

## 호흡률법에 의한 하수의 생분해 특성 평가: I. 호흡률법

### Respirometry for the Assessment of Organics Biodegradability in Municipal Wastewater: I. Respirometry

김동한<sup>1,\*</sup> · 김희준<sup>2</sup> · 정태학<sup>2</sup>

Kim, Dong Han<sup>1,\*</sup> · Kim, Hee Jun<sup>2</sup> · Chung, Tai Hak<sup>2</sup>

1 서원대학교 환경건설정보학과

2 서울대학교 지구환경시스템공학부

(2003년 8월 30일 접수: 2003년 12월 30일 최종수정논문채택)

#### Abstract

Organics may be divided into biodegradable and nonbiodegradable fractions on the basis of biodegradability. Biodegradable organics may be subdivided into readily and slowly biodegradable fractions. As this biodegradability of organics in municipal wastewater has a great influence on the efficiency of a biological nutrient removal process, it has been assessed by respirometry. The respirometer, which consisted of a respiration chamber and a respiration cell, was used to measure the respiration rate of biomass utilizing the readily biodegradable organics. The readily biodegradable organics are about 10% of the COD in municipal wastewater. The adequate ratio of wastewater to sludge volume and the concentration of sludge are required in measuring the respiration rate due to the readily biodegradable organics. By using a biochemical oxygen demand test, the slowly biodegradable organics including biomass are estimated about 66% of COD. The soluble inert organics are about 11% of COD. On the basis of mass balance, the particulate inert organics are estimated about 13% of COD.

**Key words:** respirometry, biodegradability, readily biodegradable organics, slowly biodegradable organics

**주제어:** 호흡률법, 생분해 특성, 쉽게 생분해되는 유기물, 서서히 생분해되는 유기물

#### 1. 서론

하수중의 유기물은 주된 오염물질로서 이차처리의

대상이 되는 물질이다. 유기물은 존재하는 형태에 따라 용존 및 입자상으로 구분되며, 생분해 특성 (Biodegradability)에 따라서는 생물학적으로 분해가능

\*Corresponding author Tel: +82-43-299-8721, E-mail: kdh@seowon.ac.kr (Kim, D.H.)

한 유기물과 생물학적 난분해성 유기물로 구분할 수 있다. 일반적으로 하수의 유기물 제거에는 생물학적 처리가 주종을 이루고 있으며, 따라서 유기물의 생분해 특성은 가장 중요한 영향인자 중의 하나이다. 유기물의 총괄적인 양은 현재 일반적으로 BOD, COD, TOC 등의 방법으로 측정하고 있다. COD나 TOC는 유기물의 총량을 보다 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있으나, 생물학적 처리의 대상이 되는 생분해성 유기물의 양을 나타내지 못하는 단점이 있다. BOD는 생분해성 유기물의 양을 측정할 수 있으나, 시일이 소요되며 생분해 특성을 보다 구체적으로 파악하기는 어렵다.

생물학적으로 분해가능한 유기물도 보다 세분하면 쉽게 생분해되는 유기물(Readily Biodegradable Organics,  $S_s$ )과 서서히 생분해되는 유기물(Slowly Biodegradable Organics,  $X_s$ )의 이원화된 기질로 구분할 수 있다(Ekama et al., 1986).  $S_s$ 는 미생물이 바로 기질로 이용할 수 있는 비교적 간단한 구조의 유기물이며  $X_s$ 는 가수분해를 통해  $S_s$ 로 분해된 후 이용되는 유기물이다. 따라서 미생물이 직접 이용할 수 있는 기질은 유입하수에 포함되거나  $X_s$ 에서 전환된  $S_s$ 이며, 생물학적 영양염류제거 공정에서 탈질 및 인체에게는  $S_s$ 에 큰 영향을 받는다.

$S_s$ 의 추정법으로 막여파 및 응집침전을 통한 물리화학적 분리법(Mamais et al., 1993)과 기질을 분해할 때 전자수용체로써 산소를 이용하는 속도를 나타내는

산소섭취율(Oxygen Uptake Rate) 또는 호흡률(Respiration Rate)을 측정하는 생물학적 평가법이 사용되고 있다(Ekama et al., 1986; Sollfrank and Gujer, 1991; Spanjers and Vanrolleghem, 1995; Benes et al., 2002). 그중 생물학적 평가법이 하수 중 유기물의 생분해 특성을 직접적으로 파악할 수 있어 많이 사용되고 있다.  $X_s$ 는 주로 생물학적 평가법에 기초하여 모형을 적용함으로써 추정하고 있다(Kappeler and Gujer, 1992).

하수의 생분해 특성은 발생 및 배제 등의 조건에 영향을 받기 때문에 국가 및 지역에 따라 매우 상이하게 보고되고 있다(Henze, 1992; Kappeler and Gujer, 1992; Ubay Cokgor et al., 1998). 즉, 실제 공정이 적용되는 지역에 따라 실험적으로 평가되어야 하나, 국내의 자료(최 등, 2000; 이, 2001; 최 등, 2003)로는 하수의 생분해 특성을 파악하기에는 부족하여 보다 많은 연구가 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 생물학적 영양염류제거 공정의 설계 및 운전에 필수적인 하수의 생분해 특성을 호흡률법(Respirometry)을 이용하여 평가하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 호흡률계

하수의 생분해 특성을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같이 호흡률을 측정할 수 있는 호흡률계(Respirometer)

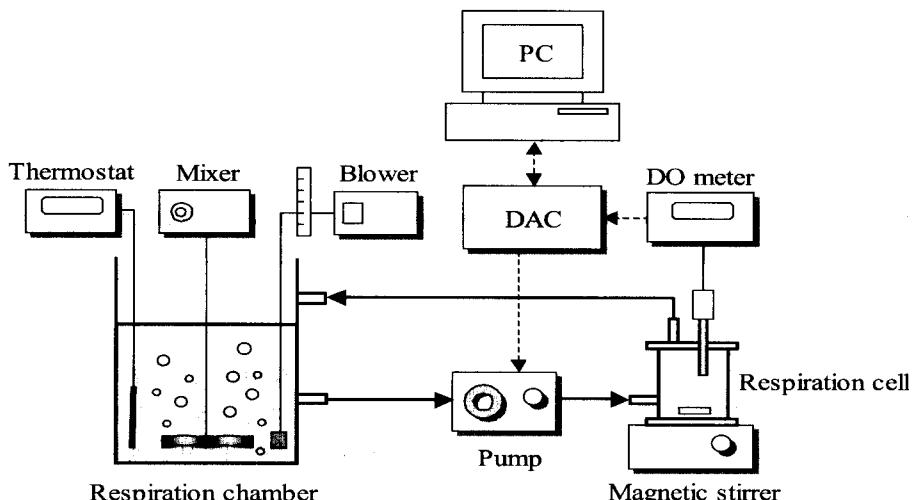


Fig. 1. Schematic diagram of a respirometer.

를 구성하였다. 호흡반응조(Respiration Chamber)는 원통형 아크릴을 이용하여 유효용적 2l로 제작하였으며, 하수와 슬러지를 교반기로 혼합하고 송풍기로 폭기를 하였다. 온도조절장치를 이용하여 20°C로 유지하였으며, 실온의 상승으로 20°C 이상 유지된 경우는 실온상태로 유지하였다. 호흡셀(Respiration Cell)은 원통형 아크릴을 이용하여 대기와 차단되도록 밀폐된 구조의 유효용적 100ml로 제작하였으며, DO센서를 설치하고 자기교반기로 혼합하였다.

호흡반응조의 혼합액을 펌프를 이용하여 250ml/min의 유량으로 호흡셀로 유입한 후 펌프의 가동을 정지한 상태에서 DO를 측정하였다. 펌프의 가동 및 정지는 3~5분 주기로 반복하였다. 호흡률은 펌프가 정지한 후 DO가 선형으로 감소하는 시기의 자료만을 이용하여 계산하였다. 호흡셀이 대기와 차단되어 밀폐된 구조이기 때문에 수표면의 재폭기는 발생하지 않으며 따라서 DO의 감소율로 호흡률을 구할 수 있다. DO의 계측 및 펌프의 작동은 DAC(Data Acquisition and Control)시스템을 통해 컴퓨터로 제어되었다. DAC시스템은 계측자료의 정밀도를 향상시키고 제어의 안정성을 확보하기 위해 신호의 절연, 증폭, A/D(Analog/Digital) 및 D/A(Digital/Analog)변환, 필터링이 되도록 구성하였다.

## 2.2. 호흡률법

본 실험에 사용한 하수는 도시 생활하수를 대상으로 하였다. 청주시의 비교적 넓은 배제구역을 갖는 합류식관거에서 차집관거로 유입되는 토구에서 채취하였다. 하수는 유량 및 수질을 고려하여 도시 생활하수의 대표성을 가질 수 있는 것으로 판단되고, 신속히 실험실로 운반할 수 있는 지점을 선택하였다. 실험과정 중  $S_S$ 는 보관시간이 경과함에 따라 상당히 분해되는 것으로 판단되었으며, 따라서 모든 하수는 채취, 운반, 주입의 과정을 약 30분 이내에 완료하였다.

호흡률 측정에 사용할 슬러지를 채취하기 위해 실험실 규모의 활성슬러지공정을 운전하였다. 반응조는 7l 규모로 제작하였으며, 유입수는 생분해 특성 평가를 위한 실험에 사용한 하수와 동일하였다. HRT는 6h, SRT는 10d로 운전되었다. 슬러지의 내생호흡상태를 조성하기 위해 활성슬러지공정의 폭기조에서 채

취한 슬러지를 평균 약 1.5배 농축한 후 알칼리도로 NaHCO<sub>3</sub>를 200mg/l가 되도록 주입하고 약 2시간 동안 폭기하여 호흡률을 비교적 일정하게 유지하였다. 슬러지를 내생호흡상태로 유지한 후 F/M비와 슬러지의 농도를 고려하여 하수와 슬러지의 혼합비가 평균 약 1:1의 비율이 되도록 하수를 주입하고 호흡률을 측정하였다.

실험과정중 하수, 슬러지, 호흡반응조에서 시료를 채취하여 TCOD, SCOD, TBOD, SBOD, MLSS, MLVSS 등의 항목을 분석하였다. 모든 용존(Soluble) 시료는 총(Total) 시료를 0.45μm 막여과지로 여과하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 호흡률법에 의한 $S_S$ 추정

호흡률( $r$ ), 기질( $S_S$ ), 미생물( $X_H$ )의 관계는 Fig. 2와 같이 미생물이  $S_S$ 를 기질로 이용한 대사과정에서 생성된 에너지로 성장 및 생체유지를 도모하는 과정에서 최종전자수용체로 산소가 소모된다. 호흡률은 기질의 분해 및 미생물 성장속도에 비례하며 소모된 총산소량은 기질과 비례하게 된다. 따라서 호흡률과 미생물의 성장속도와의 관계는 식 (1a),  $S_S$ 와 호흡률의 관계는 식 (1b)와 같이 나타낼 수 있다.  $Y_H$ 는 미생물의 수율(Yield)이고,  $\mu_H$ 는 비성장률이다.

$S_S$ 는 기질의 분해시 소모된 총산소량을 측정하면 식 (1b)을 이용하여 추정할 수 있다. 본 연구에서는  $S_S$ 의 추정에 일반적으로 사용되는  $Y_H$ 로 0.67(Henze

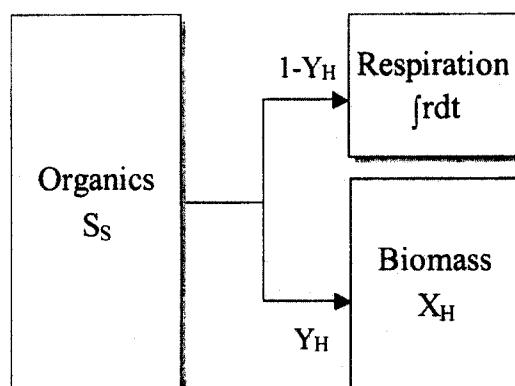


Fig. 2. Relationship of respiration rate, biomass growth, and organics utilization.

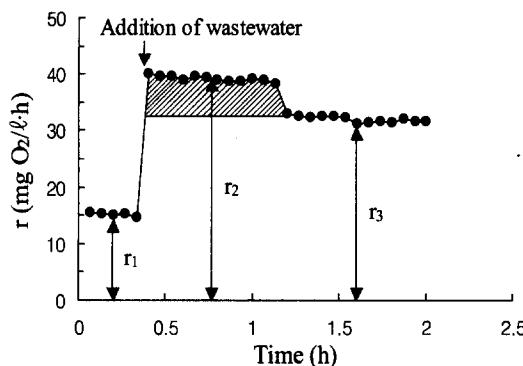


Fig. 3. Respiration rate for the determination of  $S_s$ .

et al., 2000)을 사용하였다. ASM(Activated Sludge Model) 1, 2 모형(Henze et al., 2000)에서는 미생물의 내생호흡도 사멸과 재생(Death-Regeneration) 개념을 적용하여 내생분해시 생성된  $X_s$ 가 가수분해에 의해  $S_s$ 로 분해된 후 미생물에 의해 이용되는 것으로 표현하고 있으며, 따라서 종속영양미생물에 의한 호흡률은 모두 최종적으로는  $S_s$ 에 기인하게 된다(Henze et al., 2000).

$$r = \frac{1 - Y_H}{Y_H} \mu_H X_H \quad (1a)$$

$$S_s = \frac{\int r dt}{1 - Y_H} \quad (1b)$$

$S_s$ 의 추정을 위해 슬러지(500ml)에 하수(500ml)를 주입하여 호흡률을 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. 초기에는 미생물의 내생호흡률( $r_1$ )로 호흡률이  $15\text{mgO}_2/\text{l} \cdot \text{h}$  정도로 작고 비교적 일정한 상태로 유지되었다. 하수의 주입과 동시에 호흡률은 약  $40\text{mgO}_2/\text{l} \cdot \text{h}$ 로 급격하게 증가하였으며, 하수의 주입에 따른 희석을 고려하면 실제  $32.5\text{mgO}_2/\text{l} \cdot \text{h}$ 의 호흡률이 증가한 것이다. 하수의 주입으로 증가한 후 비교적 일정한 호흡률( $r_2$ )이 유지되는데 이 기간은  $S_s$ ,  $X_s$ , 질산화, 내생분해에 의해 유발되는 호흡률이다.  $S_s$ 가 충분히 존재하는 동안은 미생물이 최대비성장률로 성장하고 호흡률도 최대호흡률로 일정하게 유지되다가,  $S_s$ 가 고갈되면서 호흡률이 약  $8\text{mgO}_2/\text{l} \cdot \text{h}$  정도로 급격히 감소하였다.  $S_s$ 의 고갈로 호흡률이 급감한 후

Table 1.  $S_s$  in municipal wastewater

$S_s$	Value
Range	17~48 mg COD/l
Mean	30 mg COD/l
SD	7 mg COD/l
No. of data	33
$S_s/\text{TCOD}$	10%
$S_s/\text{SCOD}$	22%
$S_s/\text{TBOD}$	19%
$S_s/\text{SBOD}$	38%

다시  $32\text{mgO}_2/\text{l} \cdot \text{h}$  정도로 비교적 일정한 호흡률( $r_3$ )이 유지되는데 이 기간은  $X_s$ , 질산화, 내생분해에 의해 유발되는 호흡률이다.

따라서  $S_s$ 에 의해 유발되는 호흡률은 ( $r_2 - r_3$ )의 호흡률로서  $r_2$ 가 비교적 일정하게 유지되는 기간에 대하여 Fig. 3에 빛금 표시된 것과 같은 면적을 구하면  $S_s$ 의 분해에 소모된 총산소량이 구해진다. 이 면적을 식 (1b)에 대입하면 호흡반응조의  $S_s$ 를 구할 수 있으며, 여기에 하수와 슬러지의 혼합에 따른 희석률을 고려하면 하수의  $S_s$ 를 추정할 수 있다. 본 실험 결과 하수의  $S_s$ 는  $32\text{mgCOD/l}$ 로 추정되었으며, TCOD의 11%로 나타났다.

슬러지에 하수를 주입한 후 호흡률을 측정하여 하수의  $S_s$ 를 추정한 결과는 Table 1과 같다.  $S_s$ 는  $17\sim48\text{mgCOD/l}$  평균  $30\text{mgCOD/l}$ 이었다. 또한  $S_s$ 는 TCOD의 10%, SCOD의 22%, TBOD의 19%, SBOD의 38%이었다.  $S_s$ 는 용존성분이므로 여과한 시료에 대한 비율이 높았고, 또한 생분해성 성분이므로 BOD에 대한 비율이 높았다. 그러나  $S_s$ 는 하수 중 유기물의 일부분에 해당되며, TCOD 기준으로는 10%에 불과하였다. BOD에 대한 비율을 보면  $S_s$ 는 생분해성 유기물중에서도 적은 부분이며 많은 부분이  $X_s$ 임을 알 수 있다.

### 3.2. 혼합비 및 ATU 영향

호흡률법을 이용하여 하수의  $S_s$ 를 추정하는 실험에서 중요한 조건중의 하나가 하수와 슬러지와의 혼합비인 F/M비( $\text{mgCOD}/\text{mgMLVSS}$ )이다(Ekama et al., 1986). 또한 유입수의 성상 또는 동력학계수 등 추정하고자 하는 실험목적에 따라서도 적절한 F/M비가 상이하게 된다(Novák et al., 1994; Spanjers and

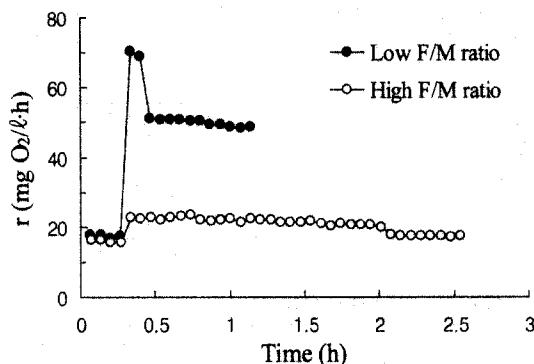


Fig. 4. Effects of the F/M ratio on the respiration rate (low F/M ratio = 0.045 mg TCOD/mg MLVSS; high F/M ratio = 0.581 mg TCOD/mg MLVSS).

Vanrolleghem, 1995). 그러나 현재까지도 호흡률법에서 실험방법중 가장 정형화되지 않은 것이 F/M비이며, 이는 하수 및 슬러지의 성상이 실험마다 상이하기 때문이다. 따라서 이는 지역적 특성이 매우 큰 영향을 미치는 실험조건으로 판단되며, 보다 정확한 추정을 위해서는 실험대상이 되는 하수 및 슬러지의 조건에 따라 파악되어야 할 것으로 사료된다.

호흡률에 미치는 F/M비의 영향은 Fig. 4와 같다.  $S_s$ 의 추정을 위해서는  $S_s$ 의 분해에 따른 뚜렷한 호흡률의 변화를 관찰할 수 있어야 한다. 낮은 F/M비(0.045mgTCOD/mgMLVSS)의 조건에서는 호흡률의 증가 및 감소는 뚜렷하나  $S_s$ 에 의해 유지되는 최대호흡률의 기간이 너무 짧아 정확한  $S_s$ 의 추정이 어려우며, 반대로 높은 F/M비(0.581mgTCOD/mgMLVSS)에서는 최대호흡률이 유지되는 기간은 길으나 호흡률의 증가 및 감소의 경향이 작아  $S_s$ 의 추정이 어렵게 된다. 또한 F/M비와 같이 고려되어야 할 사항은 하수와 혼합후의 슬러지 농도이다. 하수 및 슬러지의 농도가 동시에 높고, 반대로 동시에 같이 하수와 슬러지의 농도가 낮아도 동일한 F/M비를 나타내게 된다. 동일한 F/M비에서 하수와 슬러지의 농도가 같이 높은 경우는 시간이 많이 소요될 것이며, 하수와 슬러지의 농도가 같이 낮은 경우는 호흡률의 크기와 변화의 폭이 작아  $S_s$ 의 추정이 어렵다.

특히 국내의 많은 하수는 유기물 농도가 낮기 때문에 외국과 같은 F/M비를 기준으로 혼합하면  $S_s$ 와 슬러지의 농도가 동시에 낮아져  $S_s$ 의 추정이 어려우며,

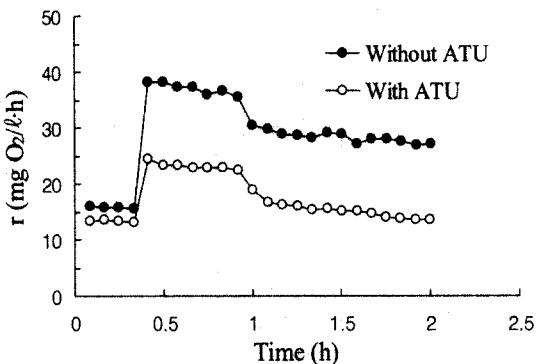


Fig. 5. Effects of ATU on the respiration rate.

그와 같은 시행착오를 경험하였다.  $S_s$ 가 외국에 비해 상대적으로 적기 때문에 혼합시 하수의 비율을 높여야 하는데 그 경우 반대로 혼합후 슬러지의 농도는 더욱 낮아지게 된다. 따라서 본 연구에서는 활성슬러지를 농축하여 사용하였다. 슬러지는 평균 1.5배 농축하였고 하수와 슬러지를 평균 1:1로 혼합하여 실험하였으며, 평균 F/M비는 0.2mgTCOD/mgMLVSS로 유지되었다. 실험결과 본 하수 및 슬러지와 같은 경우는 하수와 슬러지의 혼합비는 1:2~2:1, F/M비는 0.1~0.4mgTCOD/mgMLVSS, 혼합후 슬러지 농도는 500~1,500mgMLVSS/l가  $S_s$ 를 추정하는데 적절한 범위로 판단된다.

호흡률에 미치는 ATU(Allylthiourea)의 영향은 Fig. 5와 같다. ATU 투여의 주목적은 일반적으로 질산화를 억제하는 것이지만, 본 연구에서는  $S_s$ 의 추정에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 실시하였다. 미생물의 내생호흡상태를 도모하기 위하여 폭기를 실시하는 동안 ATU를 20mg/l가 되도록 투여하였으며, 하수와 혼합후에는 10mg/l가 되었다. ATU를 주입한 경우 질산화가 억제되어 하수를 주입한 이후 호흡률이 전체적으로 약 14mgO<sub>2</sub>/l·h가 감소하였으며, 이는 호흡반응조내에서 질산화에 의한 최대호흡률이 14mgO<sub>2</sub>/l·h에 해당되는 것을 의미한다. 그러나  $S_s$ 에 의한 호흡률에는 큰 영향을 주지 않았다. 문헌(Ekama et al., 1986; Spanjers and Vanrolleghem, 1995)에서는 ATU 농도가 10~20mg/l 정도로 투여되고 있는데, 본 실험결과도 슬러지 기준 20mg/l, 혼합액 기준 10mg/l의 농도가 되도록 투여하는 것은  $S_s$ 의 추정에 큰 영향을 미치지 않으며 질산화의 억제에도 적절

한 것으로 나타났다.

### 3.3. $X_S$ , $S_I$ , $X_I$ 의 추정

하수의  $S_S$ 를 추정한 결과 Table 1에서와 같이 대부분의 생분해성 유기물은  $X_S$ 이다. 생물학적 공정에서  $X_S$ 는 유입 하수 및 미생물의 내생분해에 기인한다. 털질 및 인제거에 있어서 요구되는 유기물에  $S_S$ 로는 충분하지 못하므로  $X_S$ 가 유기물원으로 중요하나 그 분해속도가 매우 느려 유기물을 이용하는 공정의 반응속도에 큰 영향을 미친다.  $X_S$ 는 물질수지식을 이용하거나(Henze et al., 2000), 회분실험의 결과에 대하여 모형을 이용한 시뮬레이션을 통하여 구하는 방법(Kappeler and Gujer, 1992; Spanjers and Vanrolleghem, 1995) 등이 있다. 그러나 물질수지식을 이용하기 위해서는 오랜 기간의 실험이 요구되고, 회분실험은  $X_S$ 의 낮은 호흡률로 인하여 추정에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 BOD 실험결과를 이용하여 보다 간편하게 근사적으로  $X_S$ 를 추정하였다. 하수의 유기물은 생분해성 유기물과 생물학적 난분해성 유기물로 구분할 수 있는데, 생분해성 유기물은 최종BOD( $BOD_u$ )로 추정할 수 있다. 따라서 5일째 TBOD 자료를 식 (2)에 대입하여  $BOD_u$ 를 계산하였으며, 반응속도상수인  $k$ 는 하수에 적용되는 전형적인 값인  $0.23d^{-1}$ (Metcalf & Eddy, Inc., 1991)를 적용하였다. 그 결과 생분해성 유기물은 TCOD의 76%로 추정되었다. 생분해성 유기물은  $S_S$ 와  $X_S$ 로 구성되어 있으므로, 생분해성 유기물에서  $S_S$ 를 제외하면 식 (3)과 같이  $X_S$ 를 추정할 수 있다.

$$BOD_u = \frac{BOD_t}{1 - e^{-kt}} \quad (2)$$

$$X_S = BOD_u - S_S \quad (3)$$

하수의 유기물에는 미생물인  $X_H$ 도 포함되어 있으며, ASM 모형에서도 고려되어 있다. 본 연구에서와 같은 추정에서는  $X_H$ 는  $X_S$ 에 포함된다. 물론  $X_H$ 의 일부분은 생물학적 난분해성 유기물을 포함하고 있으나 본 연구에서는 모두  $X_S$ 에 포함되는 것으로 단순화하였다. 하수의  $X_H$ 는 본 논문(II)에서 추정되었으며, 하수의 유기물을 보다 세분하는 것이 가능해지고

Table 2.  $X_S$  in municipal wastewater

$X_S$	Value
Range	160-218 mg COD/l
Mean	197 mg COD/l
SD	16 mg COD/l
No. of data	15
$X_S/TCOD$	66%

Table 3.  $S_I$  in municipal wastewater

$S_I$	Value
Range	21-41 mg COD/l
Mean	32 mg COD/l
SD	5 mg COD/l
No. of data	21
$S_I/TCOD$	11%

ASM 모형의 수행에도 활용할 수 있을 것이다.

BOD 실험을 통해  $X_S$ 를 추정한 결과는 Table 2와 같다.  $X_S$ 는 160~218mgCOD/l로 평균 197mgCOD/l이었으며, TCOD의 66%이었다. 따라서  $X_S$ 는 TCOD의 10%인  $S_S$ 에 비해 훨씬 많은 양이며, 또한 생분해성 유기물중에서도 87%로서 대부분이  $X_S$ 로 나타났다.

하수의 생물학적 난분해성 유기물은 용존성분인  $S_I$ 와 입자상성분인  $X_I$ 로 구분되어 진다.  $S_I$ 는 일반적으로 생물학적 공정에서 채취한 혼합액을 폭기한 후 SCOD를 측정하여 구할 수 있다(Henze et al., 2000). 본 연구에서는 호흡률 측정시 내생호흡상태를 유지하기 위하여 폭기조에서 채취하여 2시간 동안 폭기한 혼합액의 SCOD가 거의 변화가 없는 것으로 나타나 이를 기준으로 하여 측정하였다.  $S_I$ 를 측정한 결과는 Table 3과 같다.  $S_I$ 는 21~41mgCOD/l로 평균 32mgCOD/l이었으며, TCOD의 11%이었다.

또한  $X_I$ 는 이미 추정한  $S_S$ ,  $X_S$ ,  $S_I$ 의 결과에 기초하여 식 (4)와 같은 물질수지식을 이용하여 추정할 수 있다. 추정결과  $X_I$ 는 TCOD의 13%로서 생물학적 난분해성 유기물중  $S_I$ 보다 다소 많았다.

$$X_I = TCOD - S_S - X_S - S_I \quad (4)$$

### 3.4. 하수의 생분해 특성

하수의  $S_S$ 는 Table 4의 문헌에서 조사된 바와 같이

Table 4. Reported COD fractions in municipal wastewater

S <sub>s</sub> (%)	X <sub>s</sub> * (%)	S <sub>i</sub> (%)	X <sub>i</sub> (%)	Reference
9.25	65-70	10-11	9-15	Kappeler and Gujer (1992)
7.33	43-75	2-20	4-26	Ubay Cokgor et al. (1998)
10	66	11	13	This study

\*Data of X<sub>H</sub> included.

TCOD의 7~33%로서 매우 상이하다. 국내 하수의 경우 자료가 부족하여 판단하기가 어려우나 TCOD의 2~21%(최 등, 2000; 이, 2001; 최 등, 2003)로 조사되었다. 청주시의 생활하수를 대상으로 한 본 연구결과와 같이 TCOD의 10%인 S<sub>s</sub>는 외국에 비해 낮았다. X<sub>s</sub>는 X<sub>H</sub>를 포함시켜 조사한 외국의 자료인 TCOD의 43~75%와 비교시 66%로서 다소 높은 수준에 해당되었다. 외국에 비해 TCOD의 11%인 S<sub>i</sub>는 거의 유사하였고, TCOD의 13%인 X<sub>i</sub>는 약간 낮은 수준이었다. 이와 같이 하수의 생분해 특성은 발생, 배제 등의 조건에 영향을 받아 국가 및 지역에 따라 매우 상이하며, 따라서 하수의 생분해 특성은 실제 대상이 되는 지역에서 평가되어야만 한다. 또한 국내의 경우 각종 생물학적 공정의 설계 및 운전에 S<sub>s</sub>가 낮으며, 생분해성 유기물 중 X<sub>s</sub>의 비중이 상대적으로 큰 특성을 충분히 고려해야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 생물학적 영양염류제거 공정에 필수적인 하수의 생분해 특성을 호흡률법에 의하여 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 하수의 S<sub>s</sub>를 추정한 결과 평균 30mgCOD/l이었다. TCOD의 10%, SCOD의 22%, TBOD의 19%, SBOD의 38%로서 하수 중 총유기물 및 생분해성 유기물 중에서도 적은 부분으로 나타났다.

2. 하수 및 슬러지의 조건에 따라 적정한 F/M비는 상이한 것으로 판단되었다. S<sub>s</sub>가 낮은 특성을 고려할 때 혼합시 하수의 비율은 높이고 농축한 슬러지를 이용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 또한 ATU는 슬러지 기준 20mg/l, 혼합액 기준 10mg/l의 농도는 S<sub>s</sub>의 추정에 큰 영향을 미치지 않으며 질산화의 억제에도 적절하였다.

3. X<sub>s</sub>를 추정한 결과 평균 197mgCOD/l로 TCOD의 66%로 나타났으며, 생분해성 유기물의 대부분에 해당되었다. S<sub>i</sub>는 평균 32mgCOD/l로 TCOD의 11% 이었으며, X<sub>i</sub>는 TCOD의 13%로 추정되었다.

4. 국내의 경우 각종 생물학적 공정의 설계 및 운전에 S<sub>s</sub>가 낮고 X<sub>s</sub>의 비중이 상대적으로 큰 생분해 특성을 충분히 고려해야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- 이병희 (2001) Respirometer와 Computer Model을 이용한 수원시 하수 특성 분석, *상하수도학회지*, 15(2), pp. 140-146.
- 최영균, 김성홍, 정태학 (2003) 하수의 유기물 분류에 미치는 동력학적 영향인자의 민감도 분석, *상하수도학회지*, 17(3), pp. 427-434.
- 최은주, 주대성, 박희경 (2000) 모델링을 이용한 SBR공정의 최적화, *한국물환경학회지*, 16(5), pp. 633-647.
- Benes, O., Spanjers, H. and Holba, M. (2002) Respirometry Techniques and Activated Sludge Models, *Wat. Sci. Tech.*, 46(4-5), pp. 1-6.
- Ekama, G.A., Dold, P.L. and Marais, G.v.R. (1986) Procedures for Determining Influent COD Fractions and the Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems, *Wat. Sci. Tech.*, 18(6), pp. 91-114.
- Henze, M. (1992) Characterization of Wastewater for Modelling of Activated Sludge Processes, *Wat. Sci. Tech.*, 25(6), pp. 1-15.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T. and van Loosdrecht, M. (2000) *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. Scientific and Technical Report No. 9, IWA Publishing, London.
- Kappeler, J. and Gujer, W. (1992) Estimation of Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass under Aerobic Conditions and Characterization of Wastewater for Activated Sludge Modelling, *Wat. Sci. Tech.*, 25(6), pp. 125-139.
- Mamais, D., Jenkins, D. and Pitt, P. (1993) A Rapid Physical-Chemical Method for the Determination of Readily

- Biodegradable Soluble COD in Municipal Wastewater, *Wat. Res.*, **27**(1), pp. 195-197.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Novák, L., Larrea, L. and Wanner, J. (1994) Estimation of Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophic and Autotrophic Biomass: A Combined Technique of Mathematical Modelling and Batch Cultivations, *Wat. Sci. Tech.*, **30**(11), pp. 171-180.
- Sollfrank, U. and Gujer, W. (1991) Characterisation of Domestic Wastewater for Mathematical Modelling of the Activated Sludge Process, *Wat. Sci. Tech.*, **23**(4-6), pp. 1057-1066.
- Spanjers, H. and Vanrolleghem, P. (1995) Respirometry as a Tool for Rapid Characterization of Wastewater and Activated Sludge, *Wat. Sci. Tech.*, **31**(2), pp. 105-114.
- Ubay Cokgör, E., Sözen, S., Orhon, D. and Henze, M. (1998) Respirometric Analysis of Activated Sludge Behaviour-I. Assessment of the Readily Biodegradable Substrate, *Wat. Res.*, **32**(2), pp. 461-475.