

— 기술정보 —

판지공장 폐수 중 난분해성 유기물질이 동력학적 계수 및 생분해에 미치는 영향

— Technical Information —

Effect of Recalcitrant Organics on Bio-kinetic Coefficient and Biodegradable in Box-mill Wastewater

조용덕^{1*} · 이상화²

Cho, Yong Duck^{1*} · Lee, Sang Wha²

1 에코하이텍

2 경원대학교 화학생명공학과

Abstract

The research aims to provide the basic data for practical applications by correlating the bio-kinetic coefficients with the load of recalcitrant organic matter in box-mill wastewater. The activated sludge process was employed to a Wastewater disposal plant in an industrial setting, increase of consequently leading to the organic load. The parameter values derived by Monod-kinetic analysis were as follows: specific substrate removal rate $K_{max} = 0.17\text{day}^{-1}$, half saturation constants $K_s = 60.37\text{mg/l}$, decay coefficient $K_d = 0.142\text{day}^{-1}$, microbial yield coefficient $y = 0.388\text{mg/mg}$, and max specific growth rate $\mu_{max} = 0.066\text{day}^{-1}$. In view of biodegradability, the $\text{TCOD}_{Mn}/\text{TBOD}_5$ ratios of inflow and outflow were 1.07 and 1.41, and the $\text{SCOD}_{Mn}/\text{SBOD}_5$ ratios of inflow and outflow were 1.10 and 1.50, respectively. The higher $\text{TCOD}_{Mn}/\text{TBOD}_5$ ratio of outflow indicated that metabolites of a microorganism have accumulated in the cells.

Key words: Bio-kinetic Coefficient, Biodegradation, Box-mill Wastewater

주제어: 동력학 계수, 생분해, 판지 폐수

1. 서 론

판지공장에서 배출되고 있는 고농도 유기성폐수에 대한 폐수처리는 대부분 물리·화학적처리에 의존하

고 있는 것이 현실이다. 이들 폐수에는 인쇄공정에서 고농도의 안료 및 수지, 계면활성제, 분산제, 소포제, 용매 등 방향족 탄화수소나 그밖의 유기성화합물이 배출되어 미생물의 산화분해율이 느리며 독성인자로 작용한다(Patterson, C.W., 1980). 따라서 이들 물질

*Corresponding author. Tel: +82-31-492-1052, FAX: +82-31-495-6920, E-mail: eco-high@hanmail.net (Cho, Y.D.)

을 효과적으로 처리하기 위해서는 미생물의 분해작용에 대한 동력학적 운전변수를 도출하는 것이 매우 중요하다. 생물학적 폐수처리시설의 성공적인 설계 및 운전은 각종 운전인자의 변화에 따른 미생물의 성장변화를 정확히 파악하여야 가능하다. 이러한 운전인자와 미생물성장과의 관계는 경험적으로도 어느 정도 알 수 있을지 모르지만 보다 정확한 상호작용의 이해를 위해서는 객관화된 정성적 혹은 정량적 의미를 갖는 상호관계식이 필요하다. 상호관계의 수식화는 여러 가정을 필수적으로 필요로 한다. 수식화된 생물학적 동력학을 이용하여 정량적인 값을 얻고 이것을 현장시설에 적용하는 것은 많은 제약을 받으나 동력학을 이용하여 여러 운전변수가 처리에 미치는 영향을 정성적 내지는 정량적으로 비교평가하면 설계 및 운전에 필요한 귀중한 자료를 얻을 수 있다. 동력학적 계수는 유기물 성상이 같으면 그 유기물에서 성장하는 미생물 특성이 같으며 환경요인이 동일 할 때에는 유기물농도에 관계없이 동일한 유기물에서 일정한 값을 가져야 한다. 다시 말해서 동력학적상수 값들은 일정폐수, 일정미생물종류, 일정환경조건하에서 일정한 값을 가지며 미생물체류시간과는 무관하다(환경부, 2002). 한편 근래에 많은 학설이 주장하고 있는 미생물의 분해산물 형성이론(Microbial Product Formation Theory)에 비추어 보면 유출수에서 COD를 유발하는 것이 유입수에서 처리되고 남은 유기물의 잔류 COD가 아니라 미생물의 분해산물에서 유발되는 유기물에 의한 COD가 대부분 차지한다(Grady and Williams, 1974; Daigger and Grady, 1977; Sykes, 1981). 이러한 잔류 COD는 생체 미생물의 세포에서 흘러 나왔거나 혹은 죽거나 파괴된 미생물의 체내에서 유래되었을 것이라고 제시 되어있다(Baskir and Hansford, 1979). 또한 폐수 중 BOD, COD_{Mn} , COD_{Cr} 에 따른 생분해 가능성을 다음과 같이 제시하였다(환경보전협회, 1997).

- 1) $BOD > COD_{Mn}$ 일 경우는 생물학적 처리가능
- 2) $BOD = COD_{Mn}$ 일 경우는 폐수중에 미생물에 의해 분해하기 어려운 유기물이 존재하므로 슬러지 배양이 필요
- 3) $BOD < COD_{Mn}$ 일 경우는 생물학적 처리가 곤란하다.

따라서 화학적 처리공법을 강구

4) $BOD / COD_{Cr} = 0.6$ 이상일 경우는 생물학적 처리가능

5) $BOD / COD_{Cr} = 0.6$ 이하일 경우는 생물학적 처리가 곤란한다.

따라서 화학적 처리공법을 강구

따라서 본 연구에서는 판지공장 폐수중 난분해성 유기물질의 COD/BOD 비에 따른 미생물의 생분해능을 검토 하고 Monod(1950)식에 의한 미생물의 동력학적계수인 기질 반포화농도(K_s), 최대기질제거속도(K_{max}), 미생물의 내생호흡계수(K_d), 미생물의 합성계수(y), 미생물의 최대비성장속도(μ_{max}) 값을 추정하여 판지폐수처리 시스템 설계를 위한 기초 데이터를 도출하는데 목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 장치

실험장치는 Fig. 1과 같으며, 난분해성 판지공장 폐수처리에 있어서 생분해 가능성과 미생물의 기작을 밝히기 위하여 현재 운영중인 산업현장의 폐수처리장을 중심으로 시행하였다. 산업현장 폐수처리장은 원수가 유입되면 집수조에서 일정시간 저류시킨 후 1차 화학적 처리, 2차 미생물처리를 하고 있다. Fig. 1에서 처리장의 설계사양은 1차 집수조 $22.5m^3$ (T-101), 2차 집수조 $3.3m^3$ (T-102), pH조 $0.49m^3$ (T-103), 중화조 $0.49m^3$ (T-104), 응집조 $0.49m^3$ (T-105), 1차 침전조 $4.7m^3$ (T-106), 1차 처리수 저장조 $8.72m^3$ (T-107), 미생물 반응조 $16.0m^3$ (T-108), 2차 침전조 $4.7m^3$ (T-109), 2차 처리수조 $1.0m^3$ (T-110), A/C 여과조 $0.58m^3$ (T-111), 재이용수조 $3.3m^3$ (T-112)로 구성되어 있으며 처리수는 재사용 하고있다.

2.2. 운전

실험폐수는 경기도 시화공단에 위치하고 있는 종이류 골판지를 가공, 인쇄, 제조하는 공장을 대상으로 하였다. 골판지(box) 제조시 접착공정에서 전분, NaOH, 붕사를 사용하였고 인쇄공정의 잉크는 안료, 아크릴계의 수지, 계면 활성제, 분산제, 실리콘 소포제, 솔벤트, 방향족 탄수화물 등을 포함하고 있다. 근본적인 폐수의 발생은 인쇄공정에서 필름 세척시 다량 배출되며 절단작업시 접착공정에서 사용된 물질이

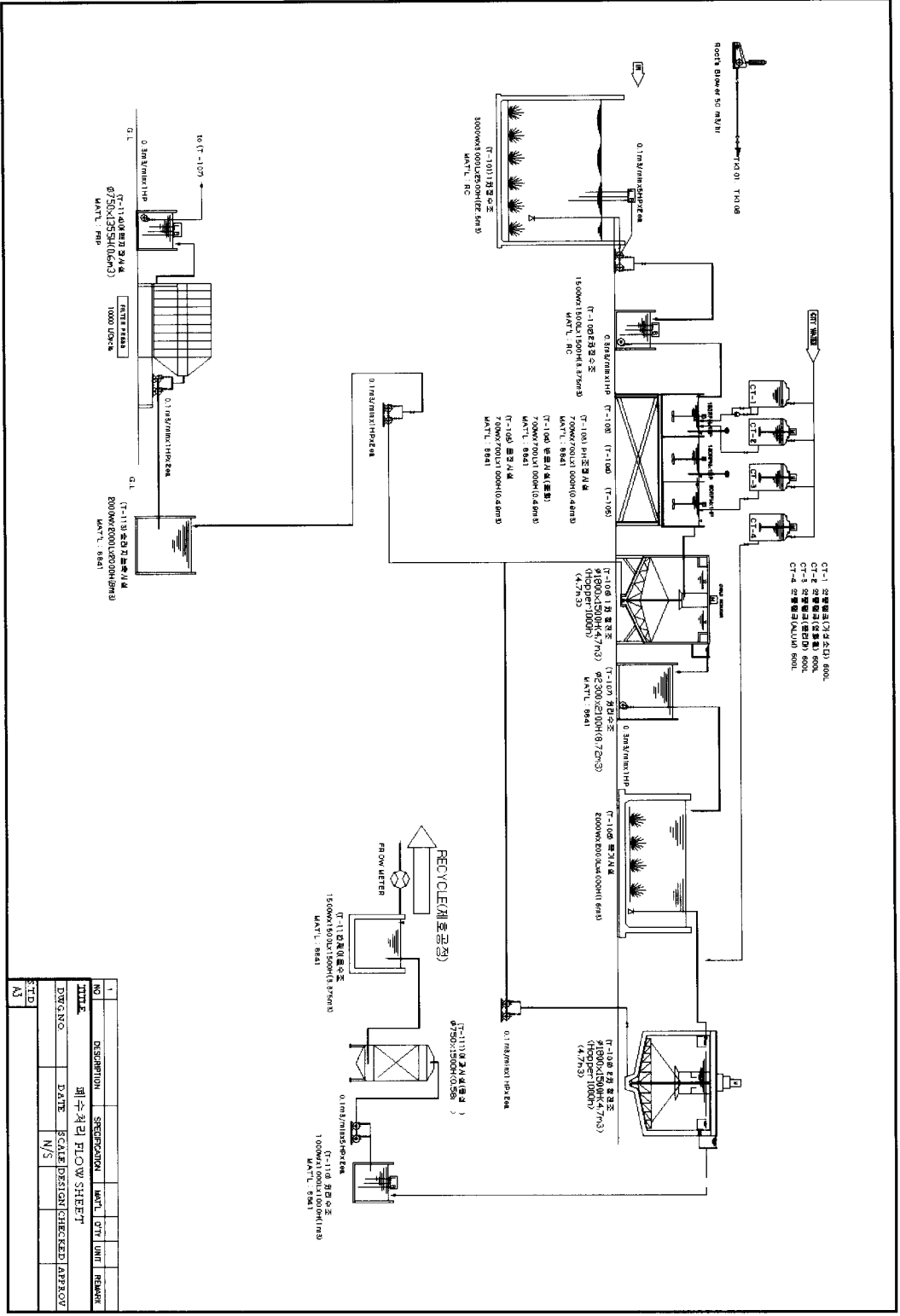


Fig. 1. Schematic diagram of treatment plant.

NO	DESCRIPTION	SPECIFICATION	MAT'L	QTY	UNIT	REMARK
1	배수처리 플로우시트	배수처리 플로우시트				
DWG. NO. DATE SCALE DESIGN CHECKED APPROV						
S.T.D. AS						

Table 1. Characteristics of influent and effluent

Operation days	TCOD _{Mn} (mg/l)		SCOD _{Mn} (mg/l)		TBOD ₅ (mg/l)		SBOD ₅ (mg/l)		pH	
	Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	Eff
3	183	14	101	10	86	10	68	9	6.2	7.1
7	315	23	293	12	194	12	171	11	6.3	7.0
8	536	34	521	16	407	16	389	12	6.1	7.6
7	742	156	713	74	518	87	486	38	6.5	6.6
7	963	532	908	264	810	362	774	161	6.7	6.8
7	989	561	924	288	832	397	790	201	6.1	6.2

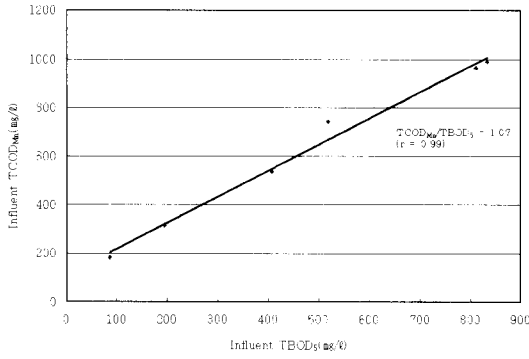
미세먼지의 형태로 소량 폐수처리장에 유입된다. 유입된 인쇄폐수를 폐수처리장 집수조에 집수하여 1차 화학적처리는 pH조정조에서 pH를 조정하고 중화조에서 중화시켜 flocc 형성조에서 입자를 크게한 후 침전조로 유입된다. 침전조로 유입된 flocc은 상등수와 분리되어 Filter Press를 통해 Cake로 배출되고 이때 상등수는 미생물 반응조로 유입된다. 미생물 반응조에서는 2차 미생물처리에 의한 동력학적계수를 추정하기 위하여 1차 기질을 넣은 다음 MLVSS를 3000 mg/l 이상 유지시킨 후 정상상태로 운전하였다. 1차 화학적처리한 원수가 미생물 반응조에 유입되기 전 1차 및 2차는 오염도를 저하시키기 위하여 수도수로 희석하여 사용하였고 3차는 유입원수를 그대로 사용하였으며, 4차에서 6차까지는 오염도를 높이기 위하여 유입원수에 공정중 발생하는 전분폐수를 20% 이상 추가시켜 유기물부하를 차등화시켰다. 차등화 된 시료를 정상상태로 운전되고 있는 미생물 반응조에 1차에서 6차까지 6단계로 나누어 각각 주입시켜 각 단계별 정상상태에서 유입수와 유출수의 농도를 동력학적 계수추정의 자료로 이용하였다. 반응조에 유입되는 폐수의 pH 및 반응조 내부의 온도, DO는 자동조절장치에 의하여 일정하게 유지된다. 또한 유입수와 유출수의 COD/BOD 비를 측정하여 생분해능에 따른 상호관계를 검토 하였다. Table 1은 유입 및 유출 폐수의 특성을 나타내었으며 본 실험의 모든 수질분석은 산업현장 폐수처리장인 점과 수질환경보전법의 규제항목, 규제기준을 감안하여 수질오염공정시험법에 따라 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

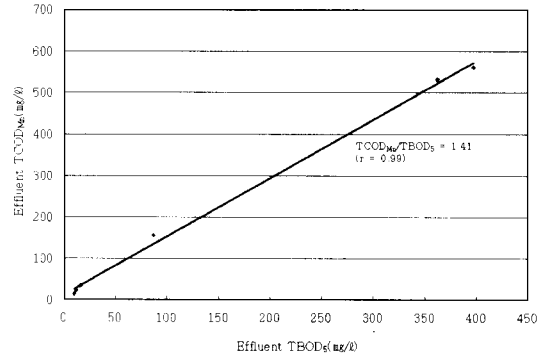
3.1. 생분해능

산업폐수를 처리할 때 여러종류의 화합물에 대해 BOD와 COD 값을 비교하는 것이 반드시 필요하며 (Heukelekian and Rand, 1955) 이러한 값을 기초로 생물학적 또는 화학적처리 공법을 설정하게 된다. 본 연구에서는 Table 1을 이용하여 유기물부하에 따른 유입수와 유출수의 TCOD_{Mn}/TBOD₅비에 따른 생분해능을 추정하고자 하였다. 유입수의 TCOD_{Mn}/TBOD₅비는 Fig. 2(a)에서와 같이 1.07(상관관계 r = 0.99), SCOD_{Mn}/SBOD₅비는 Fig. 2(b)에서와 같이 1.10(상관관계 r = 0.98)이었다. 또한 유출수의 TCOD_{Mn}/TBOD₅비는 Fig. 3(a)에서와 같이 1.41(상관관계 r = 0.99), SCOD_{Mn}/SBOD₅비는 Fig. 3(b)에서와 같이 1.50(상관관계 r = 0.99)였다. 이 비는 석유화학 공장 COD_{cr}/BOD₅비 3.5(박등, 1988), 식품공장 원 폐수의 COD_{cr}/BOD₅비 1.5~2.0(Olive, 1987)과 비교하면 낮은 편으로, 이것은 시료의 분석방법 즉 COD_{Mn}과 COD_{cr}에 의한 분석방법의 차이에서 비롯되었으나 결론적으로는 이러한 난분해성 폐수와 유사한 비율인 것으로 사료된다. 생분해능 측면에서 유입수와 유출수의 TCOD_{Mn}/TBOD₅, SCOD_{Mn}/SBOD₅비를 비교해 볼 때 유출수의 비율이 다소 높게 나타났다. TBOD₅(또는 SBOD₅)보다 TCOD_{Mn}(또는 SCOD_{Mn})가 높다는 것은 생분해가 불가능하며 난분해성 물질이 존재함을 알 수 있었다.

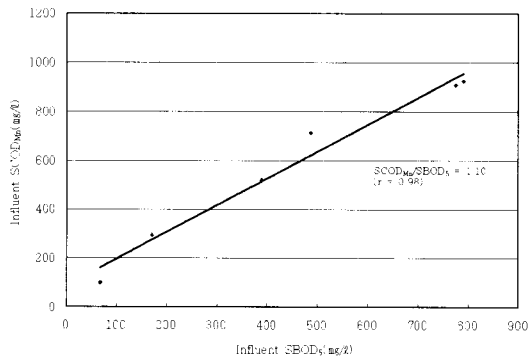
그러나 Table 1에서 TCOD_{Mn} 536mg/l 이하에서는 처리효율이 매우 높게 나타났다. 이러한 높은 처리효율은 미생물이 기질에 포화되지 않은 결과로 사료된다. Fig. 3(a)(b)에서 유출수의 TCOD_{Mn}(또는



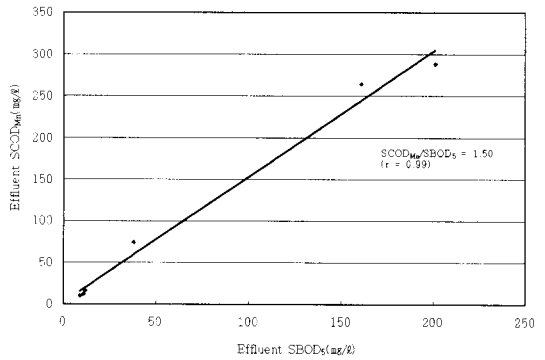
(a) $TCOD_{Mn}/TBOD_5$



(a) $TCOD_{Mn}/TBOD_5$



(b) $SCOD_{Mn}/SBOD_5$



(b) $SCOD_{Mn}/SBOD_5$

Fig. 2. Relationship between influent $TCOD_{Mn}/TBOD_5$ and influent $SCOD_{Mn}/SBOD_5$ concentration.

Fig. 3. Relationship between effluent $TCOD_{Mn}/TBOD_5$ and effluent $SCOD_{Mn}/SBOD_5$ concentration.

Table 2. $TCOD_{Mn}/TBOD_5$ ratio of influent and effluent

Operation days	Influent		Effluent	
	$TCOD_{Mn}/TBOD_5$	$SCOD_{Mn}/SBOD_5$	$TCOD_{Mn}/TBOD_5$	$SCOD_{Mn}/SBOD_5$
3	2.12	1.48	1.40	1.11
7	1.62	1.71	1.91	1.09
8	1.31	1.34	2.12	1.33
7	1.43	1.46	1.79	1.94
7	1.17	1.17	1.47	1.64
7	1.18	1.16	1.41	1.43

$SCOD_{Mn}$)와 $TBOD_5$ (또는 $SBOD_5$)의 비율이 유입수보다 높게 나타났는데 이것은 유출수 중에 어떠한 난분해성 물질이 존재하고 있음을 알 수 있으며 더 이상의 생분해는 불가능한 것으로 판단된다. 이는 근래 많은 학설이 주장하고 있는 미생물의 분해산물 형성 이론에 의하면 유출수에서 COD를 유발하는 것이 유입수에서 처리되고 남은 유기물의 잔류 COD가 아니

라 미생물의 분해산물에서 유발되는 유기물에 의한 COD가 대부분 차지한다는 이론(Grady and Williams, 1974; Daigger and Grady, 1977; Sykes, 1981)과 이러한 잔류 COD는 생체 미생물의 세포에서 흘러 나왔거나 혹은 죽거나 파괴된 미생물의 체내에서 유래되었다는 이론(Baskir and Hansford, 1979). 분해산물은 미생물의 활동에 의한 SOM(Soluble Organic Matter)

Table 3. Operating conditions of reactor

Operation days	Q(m ³ /day ⁻¹)	θ _c (day)	t(day ⁻¹)	X(mg/l)	X _r (mg/l)	X _e (mg/l)
3	10	7.37	1.4	3138	5720	24
7	10	5.72	1.4	3411	7651	76
8	11	5.64	1.2	3526	8128	110
7	9	5.56	1.5	3320	7940	52
7	10	5.66	1.4	3069	7256	36
7	10	5.49	1.4	3026	7201	51

Q: flow rate(m³/day)

S_i: influent substrate concentration(mg/l)

S_e: effluent substrate concentration(mg/l)

θ_c: solid retention time(day)

t: hydraulic retention time(day)

X: biomass concentration in reactor(mg/l)

X_r: return biomass concentration(mg/l)

X_e: effluent biomass concentration(mg/l)

이라는 이론(Eckhoff and Jenkins, 1967)이 최근 새로운 의견을 내고 있다. Table 2에서 유기물부하에 따른 유입수의 TCOD_{Mn}/TBOD₅비와 SCOD_{Mn}/SBOD₅비는 유기물의 부하가 클수록 비율은 작아지고 유기물부하가 작을수록 비율은 높아지는 경향이 있다. 그러나 유출수의 TCOD_{Mn}/TBOD₅비와 SCOD_{Mn}/SBOD₅비는 유기물부하가 클수록 TCOD_{Mn}/TBOD₅비는 작아지나 SCOD_{Mn}/SBOD₅비는 높아지는 경향이 나타났다.

이 현상은 앞에서 밝힌 학설이 주장하고 있는 미생물의 분해산물 형성이론 즉 미생물의 분해산물이 BOD₅보다는 COD_{Mn}로 검출된다는 것을 간접적으로 알 수 있었다. 또한 유출수의 TCOD_{Mn}/TBOD₅비를 볼 때 수질환경보전법상 BOD₅와 COD_{Mn}의 배출허용기준은 업종에 따른 차등화를 고려 할 필요가 있는 것으로 사료된다.

3.2. 상수 K_s, K_{max} 값 결정

Monod(1950)식으로 부터 최대 기질제거속도(K_{max})와 반포화농도(K_s)를 구하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\frac{X \cdot t}{S_i - S_e} = \frac{K_s}{K_{max}} \cdot \frac{1}{S_e} + \frac{1}{K_{max}} \quad 1)$$

여기서 X: 반응조내 미생물의 총농도(g/m³)

t: 수리학적 체류시간(day)

S_i: 유입수의 기질농도(mg/l)

S_e: 유출수의 기질농도(mg/l)

K_{max}: 최대 기질제거속도(day⁻¹)

K_s: 반포화 기질농도(mg/l)

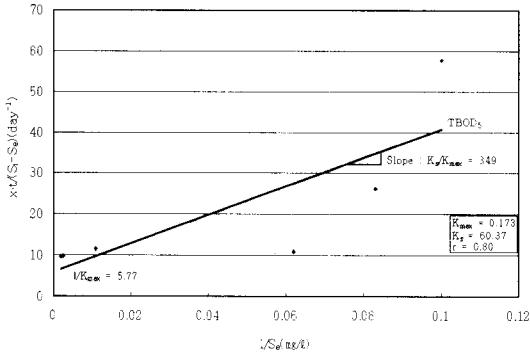
동력학적 계수산출에 필요한 유입수 및 유출수의 TCOD_{Mn}, TBOD₅, SCOD_{Mn}, SBOD₅ 농도를 Table 1에 나타내었으며 Table 3는 미생물 반응조내의 미생물농도, 미생물의 체류시간, 수리학적 체류시간 등의 운전조건을 나타내었다.

최대 기질제거속도(K_{max})와 반포화농도(K_s)를 산출하기 위하여 식 (1)을 Fig. 4의 y축에 x · t/(S_i - S_e)(day⁻¹)을 x축에 1/S_e(l/mg)로 하였을 때 y축의 절편 및 기울기의 상관관계는 다음과 같다.

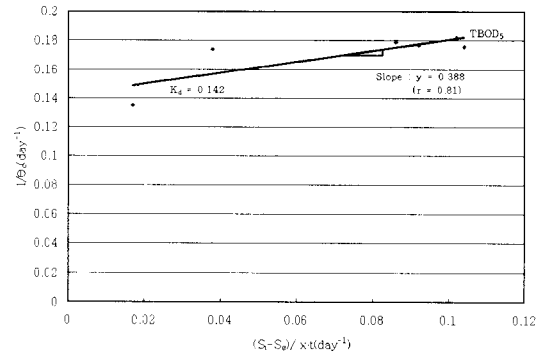
$$y\text{축 절편} = \frac{1}{K_{max}} \text{ (day}^{-1}\text{)}, \text{ 직선의 기울기} = \frac{K_s}{K_{max}} \text{ (mg/l)}$$

Fig. 4(a)의 TBOD₅ 측면에서 볼 때 y축의 절편은 5.77, 기울기는 349였다. 산출된 y축의 절편과 직선의 기울기로부터 최대 기질제거속도(K_{max})값과 반포화 기질농도(K_s)값은 각각 0.173day⁻¹, 60.37mg/l로 산출되었다.

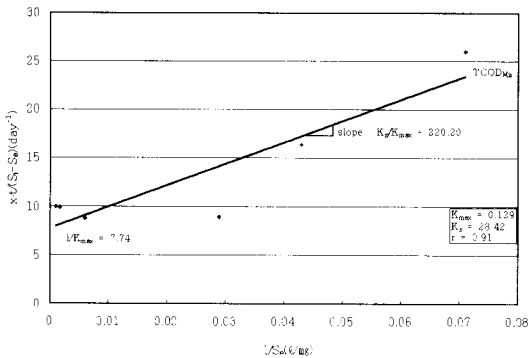
Fig. 4(b)의 TCOD_{Mn} 측면에서 볼 때 y축의 절편은 7.74, 직선의 기울기는 220.20으로 나타났다. 따라서 최대 기질제거속도(K_{max})와 반포화 기질농도(K_s)는 각각 0.129day⁻¹, 28.42mg/l로 산출되었다. 연구자료에 의하면 김등(2000)이 산산소 활성오니공정을 이용



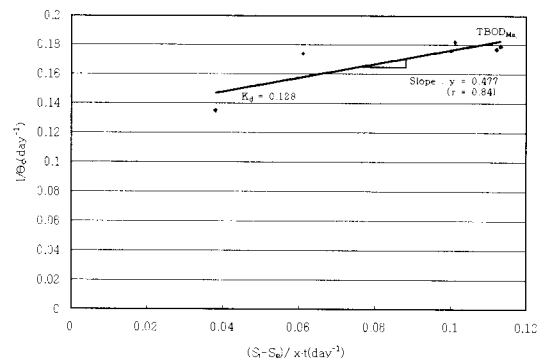
(a) TBOD₅



(a) TBOD₅



(b) TCOD_{Mn}



(b) TCOD_{Mn}

Fig. 4. Relationship between K_d and K_s .

Fig. 5. Relationship between K_d and y .

한 제지 폐수처리에서 K_{max} 와 K_s 를 각각 $2.25 \sim 3.84 \text{ day}^{-1}$, $85 \sim 156 \text{ mg/l}$ 로 추정하였으며 김등(1983)은 제지오니를 이용한 다단활성슬러지 공법에서 K_{max} 와 K_s 를 각각 $1.3 \sim 1.2 \text{ day}^{-1}$, $21.4 \sim 30.6 \text{ mg/l}$ 로 추정하였다. 본 연구결과와 비교해 볼 때 제지폐수처리 또는 제지오니처리의 최대 기질제거속도(K_{max})보다 매우 느리다는 것을 알 수 있었다. 한편 반포화 기질농도(K_s)가 상기 제지폐수처리 보다 다소 낮거나 다단활성슬러지 공법과 비슷한 값을 가지는데 이러한 현상은 기질과의 친화성이 좋아 기질이 쉽게 분해된다는 의미로서 MLVSS를 3000 mg/l 이상 유지한 결과로 사료된다. 그러나 유기물성상이 같으면 TBOD₅와 TCOD_{Mn}에 의한 동력학적계수는 일정한 값을 가져야 하나 본 연구결과 최대 기질제거속도(K_{max})는 TCOD_{Mn} 및 TBOD₅의 측면에서 비슷한 값을 나타내고 있으나 반포화 기질농도(K_s)는 다소 차이가 있었다. 이러한 차이는 폐수처리 과정에서 유기물성상이

바뀌었거나 미생물의 특성이 변화된 결과로 사료된다.

3.3. 상수 K_d , y 값 결정

대수성장단계에서 미생물의 내생호흡계수(K_d)와 세포합성계수(y)의 관계를 Monod(1950) 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{1}{\theta_c} = y \frac{(S_i - S_e)}{X \cdot t} - K_d \quad (2)$$

여기서 θ_c : 미생물의 세포체유시시간(day)

y : 미생물 세포합성계수(mg-MLVSS/mg-TCOD_{Mn})

k_d : 내생호흡계수(1/day)

미생물의 동력학적계수인 내생호흡계수(K_d)와 미생물의 세포합성계수(y)를 산출하기 위하여 Monod

Table 4. Experimental data to K, Ks, Kd, y

Operation days	$x \cdot t(S_1 - S_e)(\text{day}^{-1})$		$1/S_e(\text{l/mg})$		$(S_1 - S_e)/x \cdot t(\text{day}^{-1})$		$1/\theta_c$ (day^{-1})
	TBOD ₅	TCOD _{Mn}	TBOD ₅	TCOD _{Mn}	TBOD ₅	TCOD _{Mn}	
3	57.8	25.99	0.1	0.071	0.017	0.038	0.135
7	26.23	16.35	0.083	0.043	0.038	0.061	0.174
8	10.82	8.92	0.062	0.029	0.092	0.112	0.177
7	11.55	8.78	0.011	0.006	0.086	0.113	0.179
7	9.59	9.96	0.002	0.001	0.104	0.100	0.176
7	9.73	9.89	0.0025	0.0017	0.102	0.101	0.182

식 (2)를 Fig. 5의 x축에 $(S_1 - S_e)/x \cdot t(\text{day}^{-1})$ 를 y축에 $1/\theta_c(\text{day}^{-1})$ 을 취하면 다음과 같다.

$$y\text{-축 절편} = K_d, (\text{day}^{-1}), \text{ 직선의 기울기} = y$$

Fig. 5(a) TBOD₅ 측면에서 볼 때 y축의 절편은 0.142, 직선의 기울기는 0.388이다. 따라서 내생호흡계수(K_d)와 세포합성계수(y)는 각각 0.142day^{-1} , 0.388mg/mg 이 된다.

Fig. 5(b) TCOD_{Mn} 측면에서 볼 때 y축의 절편은 0.128, 직선의 기울기는 0.477mg/mg 이다. 따라서 내생호흡계수(K_d)와 세포합성계수(y)는 각각 0.128day^{-1} , 0.477mg/mg 으로 산출되었다.

자료에 의하면 Domey(1973) 등이 염색 및 직물공장 폐수를 대상으로 하여 일반 활성오니공정으로 생분해 실험하여 얻은 값($K_d = 0.03\text{day}^{-1}$, $y = 0.38\text{g VSS/g BOD}_{\text{removed}}$)보다 높거나 낮은 수치이며 yang(1981)과 Metcalf(1972) 등이 활성오니공법에서 제시한 내생호흡계수(K_d) $0.04 \sim 0.075\text{day}^{-1}$ 는 매우 낮다. 또한 Park(1982)은 4단 활성오니법을 이용한뇨(尿)를 처리대상으로 하였을 때의 내생호흡계수(K_d)는 0.0211day^{-1} 로서 본 연구에 비교해 볼 때 매우 낮게 나타났다.

내생호흡계수(K_d)는 미생물의 성장단계인 지체성장단계, 대수성장단계, 감소성장단계, 정체단계, 사멸단계 중에서 사멸단계에 해당한다. 따라서 K_d 는 미생물의 사멸계수로서 본 연구에서 높게 나타나는 것은 폐수내 난분해성물질이 존재하고 있음을 시사하고 있는 것으로 사료된다. 미생물의 합성계수(y)는 단위 제거유기물에 대한 최대미생물의 생성량을 나타내고 있음을 감안할 때 본 연구에서 y 가 낮게 나타나는 것은 K_d 에서와 같은 난분해성물질이 존재함을 재확인

3.4. μ_{max} 값 결정

Monod(1950)에 의하여 미생물의 최대비성장속도(μ_{max})를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{y} \cdot \frac{dX}{dt} \tag{3}$$

$$= \frac{\mu_{\text{max}}}{y} \cdot \frac{S_e X}{K_s + S_e} = \frac{K_{\text{max}} S_e X}{K_s + S_e}$$

식 (3)을 정리하면

$$\mu_{\text{max}} = K_{\text{max}} \cdot y, (\text{day}^{-1})$$

$$K_{\text{max}} = \frac{\mu_{\text{max}}}{y}, (\text{day}^{-1}) \text{가 된다.}$$

따라서 최대비성장속도(μ_{max})는 TBOD₅ 측면에서 볼 때 0.066day^{-1} 이며 TCOD_{Mn} 측면에서 볼 때 0.061day^{-1} 로 나타났다. 연구자료에 의하면 Grady(1980)등은 활성슬러지의 전형적인 최대비성장속도(μ_{max}) 값의 범위는 $0.3 \sim 0.5\text{day}^{-1}$ 라고 하였으며 Kornegay and Andrews(1968)는 glucose를 이용한 회전원판 실험에서 μ_{max} 는 0.28hr^{-1} 라고 하였다. 또한 Lawrence and McCarty(1969)는 아세트산염과 프로 피온산염, 브티르산염의 혐기성 실험에서 0.23day^{-1} , 0.5day^{-1} , 0.64day^{-1} 를 각각 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 매우 낮은 최대비성장속도(μ_{max})가 나타났음에도 불구하고 정상상태에서의 처리효율은 매우 양호하였다. 이것은 미생물의 생장율이 크다고 활성미생물의 농도가 높거나 유출수의 수질이 양호한 것이 아님을 알 수 있었다. 다시 말해서 SRT를 증가시키면 미생물 농도 및 처리효율은 증가하지만 미생물의 최종 대사

산물로 인하여 비생장율은 감소하는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구의 목적은 판지공장폐수중 난분해성 유기물질이 동력학적계수에 미치는 영향과 생분해능을 검토하여 현장 실용화에 기초 데이터를 제공하는데 있다. 따라서 판지공장 인쇄공정에서 배출되는 고농도 유기성폐수에 미생물의 호기성 공동대사원리를 산업 현장 폐수처리장에 적용하였다. 배출되는 난분해성 유기물질에 따른 동력학적계수와 생분해능을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 생분해능 측면에서 볼 때 유입수의 $TCOD_{Mn}/TBOD_5$ 비 및 $SCOD_{Mn}/SBOD_5$ 비는 각각 1.07, 1.10으로 산출되었으며, 유출수의 $TCOD_{Mn}/TBOD_5$, $SCOD_{Mn}/SBOD_5$ 비는 각각 1.41, 1.50으로 산출되었다. 유입수 보다 유출수의 비가 높은것으로 나타났으며 본 연구에서 $TCOD_{Mn}$ 536mg/l 이하에서는 처리효율이 매우 높게 나타났다. 이러한 높은 처리효율은 MLVSS를 3,000mg/l 이상 유지한 결과로 사료된다. 또한 유출수의 COD_{Mn}/BOD_5 의 비가 특히 높아지는 경향이 있는데 이러한 현상은 미생물의 분해산물에서 비롯된 것으로 사료되며 수질환경보전법상 BOD_5 와 COD_{Mn} 의 배출허용기준은 업종에 따른 차등화를 고려 할 필요가 있는 것으로 사료되었다.

2. Modod식으로 부터 최대 기질제거속도(K_{max})와 반포화농도(K_s)는 $TBOD_5$ 를 기준으로 했을때 각각 $0.173day^{-1}$, 60.37mg/l로 산출되었으며, $TCOD_{Mn}$ 를 기준으로 했을 때 각각 $0.129day^{-1}$, 28.42mg/l로 산출되었다. 또한 미생물의 내생호흡계수(K_d)와 세포합성계수(y)는 $TBOD_5$ 를 기준으로 했을때 각각 $0.142day^{-1}$, 0.388mg/l였으며, $TCOD_{Mn}$ 를 기준으로 했을 때 각각 $0.128day^{-1}$, 0.477mg/mg로 산출되었으며 미생물의 최대 비생장속도(μ_{max})는 $TBOD_5$ 와 $TCOD_{Mn}$ 를 기준으로 했을때 각각 $0.066day^{-1}$, $0.061day^{-1}$ 로 나타났다.

3. 동력학적계수 값은 유기물성상이 같으면 그 유기물에서 성장하는 미생물의 특성이 같으며 환경요인이 동일할 때에는 유기물농도에 관계없이 동일한 유기물에서 일정한 값을 가져야하나 본 연구에서 산

출된 계수 값은 $TBOD_5$ 와 $TCOD_{Mn}$ 에 따라 다소의 차이가 났다. 이것은 현장 테스트과정에서 환경조건 또는 유기물의 정상변화에 기인하는 것으로 사료된다.

4. 상기 연구결과를 종합해 볼 때 난분해성 유기물질이 존재할 경우 COD_{Mn}/BOD_5 비, K_s , K_d 값은 높게 나타날 것이며 K_{max} , y , μ_{max} 값은 낮게 나타날 것이다. 그러나 본 연구결과에서는 COD_{Mn}/BOD_5 비와 K_d 값은 높게, μ_{max} 값은 낮게 나타났음에도 불구하고 $TCOD_{Mn}$ 536mg/l 이하에서는 처리효율이 매우 높게 나타났다. 이러한 처리효율을 볼 때 난분해성 물질의 생분해는 미생물의 활성화 정도 또는 활성화 방법에 기인하는 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. 김성순, 정태학 (2000) 순산소 활성오니공정을 이용한 제지폐수처리의 동력학적 해석, *상하수도학회지*, 14(2), pp. 157~163.
2. 김인수, 양승수, 오영해 (1983) 다단활성슬러지공법의 동력학적 연구, *대한환경공학회지*, 5(2), pp. 49~63.
3. 박태주 (1988) 염료공장의 톨루이딘 슬론산 공정폐수와 종합폐수의 생물학적 처리, *화학공학*, 26, pp. 212~220.
4. 환경보전협회 (1997) 수질관리, p. 80.
5. 환경부 (2002) 공동폐수처리장 설계지침, pp. 4~68.
6. Baskir, C.L., and Hansford, G.S. (1979) Product Formation in the Continuous Culture of Microbial Population Grown on Carbohydrates. Dept. of Chemical Engr., Univ. of Cape Town, Rondebosch, Cape 7700, South Africa, p. 1857.
7. Yang, Byung-Soo (1981) Treatability Study on the septic Tank Sludges. Bull. of the Korean Fisheries Tech. Society, Busan, Korea, 17(1), p. 41.
8. Daigger, G.T., and Grady, C.P.L., Jr. (1977) A Model for the Bio-Oxidation Process Based on Product Formation Concepts. *Water Research*, 11(12), p. 1049.
9. Park, Dong-Keun (1982) The Study on the Aerobic Treatment of Urine. Master Thesis, Nai. Fish. Univ. of Busan.
10. Domey, W. R. (1973) Design Parameters and Performance of Biological System for Textile Plant Effluent, Proc. 28th Purdue Ind. Waste. Conf., p. 438.
11. Eckhoff, D.W., and Jenkins, D. (1967) Activated Sludge Systems-Kinetics of the Steady and Transient Studies. SERL Report. No. 67-12, Sanitary Engr. Ressarch Laboratory, College of Engineeringm Univ. of California, Berkeley, Calif.

12. Grady C. P. L. Jr and Lim H. C. (1980) *Logical Wastewater treatment*, Marcel Dekker, pp. 325-330.
13. Grady, C.P.L. Jr., and Williams, D.R. (1974) Effects of Influent Substrate Concentration on the Kinetics of Natural Microbial Population in Continuous Culture. *Water Research*, **9**, p. 171.
14. Heukelekian, H and Rand, M.C. (1955) Biochemical Oxygen Demand of Pure Organic Compounds. *Sewage and Industrial Wastes*, **27**, pp. 1040-1053.
15. Kornegay, B.H., and Andrews. J.F. (1968) Kinetics of fixed-film biological reactors, *J. Water Pollut. Control Fed.*, **40**(11), pp. 460-468.
16. Lawrence, A.W. and P.L. McCarty (1969) Kinetics of Methane Fermentation in Anaerobic Treatment. *J. Water Pollution Control Federation*, **41**(2), pp. R1-R17.
17. Monod, J. (1950) La technique de culture continue; Theorie et applications. *Annals Institute Pasteur*, **79**, pp. 390-410.
18. Metcalf and Eddy (1972) *Wastewater Engineering*. McGraw-Hill, p. 434.
19. Novick, A. and Szilard (1950) Experiments with the chemostat on spontaneous Mutations of bacteria. *Proc. National Academy of Sciences*, **36**, pp. 708-719.
20. Olive, J.Hao., et al. (1987) Effect of Slowly Biodegradable Organics on Kinetic Coefficients, *J. Environ. Eng.*, **133**, pp. 147-155.
21. Patterson, C.W. (1980) The impact of ecology on the development of flexo/gravuremgs. *JOCOR*, **73**, pp. 290-294.
22. Sykes, R.M. (1981) Limiting Nutrient Concept in Activated Sludge Models. *Jwpcf*, **53**(7), p. 1213.