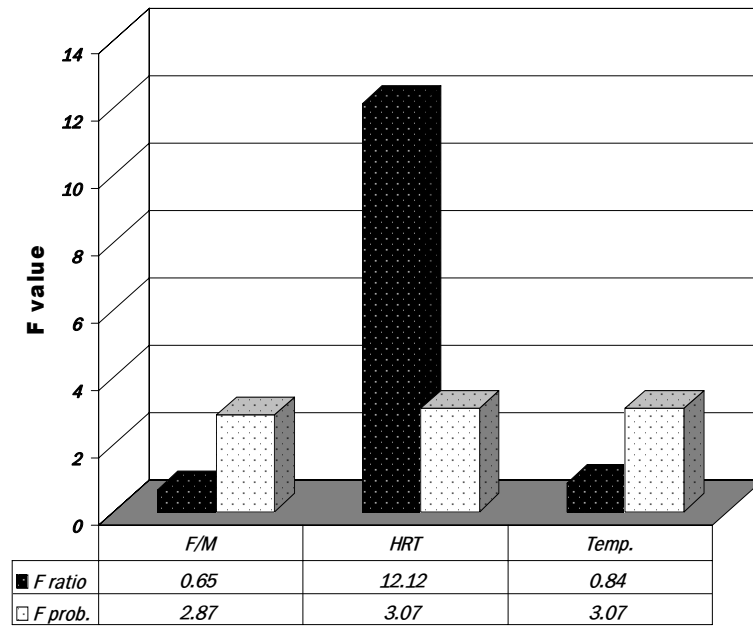
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratio	P-value	F prob.
Treatment	6.648	3	2.216	12.117	8.092E-05	3.072
Extraneous factors	3.840	21	0.182			
Total	10.488	24				

〈Between F/M and  $P_{X,VSS}$ 〉

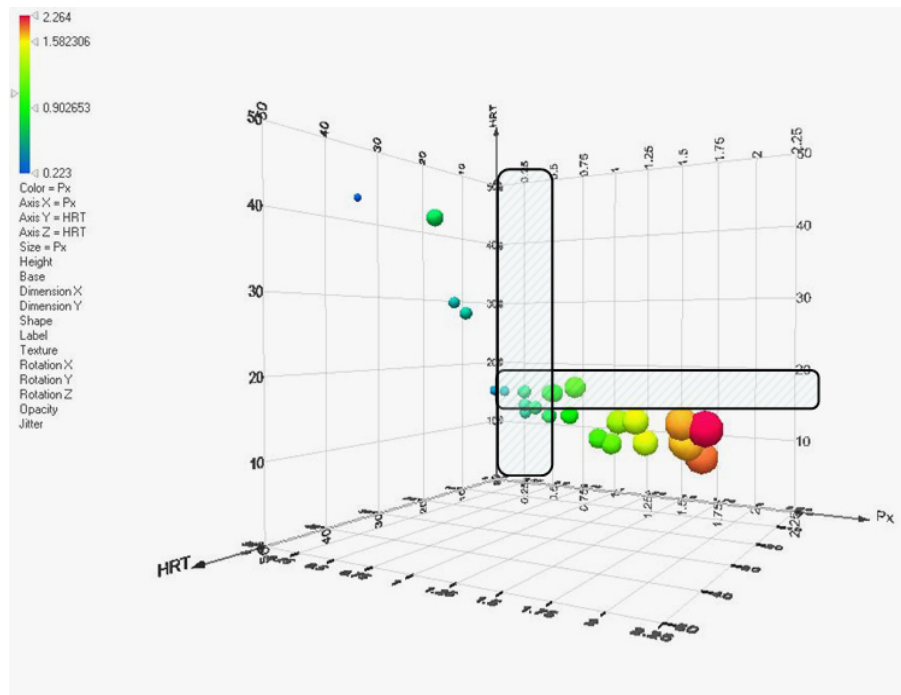
source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratio	P-value	F prob.
Treatment	1.15605	4	0.28901	0.64942	0.63388	2.86608
Extraneous factors	8.90061	20	0.44503			
total	10.05666	24				

〈Between Temp. and  $P_{X,VSS}$ 〉

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratio	P-value	F prob.
Treatment	1.08227	3	0.36076	0.84417	0.48506	3.07247
Extraneous factors	8.97438	21	0.42735			
Total	10.05666	24				



〈그림 5〉 Anaerobic 반응조  $P_{X,VSS}$ 와 운전인자 *F*-test 결과



〈그림 6〉 Anaerobic 반응조  $P_{X,VSS}$ 와 운전인자의 관련도

인과  $P_{X,VSS}$ 의 관련성 검토에 대한 결과는 <표 7>과 같으며 유의수준 5% 이내로 설정하였다.

ANOVA 분석을 통한 통계 data를  $F$ -검정을 통해 분석하여 anaerobic reactor의 운전인자와  $P_{X,VSS}$ 의 관련성을 검토하였다. 유의수준 5% 내에서 각 조건에서  $F$  prob.에 비해  $F$  ratio가 클 경우 귀무가설은 기각되며 대립가설이 인정되어 관련성을 검증한다. <그림 5>는 운전인자와  $P_{X,VSS}$ 의  $F$ -검정 결과를 보여준다.

<그림 5>에서 나타나듯  $P_{X,VSS}$ 에 대하여  $F/M$ 비와 온도조건은 귀무가설이 인정되며, HRT가  $F$  prob.에 비하여  $F$  ratio가 크므로 귀무가설이 기각되고 대립가설인 'HRT가  $P_{X,VSS}$ 에 영향을 미치는 관련인자로 볼 수 있다'로 결론할 수 있게 된다.

OSA anaerobic reactor의 경우, 슬러지 생산과 HRT가 가장 밀접하게 관련성을 갖는 것으로 해석할 수 있다. <그림 6>에는 OSA anaerobic reactor에서  $P_{X,VSS}$ 와 운전인자의 관계를 도식화하여 표현하였다.

<그림 6>에서 각 점의 부피는  $P_{X,VSS}$ 를 의미하며 HRT가 관련인자임을 알 수 있고, 도수의 상대적 부피로 슬러지 감량범위를 확인할 수 있었다. HRT는 독립변수 범위 10~40hr 범위 중 15~20hr가 합리적인 운전조건으로 제시될 수 있다.

### 3. 다중회귀모형

ANOVA 및  $F$ -검정을 통해 관련인자로 선정된 운전인자를 대상으로 다중회귀분석을 하였다. 슬러지 생산과 관련한  $P_{X,VSS}$ 와 단위공정에서 유효성이 검증된 운전인자와의 model을 구성하였다. <표 8>에는 OSA공정에서 운전인자로 선정된 변수와 통계분석을 통해 관련성이 유효하다고 판단

된 운전인자를 정리하였다.

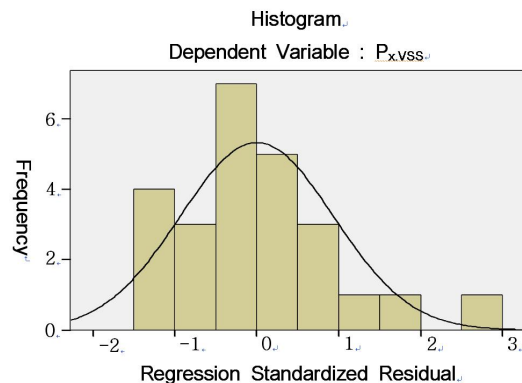
<표 8> OSA공정에서  $P_{X,VSS}$  관련인자로 검증된 영향인자

Objective	Reactor	Factors	
		Experimental	verified
Sludge reduction ( $P_{X,VSS}$ )	Oxic	Return ratio	-
		F/M ratio	F/M ratio
		HRT	HRT
		SRT	SRT
	Anaerobic	F/M ratio	-
		HRT	HRT
		Temp.	-

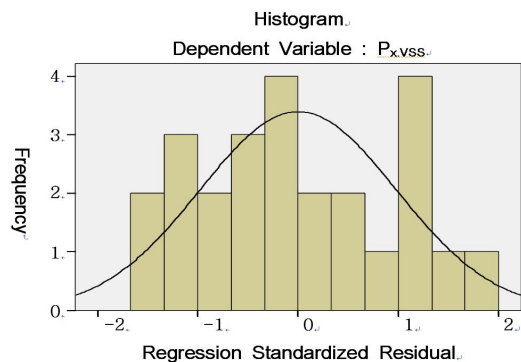
주어진 실험조건에서 검증된 운전인자와 종속인자인  $P_{X,VSS}$  간 다중회귀분석을 통해 모형이 산출되었다. 다중회귀분석과 관련한 정규분포 히스토그램은 <그림 7>, <그림 8>에 각각 도식화하였다. 단위 공정의 다중회귀분석 모델은 각각 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$P_{X,VSS}(\text{oxic}) = 1.71 + 2.79(F/M) - 0.23(HRT) - 0.00657(SRT) \quad (7)$$

$$P_{X,VSS}(\text{anaerobic}) = 1.555 - 0.0321(HRT) \quad (8)$$



<그림 7> Oxic 반응조에서  $P_{X,VSS}$ 에 대한 히스토그램



〈그림 8〉 Anaerobic 반응조에서  $P_{X,VSS}$ 에 대한 히스토그램

#### IV. 결론

본 연구는 하수처리공정에서 발생하는 잉여슬러지 발생량인  $P_{X,VSS}$ 와 관련한 영향인지를 평가하고자 수행되었다. 주요 결론은 다음과 같다.

1) 운전인자 분석에서 OSA공정은 운전인자와 슬러지 생산의 상관관계 평가를 ANOVA의 일원 분산분석과 F-검정한 결과, oxic reactor에서는 F/M비와 SRT, anaerobic reactor의 경우는 HRT에 가장 밀접한 관련성을 갖는 것으로 나타났다.

2) Oxic reactor의 경우, F/M비는 독립변수 범위 0.2~0.6범위 중 0.2~0.3, SRT는 70~160 days 범위 중 90~110 days가 합리적인 운전조건으로 제시될 수 있었으며 anaerobic reactor의 경우, HRT는 독립변수 범위 10~40hr 범위 중 15~20hr가 합리적인 운전조건으로 제시될 수 있다.

3) 운전인자 분석에서 검증된 관련인자와 종속요인인  $P_{X,VSS}$ 의 다중회귀모형을 구성한 결과, OSA공정의 oxic reactor 슬러지 생산의 다중회귀모형은 높은 상관계수를 보임으로써 고려된 운전인자의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

4) 본 연구는 하수고도처리 기능에 사전적 슬러지 감량을 결합하는 하수분야 친환경 녹색기술개발의 공학적 기초자료를 제공할 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- 김태웅·이원준, 2007, 『통계학개론』, 288~310, 신영사.
- 이영훈, 2003, 『통계이론의 응용』, 337~395.
- An, K. J., 2004, *Reduction of Excess Sludge in an Oxidic-Settling-Anaerobic(OSA) System: A Modified Activated Sludge Process*, Thesis for the Degree of Doctor, ChungBuk National University.
- Chudoba, P., Capdeville, B., and Chudoba, J., 1992a, "Explanation of Biological Meaning of the So/Xo Ratio in Batch Cultivation", *Water Sci. Tech.*, 26(3~4): 743~751.
- Chudoba, P., Chudoba, J., and Capdeville, B., 1992b, "The Aspect of Energetic Uncoupling of Microbial Growth in the Activated Sludge Process: OSA system", *Water Sci. Tech.*, 26(9~11): 2477~2480.
- Metcalf, Eddy, 2004, *Wastewater Engineering (Treatment and Reuse)*, 4th edition, McGraw Hill.

원 고 접 수 일 : 2010년 9월 9일

1차심사완료일 : 2010년 10월 8일

2차심사완료일 : 2010년 11월 2일

최종원고채택일 : 2010년 11월 25일