

## 주성분분석에 의한 A<sub>2</sub>O공법의 처리성 평가

김복현 · 이재형 · 이수환 · 윤조희\*

경희대학교 대학원 환경학과, \*국립환경연구원 수질연구부

## Treatability Evaluation of A<sub>2</sub>O System by Using Principal Component Analysis

Bok Hyun Kim, Jae Hyung Lee, Soo Hwan Lee and Cho Hee Yoon\*

Department of Environmental Science, Graduate School, Kyunghee University

\*Water Quality Research Department, National Institute of Environmental Research

### ABSTRACT

The lab-scale biological A<sub>2</sub>O system was applied from treating piggery wastewater highly polluted organic material which nitrogen and phosphorous are much contained relatively in conversion with other wastewater. The objective of this study was to investigate the effect of variance parameters on the treatability of this system according to operation conditions. An obtained experimental data were analysed by using principal component analysis (PCA) method. The results are summarized as follows :

1. From Varimax rotated factor loading in raw wastewater, variance of factor 1 was 36.8% and cumulative percentage of variance from factor 1 to factor 4 was 81.5% and of these was related to BOD, TKN and BOD loading.
2. In anaerobic process, variance of factor 1 was 33.5% and cumulative percentage of variance from factor 1 to factor 4 was 81.8% and of these was related to PO<sub>4</sub>-P, BOD, DO and Temperature.
3. In anoxic process, variance of factor 1 was 30.1% and cumulative percentage of variance from factor 1 to factor 4 was 84.3% and of these was related to pH, DO, TKN and temperature.
4. In aerobic process, variance of factor 1 was 43.8% and cumulative percentage of variance from factor 1 to factor 4 was 81.5% and of these was highly related to DO, PO<sub>4</sub>-P and BOD.
5. It was better to be operated below 0.30 kg/kg·day F/M ratio to keep over 90% of BOD and SS, 80% of TKN, and 60% of PO<sub>4</sub>-P in treatment efficiencies.
6. Treatment efficiencies was over 93% of BOD and SS, 81% of TKN and 60% of PO<sub>4</sub>-P at over 20°C, respectively.

**Keywords :** Treatability, A<sub>2</sub>O, Pricipal, Component, Analysis

### I. 서 론

인구의 도시집중과 생활수준 향상에 따른 오염물질의 배출량이 증가되어 공공수역의 수질이 악화되어 가고 있으며 특히, 호수나 댐과 같은 폐쇄성 수역에서 부영양화 현상의 발생으로 용수로서의 이용 가치가 크게 손상되어 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이들 수역에서 부영양화 현상은 질소와 인과 같은 영양염류의 과잉유입으로 발생되기 때문에 이

들 물질의 유입을 방지할 수 있는 저감방안이 폐하수처리장 건설시에 계획되어야 하며 또한, 기존 처리장에서도 이러한 물질을 제거할 수 있는 고도처리시설로 개선되어야 할 것이다.<sup>1,2)</sup> 우리나라에서도 1996년도부터 배출허용기준과 방류수 수질기준에 질소, 인을 규제항목으로 적용시키게 되어 이에 대한 대책이 시급하게 되었다.<sup>3)</sup>

현재, 폐수처리의 분야에서 행해지고 있는 질소·인 제거법은 크게 화학적 처리와 생물학적 처리법으

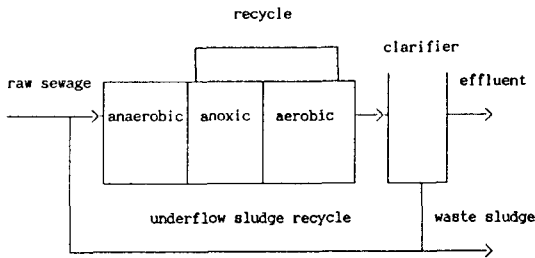


Fig. 1. Schematic flow diagram of Lab-scale  $A_2O$  system.

로 구분되며<sup>4)</sup>, 약품을 필요로 하는 화학적 처리방법은 제거능력이 좋지만, 비용이 많이 들고, 약품에 의한 생성슬러지의 발생량이 증가한다는 문제점을 가지고 있어 국내외에서 생물학적 질소·인 제거법에 대한 연구가 활발하게 진행되어 일부 국가에서는 실용보급 단계에 이르고 있다.<sup>5,6)</sup> 그러나 생물학적 처리법도 처리의 안정성, 운전의 최적화 등 아직까지 해결해야 할 많은 과제가 남아 있는 실정이다.

본 연구에서는 질소·인의 제거를 효율적이고 안정하게 처리할 수 있는 기술개발을 목적으로 질소·인 및 유기물의 제거율이 우수하고 화학적 처리시스템에 비하여 잉여슬러지의 발생량이 적으며 수질 변화에 적응성이 우수한 것으로 알려진 생물학적 혐기-무산소-폭기법( $A_2O$  공법)을 선정하여 양돈폐수를 모델폐수로 실험실 규모의 모형실험을 실시하고, 얻어진 데이터의 분석평가는 분석자료의 효율적인 해석과 특징을 가진 요인 및 요인간의 인과 관계를 검토할 수 있는 방법이며, 수질분석의 종합적인 평가 수단으로 이용되고 있는 주성분분석(PCA, Principle Component Analysis)을 이용하여 상관관계가 높은 요인의 변수값을 중심으로 처리성에 미치는 중요요인을 종합적으로 평가하였다.<sup>7,9)</sup>

## II. 실험 및 분석방법

### 1. 실험장치

실험에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 장치구성은 혐기조, 무산소조, 폭기조, 2차 침전조로 되어 있으며, 사용한 재료는 5 mm의 투명 아크릴판과 관을 이용하여 제작하였다. 각 반응조의 유효용적은 혐기조 2.5 l, 무산소조 3.0 l, 폭기조 4.0 l 그리고 2차 침전조는 2.5 l이다.

반응조내의 슬러지의 완전혼합이 이루어지도록 하기 위하여 혐기조와 무산소조에는 기계적 교반기를 설치하여 100~200 rpm으로 교반하였다. 또한,

각 폭기조는 단락류형성을 방지하기 위하여 정류판을 설치하고 산기관을 이용하여 2 l/min의 공기량을 공급하여 적절한 용존산소를 유지하도록 하였다.

### 2. 실험방법

실험에서 이용한 양돈폐수의 유입은 유기물 부하량을 조절하기 위하여 원폐수를 수돗물로 희석하여 유기물농도를 조정 한 후에 정량펌프(Cole-Parmer Co., MK-7562)를 이용하여 24 l/day의 유량으로 연속적으로 유입하였다.

폭기조의 완전혼합액의 일부는 무산소조로, 침전조에서 농축된 슬러지의 일부는 혐기조로 반송시키고 일부는 잉여슬러지로 제거하고 처리시스템내의 MLSS 농도를 3500~4000 mg/l가 되도록 유지시켰다.

유입폐수의 BOD농도 변화는 190~780 mg/l의 범위에서 변화시켰으며, 반송비율의 변화는 외부 슬러지반송비율(R) 200%, 내부순환비율(r)을 125%로 하였으며, 운전기간 동안의 온도와 pH는 조절을 하지 않았다.

### 3. 시료채취 및 분석방법

본 실험에서 유입수의 시료채취는 임의로 채취하였으며 처리수 및 각 공정의 시료채취는 주 2회씩 정해진 일자에 하루에 2~3회씩 임의로 채취하여 분석시료의 균일성을 유지하고자 하였다.

각 항목의 분석방법은 주로 환경오염공정시험법(수질분야)<sup>10)</sup> 및 Standard Method<sup>11)</sup>에 따라 분석하였다.

### 4. 처리성의 평가방법

선정공법에 대한 처리성을 평가하고자, 수질항목으로 pH, DO, 온도, BOD농도, TKN농도,  $PO_4$ -P농도, SS농도와 운전변수 및 설계변수인 F/M비, BOD 용적부하율을 기본변수로 설정하였고, BOD 제거효율,  $PO_4$ -P 제거효율 및 SS 제거효율의 처리성을 평가하는 4개의 변수를 합하여 총 13개 변수를 설정하였다.

요인분석(factor analysis)의 적용은 많은 변수들간의 자체관련성을 분석하여 공통성 또는 배후의 특징들을 통계적 유의성이 있는 적은 갯수의 새로운 변수(요인)로 변형하여 원래의 정보를 보다 효율적으로 운영하기 위한 기초통계분석으로 이용하였다. 새로운 요인의 수를 결정하기 위하여 고유치(eigen value) 1.0 이상을 선정하여 분석하였으며, 분석자료의 통계적 처리는 SPSS<sup>®</sup> 통계프로그램을 이용하였다. 여기서 고유치는 설명해 주는 요인의 분산

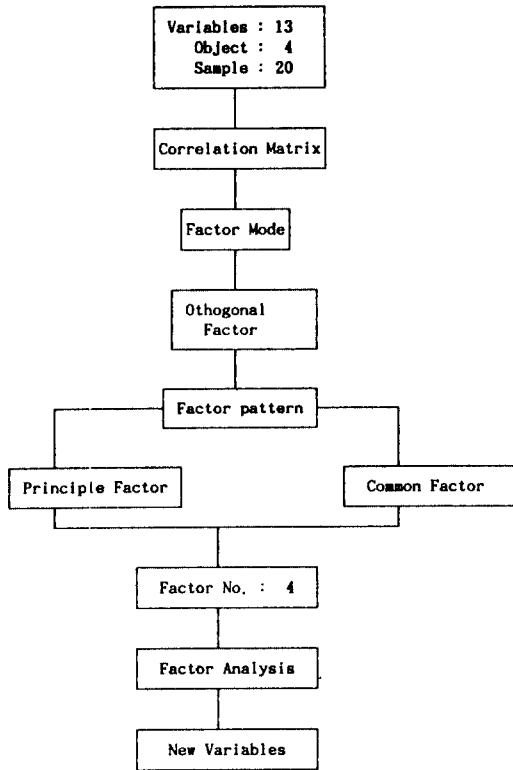


Fig. 2. Flow chart of principal component analysis.

량을 나타내는 것으로 1 이상이라는 의미는 1개의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명해 주는 총분산을 의미한다.

본 분석에서 최종산출된 주성분분석의 요인은 4개였고, 이 요인에 적재된 적재량을 각각 제공하여 합산한 공통분산(communality)값은 0.4 이하가 되면 버리도록 하였다.<sup>7)</sup> 여기서 공통분산 값은 요인에서 차지하는 변수의 중요도를 의미하는 것이다.

또한, 변수의 요인기여율(percentage variance)이 특정한 요인에 크게 관련이 없는 상태로 균일하게 분산되어 있는 경우는 해당변수가 요인과의 상호관련성을 정확하게 판단할 수 없기 때문에 요인의 상호독립적인 관계를 유지하면서 요인축을 회전시키는 직각회전방식에 의하여 특정요인에 높게 적재시키고, 나머지 요인에는 낮게 적재시킴으로서 요인의 구조를 변화시킨 회전된 요인의 구조를 분석 평가하였다.

다시말해, Fig. 2의 흐름도와 같이 요인간의 상호관련성이 없는 독립성 유지와 변수를 줄여서 통계적으로 유의성이 있는 요인간의 분산의 형태를 해석하고자 Varimax 방식을 적용하였다.<sup>7, 12)</sup>

주성분분석에서 요인들은 추출되어지는 순서대로 최대변량을 설명하므로, 요인 1(주성분)은 총변량중의 최대 부분을 나타내는 원래 변수들의 선형조합이고, 요인 2는 요인 1과 상관되지 않으면서 두번째로 크게 작용하는 변량부분을 설명하는 변수들의 선형조합이다.<sup>7)</sup> 요인의 모든 변량은 주성분에 의해 분석되어지는 반면 공통분산은 모든 공통요인에 의해 분석되어진다.<sup>8)</sup>

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 단위공정별 주성분분석

##### (1) 유입수

유입되는 유입수를 대상 수질로 설정한 13개 항목간의 단순상관 행렬을 구한 BOD농도와 TKN 농도 및 PO<sub>4</sub>-P 농도와 유입수의 성상의 변화상태를 파악하고자 pH, 온도, DO농도 및 BOD 용적부하 등의 7개만을 설정하였고, 기타 처리효율과 SS농도, F/M비 등의 변수는 통계적 유의성이 낮아 배제하여 Table 1에 나타내었다. 99%의 이상의 통계적 유의성이 높은 정(부) 상관계수를 살펴보면

Table 1. Varimax rotated factor loading in raw wastewater

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
BOD (mg/l)	.93070	.30077	-.12215	.01945	.97197
TKN (mg/l)	.86525	.07873	.36866	.10878	.90259
PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	.05765	.88836	-.05336	-.06542	.79964
pH (-)	-.29366	-.46028	-.24814	.26326	.42897
DO (mg/l)	-.02591	.06000	.11736	.91075	.84752
Temp. (°C)	-.22187	-.86097	-.36423	-.01226	.90619
BOD loading Δ	.69471	.57978	-.28414	-.04914	.90200
Eigenvalue	4.78101	2.86884	1.74216	1.19849	
Pct. Var. (%)	36.8	22.1	13.4	9.2	

**Table 2.** Varimax rotated factor loading in anaerobic process

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
BOD (mg/l)	-.92777	-.08233	-.04268	.09877	.95954
TKN (mg/l)	.22536	.39479	.33321	-.74593	.87409
PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	.85339	.13300	-.11167	-.05106	.76105
pH (-)	-.11614	.76264	-.09298	.13216	.62123
DO (mg/l)	-.59414	-.28478	.19814	-.50318	.72655
Temp. (°C)	-.92777	-.08233	-.04268	.9877	.87912
F/M ratio Δ	.53520	.77624	-.05233	-.00030	.89200
Eigenvalue	3.68196	2.53239	1.64097	1.13852	
Pct.Var. (%)	33.5	23.0	14.9	10.2	
Cum. Pct. (%)	33.5	56.5	71.4	81.8	

Δ : kgBOD/kgMLSS/day.

BOD : BOD 용적부하량,  
r = 0.6669(p<0.01)  
PO<sub>4</sub>-P : 온도,  
r = -0.7949(p<0.01)  
BOD 용적부하량: 온도,  
r = -0.5916(p<0.01)

로 나타났고, 그 밖의 항목들간에는 유의적인 상관성이 매우 낮았다.

이러한 7개의 수질분석대상 항목으로부터 최종 산출된 주성분분석의 고유치와 기여율 및 회전시킨 요인 매트릭스는 Table 1에 나타낸 것과 같다.

요인 1의 고유치가 4.78101이고, 기여율이 36.8%로서 이는 유입수에 대한 수질변동의 분산 중 36.8%를 차지하고 있음을 나타내고 있다.

또한, 요인 1에서 요인 4까지의 누적기여율은 81.5%로서, 전체 수질변동의 81.5%를 차지하고 있어, 발생하는 정보(분산)의 손실율이 18.5%임을 알 수 있다. 이들 분석결과는 요인 1은 BOD농도, TKN농도, BOD부하량과 밀접한 정(+)의 상관성을 나타내고 있으며, 요인 2는 PO<sub>4</sub>-P농도와 온도가 높은 부(-)의 상관성을 보여주어, 요인 1에서는 유입수의 BOD와 TKN 농도가 증가됨에 따라 BOD용적 부하량이 증가하고 요인 2에서 낮은 수온에서 유입되는 PO<sub>4</sub>-P의 농도가 높게됨을 알 수 있다. 이것은 여름철에는 다량의 돈사세척수 사용과 함께 미생물에 의한 분해가 많아 자연적으로 저농도의 유입수가 되며 미생물의 분해가 적은 겨울철에는 돈사세척수의 사용이 적어져 유입수의 정상 중 인의 농도가 상대적으로 높아지기 때문이라고 판단된다.

4개의 요인에 적재된 적재량을 각각 제공하여 합산한 공통분산은 BOD가 0.97197로 최대이고, pH가 0.42897로 최소로 유입수에서 pH가 다른 요

인에 미치는 영향이 가장 적은 것으로 나타났다.

### (2) 혐기조

혐기조내의 수질분석 항목을 pH, BOD농도, TKN농도, PO<sub>4</sub>-P농도, DO농도, F/M비 등 7개를 선정하여 단순상관 행렬에 의해 분석한 결과, 99% 이상의 통계적 유의성이 높은 변수의 상관관계를 보면,

PO<sub>4</sub>-P : 온도, r = -0.7125, p<0.001

PO<sub>4</sub>-P : F/M, r = 0.6495, p<0.01

등으로 나타났다.

Table 2는 각 항목에 대한 주요성분 분석결과를 나타낸 것이다. 요인 1에서 요인 4까지의 누적기여율은 81.8%이고, 요인 1의 고유치가 3.68196, 요인 2가 2.53239, 요인 3이 1.13852, 요인 4가 1.13852로 나타났다.

33.5%의 요인기여율을 보여 주는 요인 1에서 PO<sub>4</sub>-P농도가 온도와 BOD농도에 부의 높은 상관관계를 나타내고 있다. 이것은 온도가 낮아짐에 따라 F/M비가 증가되고 있음에도 불구하고 혼합용액 중 BOD농도는 낮아지고, 반면에 PO<sub>4</sub>-P농도는 높아지는 것을 나타낸다. 다시말해, 혐기조내에서의 BOD 제거효율이 높아짐에 따라 PO<sub>4</sub>-P농도는 유입수의 PO<sub>4</sub>-P 농도보다 높아져 인의 제거효율이 마이너스(-) 효과를 나타내고 있어 혐기조내의 PO<sub>4</sub>-P 농도는 오히려 크게 증가됨을 알 수 있다.

또한, 공통분산의 최대값은 BOD가 0.95954이고, 최소치는 pH가 0.62123으로 혐기조내에서의 BOD농도가 다른 요인에 미치는 영향이 매우 크게 작용하고, pH가 가장 적은 영향을 보여준다.

### (3) 무산소조

단순상관 행렬에 의해 얻어진 무산조내의 7개

**Table 3.** Varimax rotated factor loading in anoxic process

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
BOD (mg/l)	.27191	.09407	-.21659	.83137	.82087
TKN (mg/l)	.15262	.91796	.05765	.8228	.87604
PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	.33700	-.20690	-.85687	-.10186	.90098
pH (-)	.67402	.45400	.31733	-.17278	.79098
DO (mg/l)	.68018	-.36762	.06243	-.21584	.64827
Temp. (°C)	-.41871	.75251	.31574	.09561	.85042
F/M ratio Δ	.90335	-.03544	-.30230	.06478	.91288
Eigenvalue	3.31206	2.51379	1.81970	1.62445	
Pct.Var. (%)	30.1	22.9	16.5	14.8	
Cum. Pct. (%)	30.1	53.0	69.5	84.3	

Δ : kgBOD/kgMLSS/day.

**Table 4.** Varimax rotated factor loading in aerobic process

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
BOD (mg/l)	-.68098	.51267	.18925	-.14202	.78255
TKN (mg/l)	-.20136	.22855	.92565	-.5430	.95256
PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	-.80272	.24964	-.37118	-.21212	.88946
pH (-)	-.06224	.68777	.37409	.44086	.81120
DO (mg/l)	.76459	-.43458	-.10838	-.08019	.79163
Temp. (°C)	.42713	-.27381	.81253	.09515	.92667
F/M ratio Δ	-.41913	.83705	-.19402	-.06405	.91800
Eigenvalue	4.81282	2.27408	1.24401	1.06034	
Pct.Var. (%)	43.8	20.7	11.3	9.6	
Cum. Pct. (%)	43.8	64.4	75.7	85.4	

Δ : kgBOD/kgMLSS/day.

수질분석항목 중 99% 이상의 통계적 유의성이 높은 변수에 대한 상관관계를 보면

PO<sub>4</sub>-P : 온도(°C),  $r = -0.5661$ ,  $p < 0.01$   
 TKN : 온도(°C),  $r = 0.6539$ ,  $p < 0.001$

등으로 나타났다.

Table 3에 나타난 항목별 주요성분 분석결과는 요인 1에서 요인 4까지의 누적기여율이 84.3%이었고, 요인 1의 고유치가 3.31206, 요인 2가 2.51379 그리고, 요인 3이 1.81970, 요인 4가 1.62445이었다.

30.1%의 요인기여율을 보여 주는 요인 1은 pH와 DO 그리고 F/M비에서 정의 상관성을 가지고 있는데, 공통분산값이 가장 낮은 DO 농도가 F/M비가 증가할 수록 무산소조내의 DO의 증가하는 원인에 대해서는 명확하게 파악할 수 없으나, 이것은 폭기조의 내부반응에 의한 것으로 사료된다.

23.0%의 요인기여율을 나타내는 요인 2는 TKN과 온도가 높은 상관성을 보여주어 무산소조내의 온도

가 상승할수록 제거되지 않은 입자성 SS물질의 분해와 폭기조에서 NH<sub>3</sub>-N가 내부반응되어 용액중의 TKN농도를 상대적으로 증가시킨 것으로 사료된다. 또한, 공통분산의 F/M비가 0.91298으로 다른 요인에 미치는 영향이 가장 컸으며, DO농도가 0.64827로 가장 적었다.

(4) 폭기조

단순상관 행렬에서 얻어진 폭기조내의 수질분석 항목 중 99% 이상의 통계적 유의성이 높은 변수의 상관성으로는

DO : BOD  $r = -0.6482$ ,  $p < 0.01$   
 DO : PO<sub>4</sub>-P  $r = -0.6040$ ,  $p < 0.01$   
 DO : F/M  $r = -0.6701$ ,  $p < 0.01$   
 Temp. : PO<sub>4</sub>-P  $r = -0.7057$ ,  $p < 0.001$   
 BOD : PO<sub>4</sub>-P  $r = 0.7102$ ,  $p < 0.001$   
 BOD : F/M  $r = 0.6266$ ,  $p < 0.001$   
 Temp. : TKN  $r = 0.5990$ ,  $p < 0.01$

등으로 비교적 많은 항목이 높은 상관성을 나타냈다.

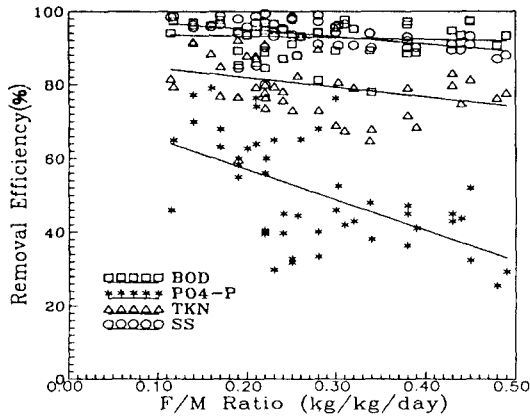


Fig. 3. Removal efficiencies with various F/M ratio.

Table 4에 나타난 폭기조의 항목별 주요성분 분석결과는 요인 1에서 요인 4까지의 누적기여율이 85.4%이었고, 요인 1의 고유치가 4.81282, 요인 2가 2.27408로 매우 높게 나타났으며, 요인 3이 1.24401, 요인 4가 1.06034이었다. 43.8%의 높은 적재치를 보여주는 요인 1에서는 DO농도가  $PO_4$ -P농도와 BOD농도에 부의 상관성을, 20.7%의 요인적재치를 보여주는 요인 2는 F/M비와 pH가 정의 상관성을 나타내었다.

요인 1에서 폭기조내의 DO농도가 증가할수록 혼합액 중의  $PO_4$ -P 및 BOD농도가 낮게 되어  $PO_4$ -P와 BOD 제거효율이 매우 높음을 알 수 있다.

요인 2에서 F/M비가 증가할수록 폭기조내의 pH도 증가하고 있는데, 이것은 MLSS중에 종속영양군이 우점종을 차지하고 있는 반면, 비종속속도가 느린 질산균과 같은 독립영양군이 적어져 질산화가 잘 진행되지 않는 것으로 판단된다.

또한, 공통분산의 최대치는 TKN농도가 00.95256 이고, 최소치로는 BOD농도가 0.78255로 폭기조내에서 TKN농도가 다른 요인에 미치는 영향이 가장 높게 작용하고 있었다.

## 2. F/M비 변화에 따른 처리효율 특성

본 시스템에서 운전인자인 F/M비의 변화에 따라 제거되는 BOD, SS의 처리효율을 Fig.3에 나타냈다. 그림에 나타난 바와 같이 F/M비가 증가함에 따라 처리효율이 서서히 감소하고 있다.

F/M비가 약 0.3 kgBOD/kgMLSS·day까지는 BOD와 SS의 처리효율이 각각 5%의 유의성 수준에서 90% 이상을 유지하고 있었으나, 0.5 kgBOD/kgMLSS·day에서는 85%까지 감소되었다. 실험중에

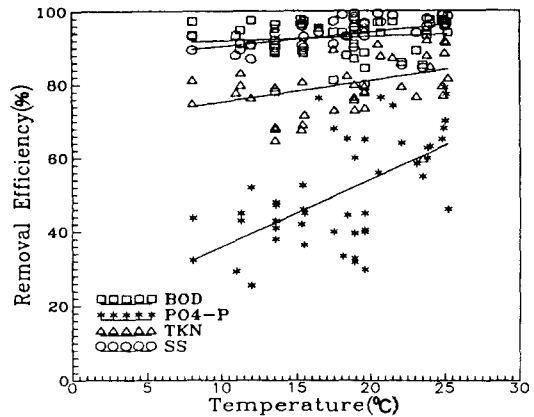


Fig. 4. Removal efficiencies with various temperature.

BOD와 SS의 처리효율 중 80% 이하인 경우는 급격한 부하변동에 따른 충격으로 나타난 것으로 실험기간 중에는 급격한 부하변동은 단계적 처리공정으로 대처할 수 있었다.

F/M비가 0.3 kgBOD/kgMLSS·day 이상으로 증가할수록 혐기조의 BOD와 SS의 처리효율이 낮아지고 폭기조의 질산화를 저하시킴으로서 무산소조에서 탈질화도 적게 일어나는 요인으로 작용함을 주성분 분석결과에서 알 수 있었다.

한편, TKN의 경우는 F/M비가 0.3 kgBOD/kgMLSS·day까지는 처리효율이 80% 이상을 유지하고 있으나, 그 이상에서는 처리효율이 서서히 저하되어 70%까지 저하되고 있는 것을 알 수 있다.

이것은 요인분석에서 설명한 바와 같이 유입된 입자성 SS물질의 분해와 함께 유입 BOD농도 증가에 따른 F/M비의 증가로 혐기조 및 무산소조에서 유입된 유기물의 많은 양이 제거되지 않은 상태에서 폭기조로 유입되어 총 MLSS 중에 차지하는 질산화균의 성장속도가 상대적으로 느리어 질산화에 의해 제거되는 TKN량이 적기 때문이라고 판단되며, 또한 폭기조에서 pH가 높아진 것도 이러한 원인으로 판단된다.<sup>13,14)</sup>

따라서 폭기조에서 질산화를 진행시키기 위해서는 알칼리도의 유지와 함께 폭기조에 유입되는 유기물 농도를 가능한 낮게 하는 방법과 폭기조내에서의 많은 폭기시간에 유기물을 제거하여 질산성균의 성장을 촉진시키거나 질산화균을 고정하는 방법 등의 연구가 필요할 것으로 사료된다.<sup>5)</sup>

Fig.3는 F/M비가 0.3 kgBOD/kgMLSS·day 이상 일 경우 5%의 유의성 수준에서  $PO_4$ -P의 처리효율이

평균 45% 이하까지 낮아지고 있음을 나타내고 있다.

PO<sub>4</sub>-P변수의 요인분석 결과에서 혐기조내의 DO 농도가 거의 0mg/l 상태에서 용액의 PO<sub>4</sub>-P농도가 크게 증가되고, 폭기조내에서는 DO농도가 높은 상태에서 PO<sub>4</sub>-P 농도가 크게 감소한다는 사실을 알 수 있다. 이러한 결과는 미생물의 과잉섭취(luxury uptake) 현상으로 설명할 수 있을 것이다.

또한 F/M비가 낮은 상태에서 인의 처리효율이 불안정한 이유 중의 하나는 반중슬러지의 혼합액에 의한 질산성 질소가 혐기조에 유입되면 인방출에 관여하는 미생물의 활성이 저하되어 이들 미생물에 의한 유기물의 섭취가 다른 미생물에 의한 유기물 섭취에 비해 잘 일어나지 않기 때문으로 판단된다.

### 3. 온도변화에 따른 처리효율

온도변화에 따른 BOD와 SS의 처리효율은 단순 상관성에 의한 유의성은 매우 낮았으나, 요인을 회전시킨 최종 요인의 결과에서는 매우 높은 유의성을 보여주고 있어, 수온이 20℃ 이상일 경우에는 Fig. 4에서와 같이 BOD와 SS의 처리효율이 90% 이상을 보여주고 있다.

또한, 온도에 따른 TKN의 처리효율은 요인분석 결과, 다소 낮은 상관성을 가지고 있다. 온도가 20℃ 이하인 경우는 무산소조내의 TKN농도가 크게 높아지고, 폭기조내의 많은 용존산소가 TKN의 산화보다 유기물산화에 이용되어 질산화가 잘 일어나지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 PO<sub>4</sub>-P의 제거효율은 5%의 유의성 수준에서 온도와 매우 민감한 반응을 보여주고 있다. 요인분석 결과에서 온도가 20℃ 이상일 경우에 폭기조에서의 PO<sub>4</sub>-P 제거율이 크게 증가되어 전체적으로 60%이상 제거되고 있는 것을 알 수 있었다. 이것은 인제거에 관여하는 미생물의 증식속도와 수온과의 밀접한 관계를 가지고 있음을 의미한다.<sup>15)</sup>

수온이 25℃에서 10℃로 낮아질 때 TKN과 PO<sub>4</sub>-P의 처리효율의 차이가 10~20% 정도의 차이를 나타내고 있으며, 특히 PO<sub>4</sub>-P가 큰 영향을 받고 있다.

따라서, 질소·인제거를 위해서는 요인분석에서도 밝힌 바와 같이 온도조절이 상당히 중요함을 알 수 있다.<sup>16)</sup>

## IV. 결 론

유기성물질 뿐 아니라 질소 및 인을 동시에 처

리할 수 있는 생물학적 A<sub>2</sub>O공법을 선정하여 양돈 폐수를 대상폐수로 한 실험실 규모의 실험을 통하여 얻어진 자료를 주성분분석(PCA)에 의해 종합적으로 평가분석하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 유입수내의 요인 1에서 4까지의 총 누적기여율은 81.5%으로, 그 중에 요인 1의 기여율은 36.8%이었고, BOD농도와 TKN농도, BOD용적 부하량 등이 높은 상관성을 나타냈다.
2. 혐기조내의 요인 1에서 4까지의 총 누적기여율은 81.8%이었고, 그 중에 PO<sub>4</sub>-P농도, BOD농도, DO농도와 온도가 부의 상관성을 나타냈다.
3. 무산소조내의 요인 1의 기여율이 30.1%, 요인 2가 22.9%, 요인 3이 16.5%, 그리고 요인 4가 14.8%으로 총 누적기여율은 84.3%이었고, 그 중에 pH와 DO농도, TKN농도 그리고 온도가 유의적인 상관성을 보여주고 있다.
4. 폭기조내의 요인 1에서 4까지의 총 누적기여율은 85.4%이었고, 그 중에 요인 1의 기여율이 43.8%으로 DO농도와 PO<sub>4</sub>-P농도, BOD농도가 부의 상관성을 나타냈다.
5. 전체 공정 중 BOD 및 SS의 처리효율 90% 이상, TKN의 처리효율 80% 이상, PO<sub>4</sub>-P의 처리효율 60% 이상을 유지하기 위해서는 F/M비를 0.3 kg/kg·day 이내로 운전할 필요가 있다.
6. 수온이 20℃ 이상일 경우에 평균 처리효율은 BOD 93.0%, SS 94.3%, TKN 81.0%, PO<sub>4</sub>-P 60.0%로 나타났다.

## 참고문헌

- 1) George, T. and Schroeder, E. D., Water Quality, University of California at DAVIS, p. 74 (1985).
- 2) Krenkel, P. A. and Novotny, V., Water Quality Management, Academic Press, INC, New York (1980).
- 3) 環境處, 環境法令集 (1991).
- 4) 稻森悠平 等, 生物學的リン處理の最新の動向, 用水と廢水, 24(10), (1982).
- 5) 建設省土木研究所, リン・窒素除去法 設計資料, 高度處理會 (1991).
- 6) Nicholls, H. A. and Osborn, D. W., Bacterial stress : prerequisite for biological removal of phosphorus. *JWPCF*, 51(3), 557-569 (1979).
- 7) 문경일, 엄정국, SPSS/PC<sup>+</sup>를 활용, 영진출판사 (1991).

- 8) 채서일, 김범중, SPSS<sup>+</sup>를 이용한 통계분석, 범문사 (1991).
- 9) 下原健一等, 主成分分析法を用いた遠賀川の水質の統計的解析, 用水と廢水, 33(9), (1991).
- 10) 環境廳, 環境汚染公定試験法-水質分野 (1987).
- 11) APHA-AWWA-WPCF, *Standard Methods*, 17th ed., American Public Health Association (1980).
- 12) Harman, H. H., *Modern Factor Analysis*, 2nd, ed., Chicago University of Chicago Press (1976).
- 13) Sell, R. L. *et al.*, Low Temperature Biological Phosphorus Removal. Presented at the 54th Annual WPCF Conference, Detroit, Michigan, October (1981).
- 14) Christensen, M. H. and Harremoes, P., Biological Denitrification in Wastewater Treatment, Report 2-72, Department of Sanitary Engineering, Technical University of Denmark (1972).
- 15) Murphy, R. L. and Dawson, R. N., The Temperature Dependence of Biological Denitrification, *Water Research*, Vol. 6, pp. 71-83 (1972).
- 16) Dawson, R. N. and Murphy, K. L., Factors Affecting Biological Denitrification in Wastewater, In *Advances in Water Pollution Research*, Pergamon Press Oxford (1973).

(Received August 10, 1992)