

생물막 반응조에서 돈사폐수의 유기물 특성 및 동력학계수 산정

임재명^{*} · 한동준^{**} · 권재혁^{***}

Organic Characteristic of Piggery Wastewater and Kinetic Estimation in Biofilm Reactor

Jay-Myoung Rim^{*} · Dong-Joon Han^{**} · Jae-Hyuk Kwon^{***}

ABSTRACT

This research was performed for the fundamental data using a advanced treatment process of piggery wastewater. Characteristics of influent wastewater was divided with various methods in fixed biofilm batch reactor. Fractions of organic were divided into readily biodegradable soluble COD(S_s), slowly biodegradable COD(X_s), nonbiodegradable soluble COD(S_I), and nonbiodegradable suspended COD(X_I).

Experimental results were summerized as following : i) biodegradable organics fraction in piggery wastewater was about 88.1 percent, and fraction of readily biodegradable soluble COD was about 66.1 percent. ii) Fractions of nonbiodegradable soluble COD was 11~12 percent, and soluble inert COD by metabolism was produced about 6~8 percent. iii) Active biomass fraction of attached biofilm was about 54.7 percent, and substrate utilization rate and maximum specific growth rate of heterotrophs were 8.315 d^{-1} and 3.823 d^{-1} , respectively.

1. 서 론

최근 고도의 폐수처리 공정개발과 설계를 위한 프로그램의 개발로 유기물 및 영양소의 성상분석도 더욱 세분화되었다. 1986년 IAWPRC¹⁾에서는 생물학적 폐수처리

의 설계와 운전을 위한 수학적 모델을 제시하였고 단일 활성슬러지 시스템에서의 유기물분해, 질산화 그리고 탈질을 예측할 수 있는 activated sludge model No.1을 개발한 바 있다. 그 이후 모델적용을 위한 폐수의 화학적 분석과 동력학계수의 이해에

* 강원대학교 환경공학과 교수

** 강원대학교 시간강사, 공학박사

*** 삼척산업대학교 환경공학과 교수

많은 관심을 갖게 되었다. 폐수의 성상은 Dold 등²⁾에 의하여 세분화되었고 도시하수를 중심으로 활발히 연구되었다. 그러나 최근에는 축산폐수를 비롯한 산업폐수등의 고농도 유기물을 함유하고 있는 폐수들은 생물학적 처리 결과 처리수의 농도가 법적 기준에 만족되지 않는 문제를 지니게 되었다. 따라서 생물학적 처리에 있어 처리수의 한계 농도를 평가하고 효율적 처리를 위하여 폐수의 초기 inert 물질 평가 및 새로운 kinetic 산정 방법들이 도입되었다. Germirli 등³⁾과 Orhon 등⁴⁾은 낙농폐수와 glucose를 이용한 회분식실험에서 초기 유입수의 생물학적 분해 불가능한 용존 COD와 미생물의 신진대사로 인하여 생성되는 용존 COD를 산정한 바 있다.

유기물 분류는 생물학적 분해가능한 유기물(biodegradable organic)과 생물학적 분해 불가능한 유기물(nonbiodegradable organic)로 구분되며, COD, BOD 그리고 VSS등의 분석으로 정도를 나타내었다. 그러나 BOD와 VSS 등은 유기물의 다양한 존재 및 반응특성을 분석하기에 미흡한 점이 있으므로 최근에는 COD를 이용하여 다양한 유기물을 구분하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 돈사폐수의 고도 처리공정의 개발과 모델을 위한 기초자료로 이용될 수 있는 유입폐수의 유기물 특성을 회분식 고정생물막 반응조를 이용하여 여러 방법으로 구분하고자 하였다. 또한 특성 분류는 Ekama와 Marais¹⁰⁾에 의하여 보고된 바 있으며, 최근 많이 이용되는 생물학적분해가 쉬운 용존유기물(readily biodegradable soluble COD ; 이하 S_s), 생물학적 분해가 느린 유기물(slowly biodegradable COD ; 이하 X_s), 생물학적 분해가 불가능한 용존유기물(nonbiodegradable soluble COD ; 이하 S_b),

그리고 생물학적분해가 불가능한 부유성유기물(nonbiodegradable suspended COD ; 이하 X_l)로 구분하였다. 또한 모델 적용을 위한 미생물의 최대 비성장율($\mu_{h,max}$), 기질소모율(k_m)등의 동력학계수를 산정하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 폐수의 성상

축산폐수의 성상은 축산시설의 형태와 분(糞) 분리작업의 유무, 청소방법, 용수사용량, 계절 및 시료채취 시간등에 따라 매우 상이한 것으로 알려져 있다. 특히 돈사폐수의 경우 폐수성상에 있어 가장 큰 차이는 돈사의 형태로서 망형돈사와 세멘트형 돈사로 구분된다. 망형돈사의 경우는 특별히 분(糞)과 뇌(尿)를 분리하지 않고 슬러리(slurry)상태로 배출되어, 세멘트형 돈사처럼 1일 1~2회의 주기적 분제거가 이루어지고 청소수 및 뇌성분이 주를 이루는 폐수와는 약 10배이상의 농도차이를 보이게 된다.

현재 국내에는 세멘트형 돈사가 대부분을 차지하고 있으며, 본 연구에서도 약 1,000 두 규모의 세멘트형 돈사에서 분제거 후 뇌와 청소수로 이루어진 폐수를 이용하였으며, 시료채취는 사각형 콘크리트 집수조에서 채취하였다. 채취 후 시간에 따른 폐수의 성상변화를 최소화하기 위하여 2일 1회 채취하였고 분석은 가능한 시료채취 즉시 수행함을 원칙으로 하였다. 그 외 시료는 4°C이하 냉장고에 보관 후 이용하였다.

Table 1은 유입 돈사폐수의 성상을 분석한 결과로 pH는 7.8 ~ 8.9로 측정되었고, COD의 경우 3,000 ~ 3,700mg/L로 나타났으며, TBOD₅는 1,200 ~ 1,800mg/L 범위

Table 1. Characteristics of piggery wastewater
(unit : mg/L)

Constituents	Range	Average
pH	7.8 - 8.9	8.2
SBOD ₅	900 - 1,200	1,000
TBOD ₅	1,200 - 1,800	1,560
SCOD _{cr}	1,500 - 1,900	1,750
TCOD _{cr}	3,000 - 3,700	3,500
SS	345 - 542	464
VSS	218 - 450	384
TKN	400 - 900	650
NH ₃ -N	330 - 850	500
NO ₂ -N	-	-
NO ₃ -N	-	-
T-P	140 - 180	175
Alk.(asCaCO ₃)	1,700 - 2,200	2,000

였다. NH₃-N/TKN은 0.77로 조사되었으며 NO₂⁻와 NO₃⁻는 존재하지 않는 것으로 나타났다. 한편, T-P는 질소화합물에 비하여 상대적으로 낮은 140 ~ 180mg/L 범위였다.

2.2 실험 장치

호기성 회분식 실험에 사용된 장치는 반응조, 산기관 그리고 생물막 여재 등으로 구성되어 있으며, 반응조는 두께 5 mm의 투명한 아크릴 사각형으로 32cm × 32cm × 30cm 크기이며, 공기와 폐수의 완전한 혼합이 이루어지도록 하였고 반응조의 유효용적은 23 L로 제작되었다. 반응조 내부여재는 20cm X 16cm X 2cm의 망상형(lock or luffa type) 여재를 6개 설치하였고 미생물의 충분한 부착을 위하여 초기단계를 두었으며, 반응조내의 여재 비표면적은 총 0.192m²이었다. 또한 탈질과정에서의 유기물 분해 특성을 파악하기 위한 준협기성 회분식 반응조는 유효용적 20 L의 아크릴 원형관을 이용하였으며, 상부는 공기를 차단하기 위하여 밀폐하였고 완전혼합을 위하여 30 rpm의 저속모터 및 혼합패

들을 설치하였다. 준협기성 미생물은 부유성장조건에서 성장하였으며, 반응조내의 DO는 0.1 mg/L이하를 유지하였다. Fig. 1은 호기성 고정생물막 회분식 반응조의 구조를 나타낸 모식도이다.

2.3 실험 방법

연속식 반응조의 호기성 고정생물막을 이용하여 폐수를 일정한 농도로 반응조에 회분식으로 주입하고, 처리수 분석을 통한 미생물의 적응여부를 판단하기 위한 약 30일 정도 초기단계를 거친 후 실험이 수행되었다. 시료채취는 초기 기질의 농도변화가 심한 경우에는 1시간 간격으로 실시하였고, 약 30시간 이후부터는 시간간격을 2 - 4 시간으로 늘려 채취하였다. 분석은 미국 Standard Method⁵⁾에 의하여 시료채취 후 바로 수행되었고, 반응조내의 DO를 3-4 mg/L로 유지하기 위해 DO meter(model 57, YSI)를 고정 설치하였다. 용존 유기물 분석은 시료를 0.45μm GF/C(Whatman)여과지로 여과한 후 측정하였고, 질산화억제가 필요한 실험에서는 질산화 억제제(nitrification inhibitor formula 2533 : HACH Company)를 주입하였다.

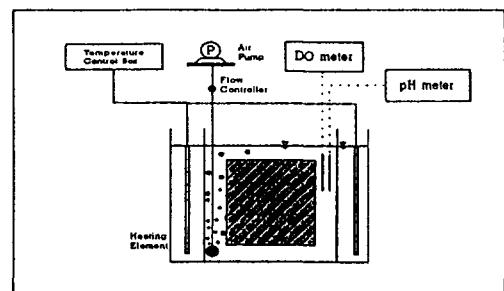


Fig. 1 Schematic of aerobic fixed biofilm reactor

3. 결과 및 고찰

3.1 유기물의 특성분류

(1) 생물학적 분해 불가능한 용존유기물(S_I)

유입 폐수내에 함유하고 있는 생물학적 분해불가능한 용존유기물을 분류할 수 있는 방법으로는 SCOD와 SBOD₂₀의 차이로서 산정될 수 있으며, 또한 호기성 회분식 반응조 실험을 이용하여 최종적으로 분해가 이루어지지 않는 SCOD로 산정할 수 있다.

Fig. 2는 SCOD와 SBOD₂₀의 실험결과를 나타낸 것으로 원폐수의 SCOD는 1,670 mg/L, SBOD₂₀는 1,400mg/L를 나타내었다. 따라서 생물학적 분해불가능한 용존유기물(S_I)은 270 mg/L로 원폐수 SCOD에 대하여 약 16.2%임을 알 수 있다. 그러나 SCOD와 SBOD₂₀ 값의 차이로 얻어진 생물학적 분해불가능한 용존유기물(S_I)농도는 순수한 원폐수의 생물학적 분해불가능한 성분이 아니며, 미생물의 신진대사로 인하여 생성되는 inert물질을 포함하게 된다. 그러므로 순수한 원폐수에 함유하고 있는 생물학적 분해 불가능한 성분을 도출하기 위해서는 원폐수의 생물학적 분해 불가능한 용존성 유기물($S_{I,i}$)과 미생물의 신진대사에서 생성되는 용존성 inert 유기물($S_{I,p}$)을 분류하여 산정하여야 한다.

생물학적 폐수처리과정에서 미생물의 신진대사로 생성되는 inert 유기성분을 구분하기 위하여 기질을 돈사폐수와 100% 생물학적 분해 가능한 기질을 비교하므로서 산정될 수 있는데, glucose의 경우는 모든 유기물의 분해과정에서 생성되는 중간물질로 간주되어 초기 inert물질은 함유되지 않아 원폐수와 비교하여 $S_{I,p}$ 도출에는 문제가 없

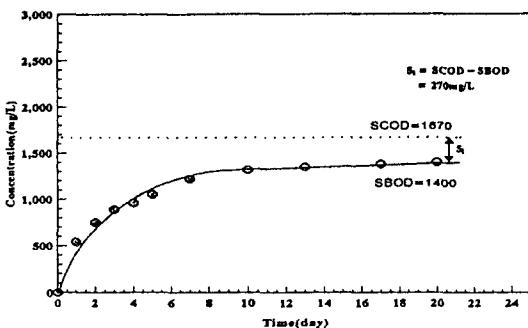


Fig. 2 S_I calculation using the relationship between COD and BOD.

을 것으로 판단되었다.

따라서 본 실험에서는 2개의 회분식 생물막반응조를 돈사폐수와 glucose로 각각 구분하여 실험이 수행되었으며, 질산화에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 질산화의 억제제를 첨가하였다. 동일조건에서 2회에 걸쳐 실험이 수행되었으며 실험 결과는 Fig. 3 과 Fig. 4 에 제시하였다.

Fig. 3은 원폐수와 glucose의 SCOD를 각각 1,670mg/L과 1,576 mg/L에서의 결과로 최종 SCOD는 각각 315mg/L와 98mg/L를 나타내었다. 따라서 두 기질의 농도를 동일한 조건으로 보정하면 원폐수의 $S_{I,i}$ 와 미생물에 의하여 생성된 $S_{I,p}$ 는 각각 204.8mg/L과 110.2mg/L로 나타났다. 그러므로 원폐수내에 함유되고 있는 생물학적 분해불가능한 용존유기물 성분의 함유계수인 Y_I ($S_{I,i}/S_{T,i}$: 폐수내의 용존성 inert COD/폐수의 용존성 COD)와 미생물 신진대사로 생성되는 inert물질의 생성계수인 Y_p ($S_{I,p}/(S_{T,i}-S_I)$: 신진대사로 인한 생성 inert COD/분해된 용존성 COD)는 각각 0.1226과 0.0813를 나타내었다.

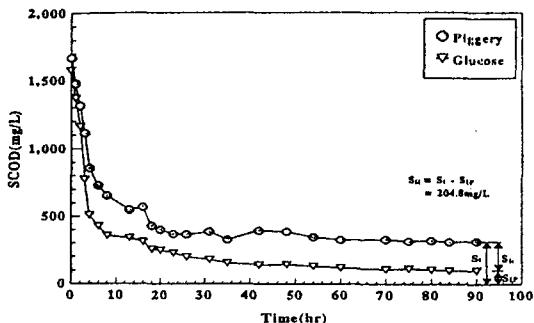


Fig. 3. S_I , $S_{I,p}$ and calculation using SCOD of glucose and piggery wastewater.

Fig. 4 는 원폐수와 glucose의 SCOD농도를 각각 1,649mg/L과 1,700mg/L에서의 회분식 실험결과로, 원폐수와 glucose의 최종 SCOD는 각각 275mg/L과 90mg/L를 나타내었다. 따라서 원폐수내의 순수한 inert 물질인 $S_{I,p}$ 와 미생물에 의하여 생성되는 inert물질인 $S_{I,p}$ 를 구하면 각각 190.7mg/L 와 84.3mg/L이며, 원폐수내에 함유되고 있는 생물학적 분해불가능한 용존유기물 성분의 함유계수인 Y_I 과 미생물 신진대사로 생성되는 inert물질의 생성계수인 Y_p 는 각각 0.1122와 0.0592를 나타내었다.

이상의 BOD와 COD의 관계와 회분식 실험등 2가지 측정방법에 의한 결과를 종합하면 돈사폐수에 함유하고 있는 생물학적 분해 불가능한 유기물 $S_{I,p}$ 는 용존 COD의 약 11 - 12 %임을 알 수 있었고, 생물학적 처리과정 중 미생물의 신진대사로 생성되는 inert 물질 $S_{I,p}$ 는 약 6 - 8 %로 나타났다. 이는 Orhon 등⁴⁾이 보고한 낙농폐수에서의 약 6 - 7 %와 거의 유사함을 알 수 있었다. 따라서 돈사폐수의 생물학적 공정의 처리수는 순수한 폐수의 특성만으로 볼 때, 용존 COD의 약 17 - 20%, 총 COD의

10 - 12 %는 처리되지 않고 유출수로 남게 됨을 알 수 있다. Koopman⁶⁾의 실험 결과에 의하면 도시하수의 경우 S_I 성분이 TCOD_{cr}에 대하여 5.6 %임을 보였고, 이⁷⁾에 의한 도시하수의 연구에서는 약 8.9 %를 제시하였다. 또한 양돈폐수에 대한 연구⁸⁾에서는 용존 COD의 약 22.2 %로 비교적 높은 값을 제시하였다.

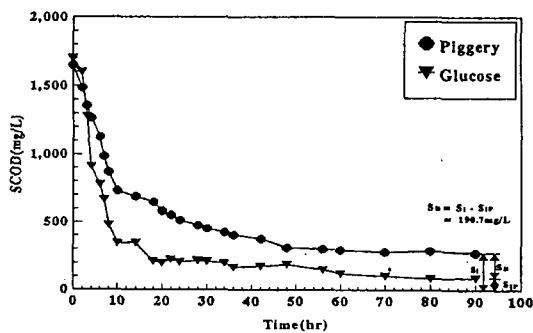


Fig. 4 S_I , $S_{I,p}$ and calculation using SCOD of glucose and piggery wastewater.

(2) 생물학적 분해가 쉬운 용존유기물(S_S)

생물학적 분해가 쉬운 용존유기물(S_S)성분은 유기산(VFA), 탄수화물, 알코올, 펩톤, 그리고 아미노산과 같은 저분자 유기물이 대표적이며, 이들의 결정은 분석에 의한 직접 측정하는 방법⁹⁾과 회분식 실험을 이용하여 산소소모율(oxygen uptake rate : 이하 OUR)변화로 결정하는 방법^{10, 11)} 그리고 반응조내에서 기질의 급격한 감소정도에 의한 실험적 결정방법^{10, 12)}, 그리고 ultramembranes와 gelfiltration과 같은 COD기질의 물분자량을 평가하여 분자량(mole weight)이 1000이하의 저분자 성분으로 결정하는 방법¹³⁾등으로 평가될 수 있다.

본 연구에서는 생물학적 분해가 쉬운 용

존유기물(S_S)성분을 평가하기 위하여 호기성 회분식 반응조를 이용하여 기질의 급격한 감소와 OUR에 의한 방법, 그리고 준협기성 회분식 반응조를 이용하여 탈질과정에서 소모되는 유기물로 결정하는 방법이 적용되었다.

Fig. 5 는 초기 기질의 농도가 상이한 원폐수에 대하여 4회에 걸쳐 호기성 회분식 생물막 반응조에서의 기질 특성을 평가한 것으로 고농도의 질소를 함유한 폐수를 이용할 경우 질산화에 대한 영향을 고려하여 질산화 억제조건에서 수행되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서도 질산화 억제에 의한 유기물 특성 영향을 파악하기 위하여 <Batch 1>과 <Batch 2> 실험에서는 억제제를 첨가하지 않았으며, <Batch 3>과 <Batch 4>는 억제제를 첨가하여 실험하였다. 실험결과, 질산화 억제에 의한 유기물의 특성변화는 없는 것으로 나타났으며, 약 6시간에서 10시간사이에 용존 COD는 급격히 감소하였는데, 감소된 용존 COD는 1,008 mg/L, 771.3mg/L, 1,000.7mg/L, 그리고 919.6mg/L로 나타났다. 이를 원폐수의 용존 COD에 대한 S_S 성분의 비로 나타내면, 60.4%, 59.0%, 59.9%, 그리고 55.8%로서, 유입 용존 COD의 약 56% ~ 60% 정도가 생물학적 분해가 쉬운 용존유기물(S_S)성분임을 알 수 있다.

Fig. 6 은 호기성 회분식실험에서 유기물 분해에 따른 OUR의 측정 결과로서, 초기 OUR은 $148 \text{ mgO}_2/\text{L/hr}$ 로 높게 유지되었으나 6시간 이후 약 $51 \text{ mgO}_2/\text{L/hr}$ 로 급격한 감소를 보였으며, 약 20시간 이후에는 일정한 OUR을 보였다. 따라서, 초기의 높은 OUR은 생물학적 분해가 쉬운 유기물(S_S)에 의한 것으로 판단되며 S_S 의 정량적 계산은 감소후 안정된 OUR까지의 면적으로 계산할 수 있다.¹⁰⁾ 본 실험에서 OUR에 의

하여 계산된 S_S 는 958 mg/L 로 유입 SCOD에 대해 약 57.4 %로 나타났다.

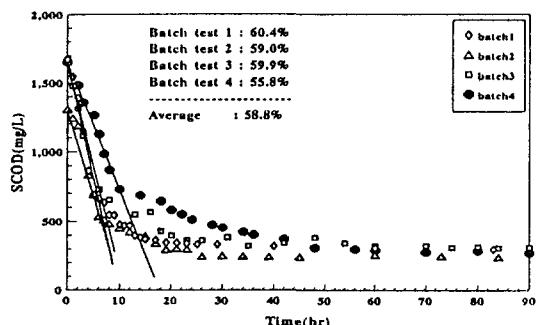


Fig.5 S_S calculation using substrate consumption in batch test.

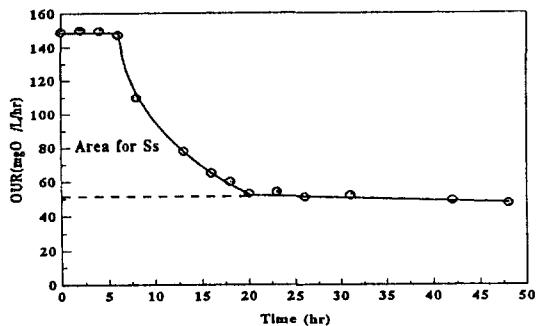


Fig. 6 S_S calculation using OUR of heterotrophic bacteria.

Fig. 7 은 준협기성 회분식실험을 이용한 S_S 의 결정 실험결과로서, 준협기성 반응조에서의 탈질 공정이 수행되면서 전자공여체로 제공되는 유기물의 소모속도와 질산성 질소(NO_3^- -N)의 탈질경향을 분석하므로써 수행되었다. 초기 SCOD농도 434 mg/L 은 탈질속도가 급속히 증가함에 따라 초기 4시간 동안 약 180mg/L 로 감소하였으며,

$\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도도 초기 120mg/L에서 50.1mg/L로 감소하였다. 따라서, 준협기성 반응조에서의 S_s 는 초기 급속한 탈질반응이 진행되는 동안의 SCOD감소량으로 산정하였는데, 그 값은 254mg/L로서 초기 SCOD의 약 58.5%에 해당되었다.

이상 3가지 측정방법에 의해 산정된 돈사폐수의 생물학적 분해가 쉬운 유기물(S_s)은 유입 SCOD의 평균 58.2%를 차지하였으며, 총 COD에 대해서는 약 35.6%인 것으로 나타났다.

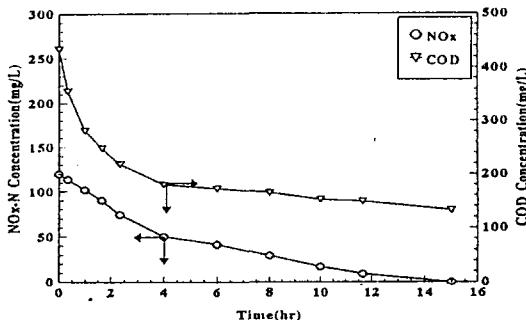


Fig. 7 S_s calculation using denitrification in anoxic batch test.

(3) 생물학적 분해 불가능한 부유성 유기물 (X_I)

돈사폐수에 함유되어 있는 초기 부유성 inert물질의 결정은 COD와 BOD의 관계와 회분식 반응조실험을 통하여 평가되었다.

Fig. 8 은 COD와 BOD의 관계를 이용한 X_I 결정을 나타낸 것으로 초기 TCOD와 SCOD는 각각 2,730mg/L과 1,750mg/L이었으며, TBOD₂₀과 SBOD₂₀은 각각 1,670mg/L과 1,400mg/L로서 $X_I \{ (TCOD - SCOD) - (TBOD_{20} - SBOD_{20}) \}$ 는 710mg/L로 산정되었다. 따라서, COD와

BOD의 관계에서 산정한 X_I 는 총 COD의 약 26%로 나타났다.

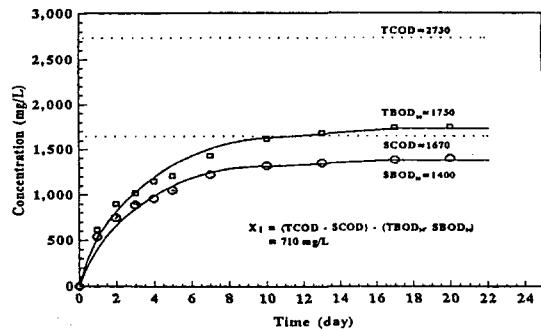


Fig. 8 X_I calculation using COD and BOD.

Fig. 9 는 Germirli 등³⁾이 제시한 회분식 반응조를 이용한 X_I 결정의 실험 결과를 나타낸 것으로 최종 COD의 농도 변화가 없을 때 TCOD와 SCOD의 차를 이용하게 되는데 최종 TCOD는 335mg/L이고 SCOD는 275mg/L로서 유입 TCOD의 약 2.2%가 X_I 에 해당되는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 8 에서 결정된 X_I 분율인 26%와는 많은 차이를 보여주고 있는데, 이는 본 실험에서 이용된 생물막 여재(media)는 luffa 형태로서 다른 여재보다 폐수내의 부유성 물질의 결림(enmeshment)현상이 크게 나타나므로 X_I 성분을 나타내는 부유물질이 상대적으로 적은 것으로 판단된다. 따라서, X_I 를 결정하기 위하여 Germirli 등³⁾이 제시한 회분식 실험은 고정 생물막 반응조에서는 정확히 산정 될 수 없음을 알 수 있었다. 그러므로 돈사폐수의 X_I 는 COD와 BOD의 관계에서 산정된 유입 TCOD의 약 26%로 결정하였다.

Table 2. Average fractions of influent COD_{Cr} in piggery wastewater.

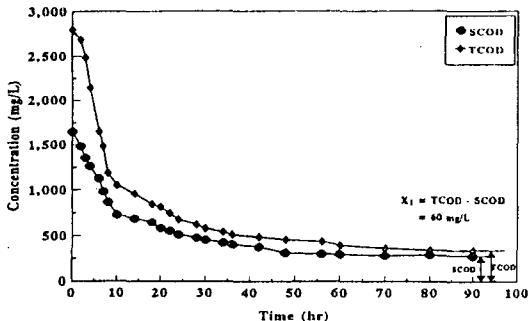


Fig. 9 X_I calculation using TCOD and SCOD.

(4) 생물학적 분해가 느린 유기물(X_S)

생물학적 분해가 느린 X_S 의 성분은 용존성과 입자성으로 존재하고 있으며, 이들은 가수분해 등에 의하여 생물학적 분해가 쉬운 용존 유기물 (S_S)로 전환되어 heterotrophs에 의하여 소모된다.¹⁴⁾ 본 실험에서 X_S 의 결정은 앞에서 산출된 성상을 토대로 다음과 같이 물질수지 계산에 의하여 산정하였다.

$$X_S = \text{TCOD} - X_I - S_S - S_{I,i}$$

상기의 물질수지식을 이용하여 X_S 값을 계산한 결과, 약 850.1 mg/L로 유입 TCOD에 대해 약 31.1%를 나타내었다.

다음 Table 2는 여러 실험방법을 이용하여 결정된 돈사폐수의 유기물 특성분율의 평균치를 제시한 것이다.

3.2 Heterotrophs의 최대비성장을 $(\mu_{h,max})$ 결정

본 실험 결과에서 도출된 자료를 이용하여 유기물제거에 관여하는 heterotrophs의 최대 비성장속도(maximum specific growth rate : 이하 $\mu_{h,max}$)를 산정하였다.

Items	Avg. (mg/L)	TCOD (%)	SCOD (%)
Influent TCOD	2730	100	167
Influent SCOD	1670	61.1	100
RDCOD(S_S)	971.9	35.6	58.2
SDCOD(X_S)	850.1	31.1	
Soluble	499.3	18.3	29.9
Suspended	350.8	12.8	
NBDsolubleCOD(S_I)	198	7.3	11.9
NBDsuspendedCOD(X_I)	710	26	

$\mu_{h,max}$ 는 활성(active) 있는 VSS당 합성으로 증식된 활성 VSS로서 간단히 d^{-1} 또는 $mgAVSS/mgAVSS/d$ 로 표현되며, 기질 제거당 미생물의 생성계수인 Y_h 와 최대 S_S 성분의 소모율인 K_m ($mgCOD/mgAVSS/d$) 과 밀접한 관계를 갖게 된다.

$\mu_{h,max}$ 를 산정하기 위한 식은 Ekama 등¹⁰⁾에 의하여 제시된 바 있는데 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\mu_{h,max} &= K_m \cdot Y_h \quad (mgAVSS/mgAVSS/d) \\ K_m &= \{1/(1-f_{cv} \cdot Y_h)\} \cdot OUR_{max} \cdot \\ &24 \cdot (V_{ww} + V_{ml}) / (f_{av} \cdot X_v \cdot V_{ml})\end{aligned}$$

여기서 f_{cv} 는 VSS에 대한 COD당량으로서 이론적으로 1.42이며, Y_h 는 COD제거당 VSS 생성량으로서 임등¹⁵⁾에 의한 돈사폐수의 Y_h 는 0.47 mgVSS/mgCOD로 나타났다. 또한 OUR_{max} 는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 148 mgO₂/L/hr이며, 반응조부피 V_{ml} 과 폐수량 V_{ww} 는 각각 23 L로 동일하다. 초기 반응조내 MLVSS농도인 X_v 는 4,800 mg/L로서, 이 중 active 미생물인 AVSS는 반응시간이 종료된 후의 내생단계로 인한 미생물의 감소량으로 측정이 가능하며 $f_{av} = (X_{vi} - X_{v\infty}) / (X_{vi} \cdot (1-f_E))$ 로 표현된다. 또한 이때 내생단계로 인하여 생성되는 미생물

의 inert 물질 분율인 f_E 를 반드시 고려하여야 하는데 McCarty와 Brodersen¹⁶⁾, 그리고 Washington과 Hetling¹⁷⁾에 의하면 0.2로서 폐수의 특성등에 따라 변함이 적은 것으로 보고되어 있다. 그 후 Marais와 Ekama¹⁸⁾도 호기성 소화를 위한 모델에서 이 수치를 적용하였다.

따라서 본 실험의 결과를 토대로 $\mu_{h,max}$ 와 K_m 을 산정하면 다음과 같다.

$$f_{av} = (4800 - 2700)/(4800 \cdot (1-0.2)) \\ = 0.547$$

$$K_m = \{1/(1-1.42 \cdot 0.47)\} \cdot 148 \cdot 24 \\ \cdot (23+23)/(0.547 \cdot 4800 \cdot 23) \\ = 8.135 \text{ (mgCOD/mgAVSS/d)}$$

$$\mu_{h,max} = 8.135 \cdot 0.47 \\ = 3.823 \text{ (mgAVSS/mgAVSS/d)}$$

돈사폐수의 호기성공정에 있어 부착생물막중 유기물제거에 직접적으로 관여하는 활성미생물은 약 54.7%로 간주되며, 기질의 소비속도는 8.135 d^{-1} 이고 heterotrophs의 최대 성장율은 3.823 d^{-1} 로 평가되었다. 이는 Ekama 등¹⁰⁾에 의한 도시하수의 연구결과인 활성미생물 분율 44%, 기질의 소비속도 7.93 d^{-1} , 그리고 heterotrophs의 최대 성장을 3.6 d^{-1} 보다 높게 나타났으며, 최근 간헐폭기기에 의한 국내 양돈폐수의 연구결과⁸⁾에서는 각각 42.4%, 10.86 d^{-1} , 그리고 4.89 d^{-1} 로서 본 연구결과와 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

돈사폐수의 특성분류를 위한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 돈사폐수는 유입 용존 COD의 약 88.1

%인 생물학적 분해가능한 유기물을 함유하고 있으며, 이중 약 66.1 %가 분해가 빨리 진행되는 Ss성분으로 나타났다.

- 2) 생물학적 분해 불가능한 용존 COD는 유입 용존 COD의 약 11 - 12%를 함유하고 있으며, 미생물의 신진대사에 의하여 용존 inert COD가 약 6 - 8% 생성됨을 알 수 있었다.
- 3) 폐수의 특성만을 고려하여 볼 때 돈사폐수의 생물학적 처리수에는 최소한 유입 용존 COD의 약 17 - 20% 정도는 남게 됨을 알 수 있다.
- 4) 총 부유성 COD에 대한 생물학적 분해 불가능한 부유성 COD는 약 67 %로서 많은 비중을 차지하고 있어, 초기 원폐수의 고액분리가 중요함을 알 수 있고 생물막의 결립(enmashment)에 의한 제거가 가능하였다.
- 5) 돈사폐수의 호기성공정에 있어 부착생물막중 활성미생물은 약 54.7 %로 간주되며, 기질의 소비속도는 8.135 d^{-1} 이고 heterotrophs의 최대 비성장율은 3.823 d^{-1} 로 평가되었다.

참 고 문 헌

- [1] Henze, M., et al., Activated Sludge Model No. 1, IAWPRC Sci. and Techn. Report No. 1, IAWPRC, London, 1987.
- [2] Dold, P. L., et al., A General Model for the Activated Sludge Process, *Prog. Wat. Tech.*, 12, 6, 47 - 77, 1980.
- [3] Germirli, F., et al., Assessment of the Initial Inert Soluble COD in Industrial Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.*, 23, 1077 - 1086, 1991.

- [4] Orhon, D., *et al.*, Biological Treatability of Dairy Wastewaters, *Wat. Res.*, 27, 4, 625 - 633, 1993.
- [5] APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed. Washington D. C., 1992.
- [6] Koopman B, *et al.*, Methematical Modeling and Experimental Verification for the Predenitrification Process, University of Florida, 1989.
- [7] 이호식, 저농도 하수에서의 생물학적 영양소 제거공정의 처리특성, 고려대학교 박사학위 논문, 53-55, 1995.
- [8] 서인석, 간헐폭기 활성슬러지 시스템에 의한 양돈폐수의 영양염류 처리, 충북대학교 박사학위 논문, 105-110, 1995.
- [9] Henze, M., Characterization of Wastewater for Modeling of Activated Sludge Process, *Wat. Sci. Tech.*, 25, 6, 1 - 15, 1992.
- [10] Ekama, G. A. and Marais G. v. R., Procedures for Determining Influent COD Fractions and the Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems, *Wat. Sci. Tech.*, 18, 91 - 114, 1986.
- [11] Kappeler, J. and Gujer, W., Estimation of Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass under Aerobic Conditions and Characterzation of Wastewater for Activated Sludge Modeling, *Wat. Sci. Tech.*, 25, 6, 125 - 139, 1992.
- [12] Henze, M. *et al.*, Activated Sludge Model No.2 Presented in IAWQ Specialized Seminar on Modeling and Control of Activated Sludge Process, Copenhagen, Denmark and to be Published as IAWQ Sci. Tech. Rep., IAWQ, London, 1994.
- [13] Dold, P. L., Measurement of the Readily Biodegradable COD Fraction by Ultrafiltration, *Wat. Res. Report*, UCTW 57, Dep. Civil Eng., University of Cape Town, South Africa, 1986.
- [14] Henze, M., Methods for Wastewater and Biomass Characterization. Proceedings of the Workshop on Interaction of Wastewater, Biomass and Reactor Configuration in Biological Treatment Plants, Copenhagen, Denmark (August). IAWPRC 0273 - 1223/ 92, 1991.
- [15] 임재명의 2인, 망상형 고정층을 이용한 돈사폐수 처리시 생물막 부착특성, 한국수질보전학회지, 제 10 권, 제 1 호, 41, 1994.
- [16] McCarty, P. L. and Brodersen, C. F., Theory of Extended Aeration Activated Sludge, *JWPCF*, 34, 1095, 1962.
- [17] Washington, D. R. and Hetling, L. J., Volatile Sludge Accumulation in Activated Sludge Plants, *JWPCF*, 37, 499, 1965.
- [18] Marais G. v. R. and Ekama, G. A., The Activated Sludge Process Part 1 - Steady State Behaviour, *Water S. A.*, 2, 4, 163, 1976.