

미생물 호흡률 측정에 의한 관거시스템 유형별 하수의 기질 분율 평가

Assessment of the Organic and Nitrogen Fractions in the Sewage of the Different Sewer Network Types by Respirometric Method

박종부[†] · 허형우 · 강 호* · 장성언**
 Jong-Bu Park[†] · Hyung-Woo Hur · Ho Kang* · Sung-oun Chang**

(주)한화건설 기술연구소, *충남대학교 환경공학과, **(주)엔바이로솔루션
 Research Institute of Technology, Hanwha E&C Corp.

*Department of Environmental Engineering, Chungnam University

**EnviroSolution Co., Ltd.

(2009년 3월 9일 접수, 2009년 7월 28일 채택)

ABSTRACT : Respirometric analysis of domestic sewage by measuring oxygen uptake rate(OUR) was carried out for the experimental assessment of the organic and biomass fractions. The data of the organic and biomass fractions in sewage is essential for the activated sludge model to optimize the biological treatment plant. As a result of this study, the fractions of readily biodegradable substrate(S_S), slowly biodegradable substrate(X_S), inert soluble substrate(S_I), inert particular substrate(X_I) and heterotrophic biomass(X_{HAB}) were about 26.6%, 41.5%, 8.5%, 14.7% and 8.7% on the basis of chemical oxygen demand(COD_{Cr}), respectively. And the fractions of nitrogen were also studied. The fractions of soluble nitrate nitrogen(S_{NO}), soluble ammonia nitrogen(S_{NH}), soluble nonbiodegradable organic nitrogen(S_{NI}), soluble biodegradable organic nitrogen(S_{ND}) and slowly biodegradable organic nitrogen(X_{ND}) were about 3.7%, 64.9%, 4.7%, 9.4% and 17.4%, respectively.

Key words : Organic & Nitrogen fractions, OUR, Oxygen uptake rate, Respirometry

요약 : 산소소비속도 측정에 의한 미생물 호흡률 분석방법에 의해 하수의 유기물질과 미생물 분율을 평가하였다. 하수의 유기물과 미생물 분율은 생물학적 공정의 모델링을 위한 중요한 기초자료이다. 본 연구에서 하수의 유기물 분율을 측정된 결과, 미생물에 의해 분해가 빠른 유기물, 분해가 느린 유기물, 분해되지 않는 용존성 유기물, 분해되지 않는 고형 유기물과 종속영양미생물의 분율은 각각 26.6%, 41.5%, 8.5%, 14.7% 및 8.7%였다. 또한, 질소 분율을 측정된 결과, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 용존성 비분해 유기성 질소, 용존성 분해 유기성 질소 및 분해가 느린 유기성 질소의 분율은 각각 약 3.7%, 64.9%, 4.7%, 9.4% 및 17.4%였다.

주제어 : 유기물 및 질소 분율, 산소소비속도, 미생물 호흡률

1. 서론

2005년부터 시작된 노후 하수관거 교체 및 우·오수 관거 분리 사업으로 하수도 보급률이 85.5%로 증가하였으며 분류식 하수(Separated sewer)의 유입으로 기존 하수처리장의 부하량 증가에 따른 신규 하수종말처리장의 건설 및 기존 활성슬러지 공법의 고도처리 개선이 필요하다.¹⁾ 반면, 동일 관로를 이용한 우·오수 동시 배제시스템인 합류식 하수(Combined sewer)와 분류식과 합류식의 시스템이 혼재되어 있는 합병식 하수(Mixed sewer)의 분류식화에 따라 지하수 및 우수의 하수처리장 유입 감소로 하수유입량이 감소하는 추세를 보이고 있다.

이러한 기존 하수처리장의 고도처리 전환 및 신설을 위해

서는 도입공정의 적용 가능성과 설계인자들의 도출이 필요하며 이에 많은 시간과 비용이 소모되는 비효율적인 면이 있어, 시뮬레이션을 이용하여 설계 및 운영의 최적조건을 도출하는 방법이 대두되고 있다. 최근 생물학적 폐수처리 시스템에서 오염물질의 거동을 예측하기 위해 IAWQ의 Task Group에 의해서 개발된 활성슬러지모델(Activated Sludge Model, ASM)이 널리 사용되고 있다. 이 모델은 실제 검증된 모델로서 모델 사용시 설계 및 실제 플랜트의 운전에서 발생하는 문제를 비용이나 시간의 낭비 없이 손쉽게 해결하는 방법을 제시할 수 있다.²⁾ 이러한 ASM 모델의 경우 유기물 및 질소 원에 대한 구성성분 산정을 위한 원수의 성분분석이 요구되고 있어 일반적으로 OUR을 이용한 성분 분석이 수행되고 있

[†] Corresponding author : E-mail : jongbu@hanwha.co.kr Tel : 031-874-5910 Fax : 031-874-5912

다.³⁾ 그러나, 국내의 경우 하수수집방법이 혼재되어 있어 합류식, 합병식 및 분류식 하수 수집방식에 따른 하수 성상 분석에 대한 자료는 미흡한 실정이다.

유기물 측정방법은 막여과 및 응집침전을 통한 물리화학적 분석법과 기질을 분해할 때 전자수용체로써 산소를 이용하는 속도를 나타내는 산소섭취율(Oxygen Uptake Rate) 또는 호흡율(Respiration Rate)을 측정하는 생물학적 평가법이 사용되고 있다.⁴⁾ 이 중 생물학적 평가법은 하수 및 미생물의 특성을 분석할 수 있을 뿐만 아니라 생물학적 처리공정에서 생물학적으로 분해가능한 물질의 분해 및 속도 예측이 가능한 방법으로 알려져 있다.⁵⁾

유기물의 특성을 나타내기 위한 활성슬러지 공정모사 프로그램인 ASM No. 1(Activated Sludge Model No. 1) 등에서는 하수의 COD 성분을 미생물의 기질 이용 속도에 따라 4가지 성상으로 구분하고 있다.⁴⁾ 이는 종속영양 미생물에 의해 쉽게 분해되는 비교적 간단한 물질로 구성되어 있는 용존 유기물질(readily biodegradable substrate, S_s), 생물학적 분해가 느린 입자성 유기물질(slowly biodegradable substrate, X_s), 미생물에 의해 분해되지 않는 용존 유기물질(soluble inert organic matter, S_i) 및 미생물에 의해 분해되지 않는 입자성 유기물질(particulate inert organic matter, X_i)로 구성되며 종속영양미생물인 heterotrophic biomass(X_{HAB})도 하수에 포함된 것으로 가정하고 있다. S_s 는 종속영양미생물에 의해 직접 사용되고 X_s 는 가수분해에 의해 S_s 로 전환된 후 사용된다. 또한, S_i 는 유출수를 통해 배출되며 X_i 는 침전되어 슬러지와 함께 폐기된다.

또한, 질소 성분은 크게 6가지 성상으로 구분하며 미생물에 의해 쉽게 이용될 수 있는 용존 유기질소(readily biodegradable organic nitrogen, S_{ND}), 생물학적 분해가 느린 입자성 유기질소(slowly biodegradable particulate nitrogen, X_{ND}), 미생물에 의해 분해되지 않는 용존 유기질소 soluble inert organic nitrogen(S_{NI}), 미생물에 의해 분해되지 않는 입자성 유기질소 particulate inert organic nitrogen(X_{NI}), 암모니아 이온인 soluble ammonia nitrogen(S_{NH}) 및 아질산성 질소와 질산성 질소의 soluble nitrate nitrogen(S_{NO})로

구성된다.

본 연구에서는 미생물 호흡률 측정법을 적용하여 하수의 구성성분을 분석함으로써 수집방식에 따른 오수의 유기물질과 질소성분의 특성을 규명하여 분류식화에 따른 고농도 오수의 생물학적 공정모델링의 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 슬러지 및 하수

실험에 사용되는 슬러지는 SRT 10일로 운영되고 있는 A2O 계열의 하수처리장에서 채취하여 사용하였으며 채취한 슬러지는 세척 후 2시간 이상 포기시켜 슬러지가 포함하고 있을 잔류 COD 및 기타 성분들을 제거하였다. 또한 세척으로 인하여 부족할 수 있는 인 성분과 알카리도를 각각 KH_2PO_4 (5 mgP/L)와 $NaHCO_3$ (200 mgCaCO₃/L)로 보충하여 주었다. 유기물질과 질소 성분의 분석을 위하여 분류식 지역 N시, P시, I시 등 3개소, 합류식 지역 S시 1개소 및 합병식 지역 L시 1개소의 하수처리시설 및 하수처리장 유입수를 유량비에 따라 혼합한 하수를 사용하였으며 하수의 평균 성상은 Table 1과 같다.

2.2. 성상 분석 및 미생물 호흡률 분석방법

유기물질의 성상 분석을 위하여 전처리된 슬러지 1,000 mgVSS/L, KH_2PO_4 5 mgP/L, 알카리도 200 mgCaCO₃/L의 호기성 회분식 조건에서 시간에 따른 하수의 호흡률을 측정하였다. 질산화에 의한 산소 소모를 방지하기 위하여 질산화 억제제 ATU(allythiourea) 20 mg/L를 주입하였으며 슬러지의 내생호흡에 의한 산소 소모를 제외하기 위하여 하수를 첨가하지 않은 슬러지만의 호흡률을 측정하였다. 미생물 호흡률(OUR, Oxygen uptake rate)은 Comput-OX Respirometer 4R(미국 N-con사)을 사용하여 측정하였다.

하수 내 종속영양미생물의 농도를 측정하기 위하여 1 μm GF/C 필터로 여과한 하수에 질산화 억제제인 ATU 10 mg/L를 주입한 후 호기성 회분식 조건에서 시간에 따른 미생물 호흡률 및 soluble COD_{Cr}을 분석하였다.

또한, 하수 내 질소성분을 분석하기 위하여 하수 원수와 슬러지를 혼합한 후 연속적으로 포기하면서 회분식 조건에서 질소 농도를 분석하였다.

TCOD_{Cr}, SCOD_{Cr}, 총질소, TKN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, MLSS, MLVSS 등을 수질오염공정시험법 및 Standard Methods에 따라 분석하였다.⁶⁾

Table 1. Wastewater characteristics (unit : mg/L)

Type	Combined sewer		Separated sewer		
	S city	L city	N city	P city	I city
Total COD _{Cr}	134.6	245.2	460.0	368.3	448.0
Soluble COD _{Cr}	49.5	95.4	130.6	109.2	187.5
Total Nitrogen	27.6	39.7	60.9	44.3	40.4
NH ₄ -N	20.5	26.7	40.2	27.5	25.0

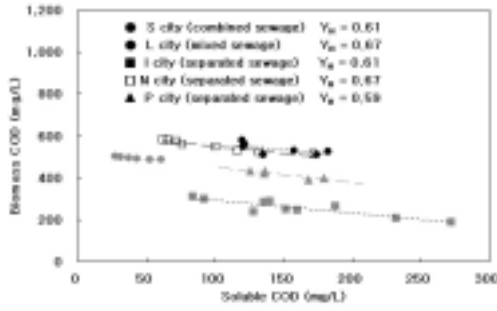


Fig. 1. Calculation of yield coefficients(Y_H) in the sewage of the different sewer network types.

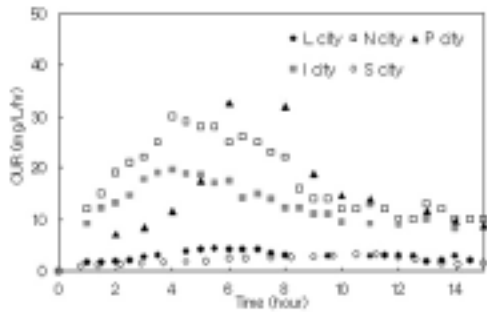


Fig. 2. Profiles of oxygen uptake rate of sewage filtrates.

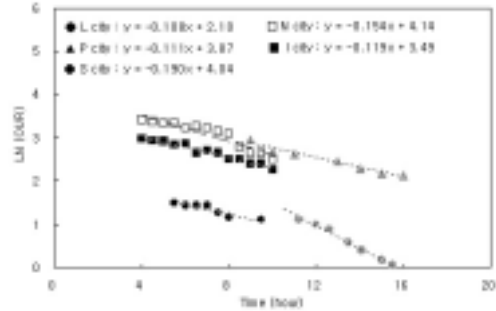


Fig. 3. Calculation of decay coefficients(b_H') in the sewage of the different sewer network types.

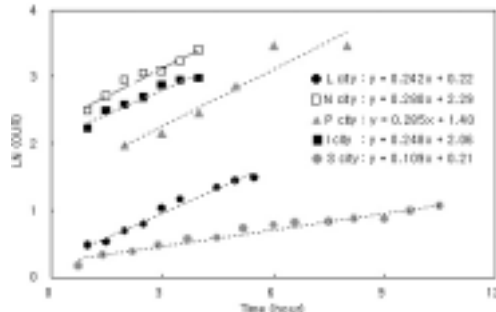


Fig. 4. Calculation of heterotrophic biomass(X_{HAB}) in the sewage of the different sewer network types.

3. 결과 및 고찰

3.1. 종속영양 미생물의 생성 계수 및 내생호흡계수 분석

유입원수의 성상을 분석하기 위해서 가장 먼저 측정되어야 하는 것이 종속영양 미생물의 성장계수(Y_H)와 내생호흡계수(b_H)이다.

Y_H 를 구하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째는 홍재용 등과 Orhon 등이 사용한 방법으로 용존물질만으로 구성된 하수에서 성장하는 미생물의 농도를 직접적으로 구하는 방법과 용존물질과 산소소비를 이용하여 구하는 방법이 있다.⁵⁾ 본 실험에서는 홍재용 등과 Orhon 등의 방법을 사용하여 여과한 유입원수와 미생물을 혼합한 후 회분식 호기성 조건에서 시간 경과에 따른 TCOD와 SCOD를 측정하여 Y_H 를 산정하였다. Biomass COD를 반응 시간에 따른 TCOD와 SCOD의 차에 의해 구한 후 종속영양 미생물의 Y_H 를 Biomass COD와 SCOD의 비로 산정한 결과, Fig. 1에서 보듯이, 종속영양 미생물의 Y_H 는 0.59~0.67(평균 0.63) mgCOD/mgCOD이었다. 이는 신항식 등이 적용한 0.67 mgCOD/mgCOD와 유사하였다.³⁾

또한, ATU를 20 mg/L와 여과한 유입수를 회분식 반응조에 주입하고 포기시키며 OUR을 측정하여 종속영양 미생물의

b_H 를 측정하였다. 하수내의 종속영양 미생물의 호흡률은 Fig. 2에서 보듯이 기질에 의한 성장으로 인해 지수 성장 곡선을 그리며 증가하고 이후에 기질의 소모와 더불어 급격히 감소하는 모습을 보인다.

Fig. 2에서 감소하는 부분에 자연로그를 취하여 선형화한 그래프의 기울기가 b_H' 이며 식(1)에 따라 종속영양 미생물의 b_H 를 산정하였다.

$$b_H = \frac{b_H'}{1 - Y_H(1 - f_p')} \quad (1)$$

여기서 f_p' 은 세포의 비활성 입자 비율(inert particulate fraction of the biomass)로 Vanrolleghem 등에 의하면 세포의 비활성 물질을 20%로 가정하여 산정하며 0.08을 적용하였다.⁸⁾ 종속영양 미생물의 b_H 는 0.24~0.43(평균 0.32) d^{-1} 이었으며 합류식 오수의 b_H 는 0.43 d^{-1} 으로 ASM No. 1에서 추천하는 0.24 d^{-1} 보다 높았다.³⁾ 이는 오수의 차집과정에 침입수 유입에 따른 저농도 오수에 의한 빈부하로 인한 것으로 판단되었다.

또한, 하수내의 X_{HAB} 는 Fig. 2의 호흡률 곡선의 지수 성장 부분에 자연로그를 취하여 Fig. 4과 같이 선형화한 후 신항식 등의 식(2)를 적용하여 산정하였다.³⁾ 식(2)는 heterotrophic

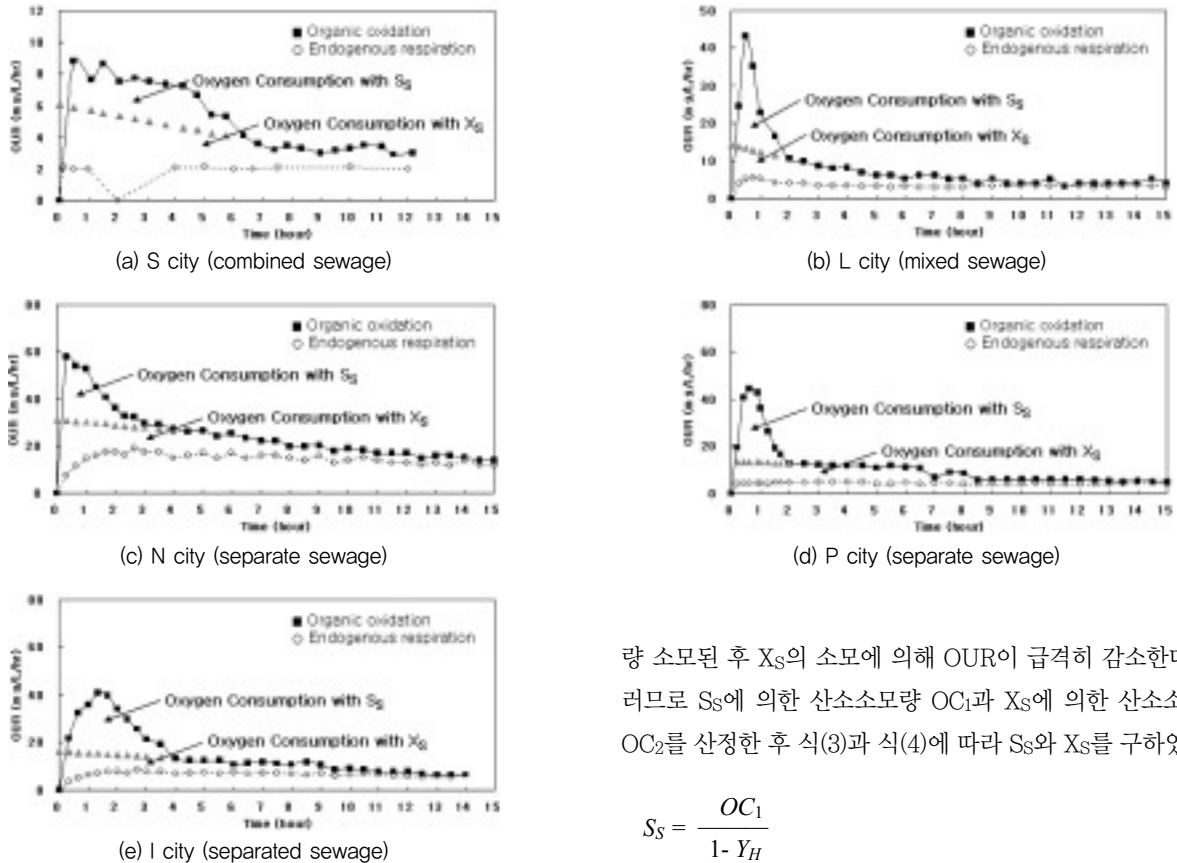


Fig. 5. Profiles of oxygen uptake rate of the sewage of the different sewer network types.

biomass의 성장식과 biomass 농도에 따른 산소 소모율을 연립하면 도출할 수 있다.

$$X_{HAB} = \frac{e^{(y-intercept)} \cdot 24}{\frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot (slope \cdot 24 + b_H)} \quad (2)$$

여기서 slope와 y-intercept는 호흡률 증가 곡선을 선형화 한 직선의 기울기와 y-절편을 나타낸다.

하수내 X_{HAB} 는 8.5~66.5(평균 30.5) mgCOD/L였으며 총 유입 COD의 3.5~11.0(평균 8.7)%였다. 이는 신항식 등의 10~24%에 비해 다소 낮은 수준이었다.³⁾ 또한, 하수 수집 방법에 따른 하수내 미생물 분율은 분류식 지역 4.4~14.5%, 합병식 지역 3.5%, 합류식 지역 11.0%로 하수 수집 방법과 하수내 X_{HAB} 과의 연관성은 크지 않은 것으로 판단되었다.

3.2. 하수 내 유기물질 성상 분석

유입수와 전처리한 미생물을 회분식 반응조에 주입하고 포기시키며 일정시간 간격으로 OUR를 측정한 결과는 Fig. 5에서 보듯이, 실험 초기의 높은 OUR은 S_S 의 소모에 의해 급격히 감소한다. 그러므로 S_S 에 의한 산소소모량 OC_1 과 X_S 에 의한 산소소모량 OC_2 를 산정한 후 식(3)과 식(4)에 따라 S_S 와 X_S 를 구하였다.

그러므로 S_S 에 의한 산소소모량 OC_1 과 X_S 에 의한 산소소모량 OC_2 를 산정한 후 식(3)과 식(4)에 따라 S_S 와 X_S 를 구하였다.

$$S_S = \frac{OC_1}{1 - Y_H} \quad (3)$$

$$X_S = \frac{OC_2}{1 - Y_H} \quad (4)$$

S_S 는 40.2~143.5(평균 86.0) mgCOD/L였으며 유입 총 COD의 21.0~32.0(평균 26.6)%였으며 X_S 는 34.6~203.6(평균 141.6) mgCOD/L였으며 유입 총COD의 25.7~52.7(평균 41.5)%였다.

미생물이 하수 내 기질을 모두 사용하고 난 후의 SCOD를 측정하여 S_I 를 산정한 결과, 9.4~44.0(평균 28.5) mgCOD/L였으며 유입 총COD의 6.9~10.0(평균 8.5)%였다. 또한, X_I 은 총 COD에서 S_S , X_S , S_I 및 X_{HAB} 를 감한 후 산정하였으며 12.1~61.3(평균 44.7)mg COD/L였다. 유입 총COD에 대한 X_I 의 분율은 4.9~26.5(평균 14.7)%였다.

신항식 등에 의한 하수의 유기물질과 미생물 분율 측정 결과에 의하면 S_S , X_S , S_I , X_I 및 X_{HAB} 는 각각 10~16%, 32~50%, 1~8%, 2~47% 및 10~24%로 S_S 는 다소 낮았으나 X_S 는 급회 연구결과와 유사하였다.³⁾ 반면, Kappler 등에 따르면 S_S , X_S , S_I , X_I 및 X_{HAB} 는 각각 8~11%, 53~60%, 12~20%, 8~10% 및 7~15%로 급회 연구결과에 비해 X_S 가 다소 높게 나타났다.⁹⁾

Table 2는 하수의 유기물질 성상 분석 결과이다. 하수 수집

방법에 따른 총 생분해성 COD중 S_S 의 비는 분류식 지역에서 30.2~47.5(평균 36.6)%였으며 합류식 지역은 53.7%였다. 또한, 총 유입 COD에 대한 생분해가능 COD의 비율은 분류식 지역에서 65.3~70.6(평균 67.8)%였으며 합류식 지역은 55.6%였다. 이는 합류식 지역의 유기물이 정화조의 일정시간 체류에 의해 가수분해 반응이 더 진행되기 때문으로 판단된다.

3.3. 하수 내 질소 성상 분석

채취한 원수의 TKN, NH_4-N , NO_3-N 및 NO_2-N 을 분석하여 총질소를 산정한 후 유기성 질소의 성분을 평가하였다. TKN은 S_{NH} 와 N_{TON} 로 구성되며 총질소는 S_{NO} , S_{NH} 와 N_{TON} 의 합으로 나타낼 수 있으며 분석결과, N_{TON} , S_{NH} 및 S_{NO} 의 농도는 각각 6.7~18.5(평균 13.0) mg/L, 20.5~40.2(평균 28.0) mg/L 및 0.4~2.3(평균 1.6) mg/L였다.

또한, 유기성 질소는 S_{ND} , X_{ND} , S_{NI} , X_{NI} 로 구성된다.

S_{NI} 를 산정하기 위하여 여과한 유입수와 전처리한 미생물을 일정량 회분식 반응조에 주입하고 포기 시키면서 질산화 반응이 완료된 후 soluble TKN을 분석한 결과, 1.4~3.4(평균 1.9) mg/L였으며 Parkin 등의 1~2 mg/L보다 약간 상회하였다.¹⁰⁾ Orhon 등에 따라 X_{NI} 의 농도는 극히 미량으로 존재하여 측정할 수 없으므로 무시하였으며 유입원수 내에 존재하는 S_{ND} 와 X_{ND} 는 S_S 와 X_S 의 포함 비율과 같다고 가정하면 식(5)에 의해 X_{ND} 를 산정하였다.⁷⁾ X_{ND} 농도는 2.3~11.4(평균 7.0) mg/L였다.

$$\frac{S_{ND}}{X_{ND} + S_{ND}} = \frac{S_S}{X_S + S_S} \quad (5)$$

따라서, Table 3과 같이 S_{NO} , S_{NH} , S_{NI} , S_{ND} , 및 X_{ND} 의 평

균분율은 각각 3.7%, 64.9%, 4.7%, 9.4% 및 17.4%였다.

하수 수집방법별 암모니아성 질소 및 질산성 질소 함량의 합은 분류식 지역에서 평균 66.0%, 합병식 지역 67.1% 및 합류식 지역 71.4% 순으로 높은 수치를 나타내었다. 이는 하수가 오수관거로 직투입되는 분류식에 비해 합류식의 경우 정화조에 일정시간 체류한 후 방류됨에 따른 현상으로 판단되었다. 또한, TKN중 S_{NH} 의 비율은 64.1~75.4(평균 68.4)%로 Grady 등의 60~70%에 비해 다소 높았다.¹¹⁾

4. 결론

본 연구에서는 미생물 호흡률 측정법을 적용하여 국내에서 발생하는 하수의 성상과 하수에 포함된 종속영양 미생물의 농도를 정량함으로써 하수의 유기물질과 질소성분의 특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 종속영양 미생물의 생산계수 및 내생호흡계수는 각각 0.59~0.59~0.67(평균 0.63) mgCOD/mgCOD 및 0.24~0.43(평균 0.32) d^{-1} 였으며 합류식 하수의 종속영양 미생물의 경우 내생호흡계수는 0.43 d^{-1} 으로 침입수에 의한 저농도 빈부하 조건으로 인해 최대치를 나타내었다.
- 2) 하수내 X_{HAB} 는 8.5~66.5(평균 30.5) mg COD/L였으며 총 유입 COD의 3.5~11.0(평균 8.7)%였다. 이는 신항식 등의 10~24%에 비해 다소 낮은 수준이었다. 또한, 하수 수집 방법에 따른 하수내 미생물 분율은 분류식 지역 4.4~14.5%, 합병식 지역 3.5%, 합류식 지역 11.0%로 하수 수집 방법과 하수내 X_{HAB} 과의 연관성은 나타나

Table 2. COD_C fractions in the sewage of the different sewer network types

Type Area	Average	Combined sewer	Mixed sewer	Separated sewer		
		S city	L city	N city	P city	I city
S_S (Readily biodegradable substrate)	26.6%	29.9%	28.9%	21.0%	21.3%	32.0%
X_S (Slowly biodegradable substrate)	41.5%	25.7%	52.7%	44.3%	49.3%	35.5%
S_i (Soluble inert organic matter)	8.5%	6.9%	10.0%	7.4%	8.3%	9.8%
X_i (particulate inert organic matter)	14.7%	26.5%	4.9%	12.9%	16.6%	12.4%
X_{HAB} (heterotrophic active biomass)	8.7%	11.0%	3.5%	14.5%	4.4%	10.3%

Table 3. Nitrogen fractions in the sewage of the different sewer network types

Type Area	Average	Combined sewer	Mixed sewer	Separated sewer		
		S city	L city	N city	P city	I city
S_{NO} (Soluble nitrate nitrogen)	3.7%	1.4%	4.8%	3.7%	3.1%	5.3%
S_{NH} (Soluble ammonia nitrogen)	64.9%	71.4%	67.1%	67.2%	61.4%	57.5%
S_{NI} (Soluble nonbiodegradable organic nitrogen)	4.7%	6.3%	3.0%	2.8%	3.3%	7.8%
S_{ND} (Soluble biodegradable organic nitrogen)	9.4%	9.1%	8.8%	9.0%	9.4%	10.6%
X_{ND} (Slowly biodegradable organic nitrogen)	17.4%	11.7%	16.3%	17.2%	22.8%	18.9%

지 않았다.

- 3) 하수 내 S_s , X_s , S_i 및 X_i 와 종속영양미생물의 평균분율은 각각 26.6%, 41.5%, 8.5%, 14.7% 및 8.7%였다. 하수 수집방법에 따른 총 생분해성 COD중 S_s 의 비는 분류식 지역과 합류식 지역에서 각각 36.6% 및 53.7%였으며 총 유입 COD에 대한 생분해가능 COD의 비율은 분류식 지역과 합류식 지역에서 각각 67.8%와 55.6%였다. 이는 합류식 오수의 경우 정화조에 의한 유기물 제거 및 침입수의 유입으로 인해 분류식 오수보다 생분해가능 COD의 비율이 낮았다.
- 4) 하수 내 S_{NO} , S_{NH} , S_{NI} , S_{ND} , 및 X_{ND} 의 평균분율은 각각 3.7%, 64.9%, 4.7%, 9.4% 및 17.4%였다. 하수 수집방법별 암모니아성 질소 및 질산성 질소 함량의 합은 분류식 지역에서 평균 66.0%, 합병식 지역 67.1% 및 합류식 지역 71.4% 순으로 높은 수치를 나타내었다. 이는 하수가 오수관거로 직투입되는 분류식에 비해 합류식의 경우 정화조에 일정시간 체류한 후 방류됨에 따른 현상으로 판단되었다.

KSEE

참고문헌

1. 환경부(2007) 하수도통계.
2. Gujer, W. and Henze, M., "Activated Sludge Model No. 3", *Wat. Sci. Tech.*, **39**(1), 183~193(1999).
3. 신항식, 정형석, 남세용, "미생물 호흡률에 의한 유입하수의 유기물질과 미생물 분율 측정," *한국생물공학회지*, **16**(4), 351~355 (2001).
4. Ekama, G. A., Dold, P. L., and Marais, G. V. R., "Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in Activated sludge system", *Wat. Sci. Tech.*, **18**, 91~114(1986).
5. 홍재용, 신응배, 김연권, 김백중, "OUR 측정법을 이용한 공정 내 미생물 분율변화 평가", *한국물환경학회지*, **19**(4), 445~454 (2003).
6. APHA, AWWA and WEF(1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed., Washington, DC.
7. Orhon, D., and Artan, N, *Modelling of Activated Sludge Systems*, Technomic publishing Co., Inc., Western Hemisphere, pp. 537~561 (1994).
8. Vanrollehem, P. A., Henri S., Britta P., Philippe G., and Imre T., "Estimating (Combinations of) Activated Sludge Model No. 1 Parameters and Components by Respirometry", *Wat. Sci. Tech.*, **39**(1), 195~214(1999).
9. Kappeler, J., and Gujer W., "Estimation of Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass under Aerobic Conditions and Characterization of Wastewater for Activated Sludge Modelling", *Wat. Sci. Tech.*, **25**(6), 125~132(1992).
10. Parkin, G. F., and McCarty, P. L., "Sources of Soluble Organic Nitrogen in Activated Sludge Effluents", *J. Water pollut., Control Fed.*, **53**, 89~98(1991).
11. Grady, C. P. L. Jr., Daigger, G. T., and Lim, H. C., *Biological wastewater treatment*, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., New York (1999).