

Ejector형 포기장치를 이용한 식품가공폐수의 처리

정 용 현

부경대학교 공과대학 환경공학과
(1999년 1월 7일 접수)

Food Processing Wastewater Treatment with Ejector-Type Aerator

Yong-Hyun Chung

Department of Environmental Eng., College of Eng., Pukyong National University
(Manuscript received 7 January, 1999)

This study was conducted to evaluate the treatment efficiency including reaction kinetics and hydraulic characteristics of food processing wastewater by using an ejector-type aeration system (ETAS) in activated sludge process.

The oxygen transfer efficiency in ETAS can be changed in accordance with the depth of reactor. However, the optimum air velocity was found less than 1.82 m/hr at a superficial liquid velocity of 634 m/hr. The ETAS process showed higher organic material removal efficiency than that of the existing activated sludge process under hydraulic detention time ranged from 6 to 12 hours.

This process, which can maintain MLVSS highly, is able to have high organic material removal efficiency at short HRT and deal with variable organic material loading.

Key words : ejector-type aeration system(ETAS), activated sludge process

1. 서 론

일반적으로 기계식 포기조에서는 미생물 농도를 높혀 반응속도를 증대시킴으로써 수리학적 체류 시간을 짧게 하여 운전할 경우, 유출수의 고액 분리가 용이하지 못 할 뿐만 아니라 충분한 산소 공급과 원활한 교반상태 유지에 한계가 있어 반응조내 MLSS 농도를 2,000~3,000 mg/ℓ 이하로 제한하고 있다.^{1,2)}

따라서, 이러한 단점을 해결하기 위해서는 포기조 내에서의 산소전달율을 높여 주어 유기물 제거 속도를 빠르게 하여야 한다. 이러한 공법으로서, 혼합액 중의 산소 포화 농도를 일반적인 농도의 4배 정도까지 높일 수 있을 뿐만 아니라 MLSS 농도를 6,000~10,000 mg/ℓ 로 매우 높게 유지할 수 있는 순산소 활성 슬러지 공법(pure oxygen activated sludge process)과 호기성 발효 기술을 수정한 Deep shaft 공법이 개발되었다.^{3,4)} 특히, Deep shaft 공법의 특징은 가스의 용해도가 압력에 정비례하기 때문에 포기조의 깊이를 깊게 함으로써 기체-액체간에 긴 접촉시간을 제공하게 될 뿐만 아니라 수압에 의해 각 성분 가스의 부분압이 높아져 많은 양의 산소를 수중에 용존 시킬 수 있다는 것이다. 그러나, Deep shaft에서의 공기전달 강도(약 10 kg O₂/m³-hr)는 상압에서는 불가능하며 동력소비 또한 상당히 크기 때문에 Deep shaft 내 액체와 기체의 혼합액을 순환시키기 위한 방법으로 공기부상(Air-lift)

형태의 포기조가 개발되었으나,^{5,6)} 여전히 많은 시설이나 운전비가 요구되므로 아직 국내에서는 실용화되지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 송풍 장치를 별도로 두는 산소 전달 장치를 개발하여 이를 활성슬러지 공법에 설치하였을 때 반응조내 수리학적 특성을 평가하고, 어묵 및 참치 가공 공장 폐수를 대상으로 한 유기물제거 실험을 통한 동력학적 인자를 도출하여, 본 공법의 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 장치

본 실험에 사용된 반응조는 Fig. 1의 (a)에 나타낸 바와 같이 이상유동층 형태이며 내경 20 cm, 높이 150 cm의 stainless steel(SUS 304) 원통으로 제작하였는데, 반응조 총 용적은 47 ℓ 였다. 반응기 내부에는 직경 8 cm, 높이 135 cm, 두께 2 mm인 Draft Tube를 설치하였으며, 반응조 상부에 유출구 쪽으로 경사진 저류조를 설치하여 순환수가 자연유하식으로 침전조에 전달되도록 하였다. 또한, Fig. 1의 (b)와 같은 Ejector 형태의 산소 전달 장치(Ejector-Type Aeration System; ETAS)에 내경 3 cm의 관을 끼워 Draft Tube 상부 10 cm 부근에 위치하도록 고정하였으며 공기량 조절은 air flow meter를 사용하였다. 혼합액 및

반송 슬러지는 순환 펌프(LG, PH 101B)를 사용하여 ETAS 상부로 순화시켰으며, 유량은 밸브를 사용하여 조절하였다.

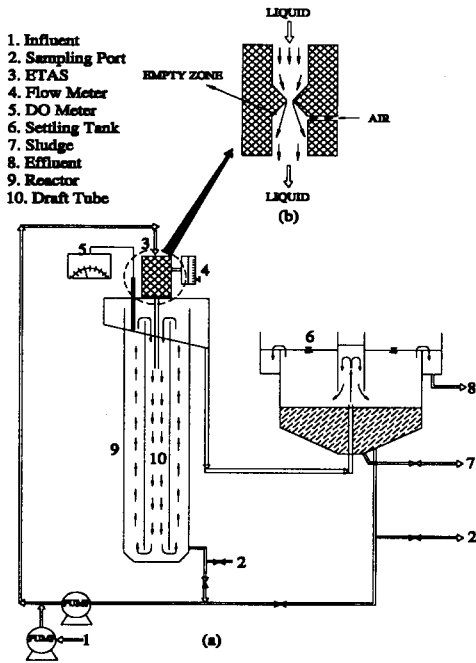


Fig. 1. Schematic diagram of ETAS process.

유입폐수는 마그네틱 펌프(LG, PM-015NM)를 사용하여, 혼합액 및 반송 슬러지 유입 배관으로 유입시켰다.

2.2. 실험 방법

본 실험에서의 주요 측정항목의 하나로써 ETAS가 설치된 반응조(이하 ETAS라 한다.)의 산소전달효율과 포기조내 혼합양상을 조사하였다. 반응조내에 수돗물을 채워 환원제인 Na_2SO_3 와 촉매제인 염화코발트(CoCl_2)를 첨가하여 무산소상태로 만든 후, ETAS로 물을 순환시키면서 비정상상태 하에서 용존산소농도를 측정하였는데 이때 산소측정기에 연속기록계를 부착하여 산소전달현상을 연속적으로 측정할 수 있도록 하였다. 순환수의 반응조에 대한 액체단면유속을 252, 528, 634 및 717 m/hr로 점차 증가시키면서 실험을 수행하였으며, 각 액체단면유속에 대한 ETAS에서의 공기 유속을 각각 1.82, 5.42, 9.04 및 12.67 m/hr로 단계적으로 증가시켜 가며 용존산소농도를 측정하였다.

본 실험에 사용된 활성슬러지는 현재 어묵 및 참치 가공 공장에서 배출되는 폐수를 처리하고 있는 폐수처리장의 포기조내 활성 미생물을 ETAS 공정에 식중하여 실험에 사용하였다. 반응조내 MLSS 농도는 각 단계별로 6,000, 8,000 및 10,000 mg/l 를 유지시켜 각 MLSS 농도에 대하여 수리학적 체류시간(HRT; θ_c)을 6, 9 및 12 hr으로

변화시켜 가며 운전하였다. 슬러지 폐기량은 현장에서 1 일 유입유량의 약 2 %를 폐기하고 있어 본 실험에서도 동일하게 하였다.

본 실험기간 동안의 기존 포기조로 유입되는 폐수의 성상 및 운전조건은 Table 1과 같으며, 모든 분석방법은 수질오염 공정시험방법⁷⁾에 따랐다.

Table 1. Characteristics and treating conditions of the food processing wastewater during experiment

HRT, day	0.5
Influent CODMn, mg/l	1,914
Effluent CODMn, mg/l	243
TSS, mg/l	147
VSS, mg/l	120
MLSS, mg/l	2,014
MLVSS, mg/l	1,647
SVI (SV ₃₀ = 312 ml/l)	155
F/Mv, kg COD/kg MLVSS · day	0.34

3. 결 과

3.1. 산소전달효율

각 액체단면유속에 대해 공기유속을 변환시켜 액중의 용존산소농도를 측정한 결과를 Table 2에 나타내었다. 전반적으로 K_{La} 값은 액체단면유속과 공기유속에 직접적으로 관련되어 있음을 알 수 있었으며, 액체단면유속 634 m/hr, 공기유속 1.82 m/hr에서 산소전달효율이 96.23 %로 가장 높게 나타났다. 이때 K_{La} 값은 35.55 hr^{-1} 이었으며 약 $327.06 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$ 가 수중에 용해되었다.

Fig. 2는 공기유속에 대한 K_{La} 값을 나타낸 것이다. 일

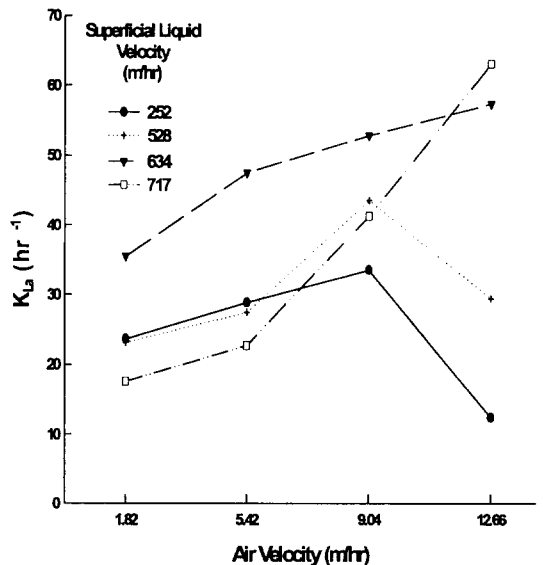


Fig. 2. Relationship between K_{La} and air velocity according to superficial liquid velocity.

Table 2. Oxygen Transfer Data for ETAS Process

Superficial liquid velocity (m/hr)	Air velocity (m/hr)	Amounts of oxygen transfer		KLa (hr ⁻¹)	KLa · Cs (g/m ³ · hr)	KLa · Cs · V (g/hr)	Oxygen dissolution efficiency (%)
		(l/hr)	(g/hr)				
252	1.82	12.00	15.97	23.65	217.58	10.23	64.37
	5.42	35.74	47.57	28.87	265.60	12.48	26.24
	9.04	59.61	79.34	33.57	308.84	14.52	18.29
	12.66	83.48	111.12	12.46	114.63	5.39	4.85
528	1.82	12.00	15.97	23.15	212.98	10.01	62.66
	5.42	35.74	47.57	27.43	252.36	11.86	24.93
	9.04	59.61	79.34	43.58	400.94	18.84	23.75
	12.66	83.48	111.12	29.48	271.22	12.75	11.47
634	1.82	12.00	15.97	35.55	327.06	15.37	96.23
	5.42	35.74	47.57	47.55	437.46	20.56	43.22
	9.04	59.61	79.34	52.89	486.59	22.87	28.82
	12.66	83.48	111.12	57.45	528.54	24.84	22.36
717	1.82	12.00	15.97	17.63	162.20	7.62	47.72
	5.42	35.74	47.57	22.74	209.21	9.83	20.67
	9.04	59.61	79.34	41.35	380.42	17.88	22.53
	12.66	83.48	111.12	63.21	581.53	27.33	24.60

정 액체 단면 유속에서 K_{La} 값은 공기유속이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으나, 액체단면유속이 비교적 적은 252 및 528 m/hr의 경우는 공기단면유속 12.66 m/hr에서 크게 감소되는 것으로 나타나, ETAS 장치에서 액체 단면유속의 증가가 비례적으로 DO 증가를 이루지 못하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 높은 액체 단면 유속에서는 반응조 내에서의 순환유속이 빨라 산소가 수중으로 용존되는 속도 이상으로 대기 중으로 방출되기

때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 공기유속에 대한 산소전달효율을 나타낸 것으로서, 공기유속이 작을수록 좋은 효율을 보이고 있다. 여기서도 적정 액체단면유속은 634 m/hr 부근으로 나타나고 있어 본 연구의 적정 액체 단면 유속 및 공기 단면 유속은 각각 634 및 1.82 m/hr로 교정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2. 유기물질 제거

ETAS 공정에서 각 단계별 유출수 SCOD는 HRT가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나(Table 3), Fig. 4에 나타난 바와 같이 기존 처리공법과 동일한 HRT인 12시간의 경우 기존 87.3% 보다 훨씬 높은 97% 이상으로 나타났으며, 보다 짧은 수리학적 체류시간에서 운전했음에도 불구하고 전 범위의 HRT에서 대부분 96% 이상의 매우 높은 COD 제거 효율을 보였다. 또한, F/Mv 비에 따른 COD 제거효율을 보면, Fig. 5에 나타난 바와 같이 F/Mv 비를 기존 포기조(0.34 day⁻¹)보다 매우 높게 유지하였음에도 불구하고 운전한 전 범위의 F/Mv 비에서 거의 대부분 96% 이상의 높은 COD 제거 효율을 얻을 수 있었다. 이것은 ETAS 공법을 적용할 경우, 높은 산소 전달 효율로 높은 MLVSS 농도에서 운전할 있어 유기물 변동 부하에 대응할 수 있는 능력이 기존의 처리장보다 상당히 클 것으로 판단되었다.

3.3. 동력학적 인자의 산출

ETAS 공정에 대한 동력학 계수 Y, kd 및 반응속도상수 k, Ks는 실험결과를 이용하여 구하였다. 미생물 전환 계수 Y와 내생호흡계수 kd의 결정은 비기질이용속도, (Si-Se)/X · θ_i 대 슬러지 일령의 역수, 1/ θ_c 를 도시한 Fig. 6의 직선회귀분석으로부터 산출하였는데, Y 및 kd값

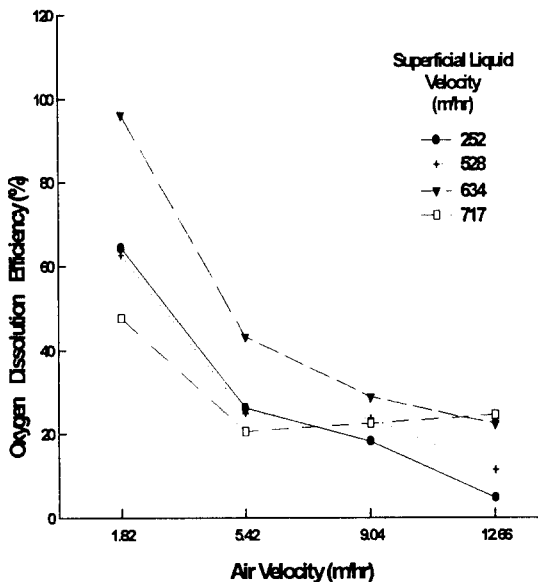


Fig. 3. Relationship between oxygen dissolution efficiency and air velocity according to superficial liquid velocity.

Table 3. Operating results for each stage

Stage	HRT	SRT	Influent TCOD	MLSS	MLVSS	Effluent			COD removal Efficiency (%)	F/Mv ratio (day ⁻¹)
						TSS	VSS	SCOD		
						(mg/l)				
I	0.52	9.85	1875	9740	8474	39.6	33.5	34.3	98.2	0.43
	0.36	6.38	2013	9663	8512	47.5	40.3	46.4	97.7	0.66
	0.24	4.17	1896	9841	8496	73.2	62.7	56.2	97.0	0.93
II	0.52	7.30	1947	7672	6721	21.6	18.8	43.6	97.8	0.56
	0.36	5.05	1864	7565	6682	30.7	26.7	57.5	96.9	0.77
	0.24	3.54	1992	7927	6816	36.3	30.6	72.8	96.3	1.22
III	0.52	5.96	1835	5948	5211	20.7	18.3	49.6	97.3	0.66
	0.36	4.15	1921	6027	5243	19.8	17.5	60.7	96.8	1.02
	0.24	2.70	1886	6112	5297	33.5	29.1	98.2	94.8	1.48

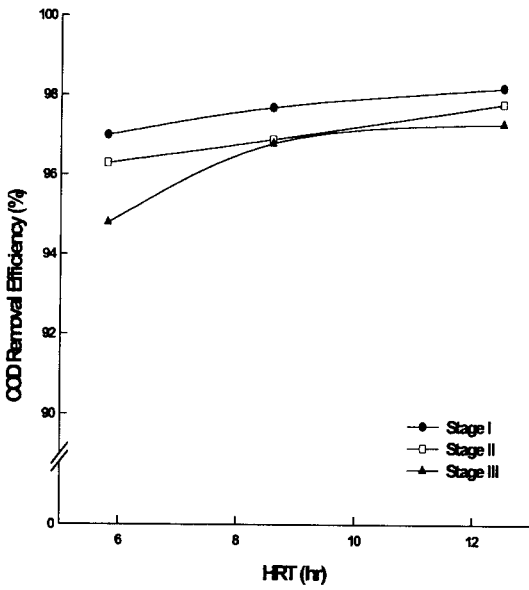


Fig. 4. COD removal efficiencies for each stage.

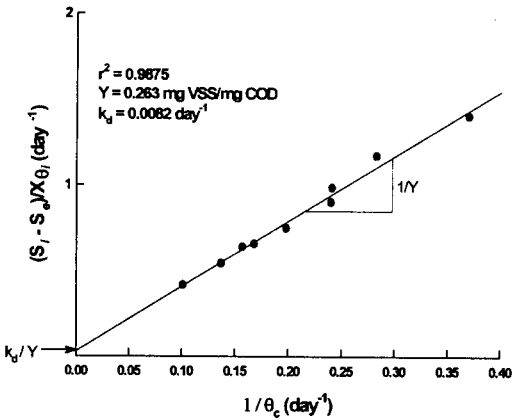


Fig. 6. Evaluation of growth yield coefficient, Y and endogenous coefficient, k_d .

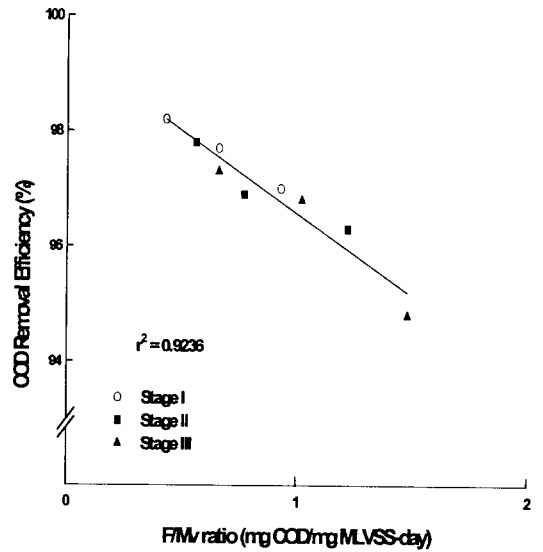


Fig. 5. COD removal efficiencies for F/Mv in each stage.

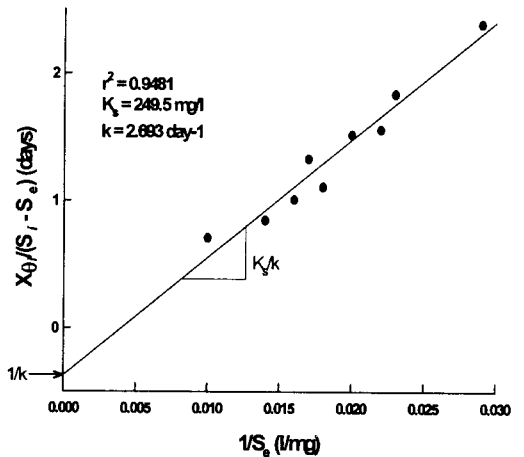


Fig. 7. Evaluation of kinetic coefficients, K_s and k .

은 각각 0.263 mg VSS/mg COD 및 0.0082 day⁻¹로 나타났다.

또한, Fig. 7에서 1/Se 대 $X \cdot \theta_v / (S_i - S_c)$ 에 대해 도시하여 산출한 K_s 및 k 값은 각각 249.5 mg COD/ℓ 및 2.693 day⁻¹로 나타났다.

활성 슬러지 공법은 유기 물질을 제거하는 생물학적 폐수 처리 공법 중의 하나로써 현재 가장 널리 사용되고 있는 방법이지만 일반적으로 하수의 경우 4~8시간의 수리학적 체류 시간이 유지되어야 하므로 많은 소요 면적과 소요 동력이 요구됨은 물론, 잉여 슬러지 발생에 따른 부가적인 슬러지 처리비용 등 시설비 및 운전 경비가 많이 든다는 단점을 가지고 있다.⁸⁾ 또한, 포기조에 미생물 농도를 높혀 반응속도를 증대시킴으로써 수리학적 체류 시간을 짧게 하여 운전할 경우, 유출수의 고액 분리가 용이하지 못 할 뿐만 아니라 충분한 산소 공급과 원활한 교반상태 유지에 한계가 있어 반응조내 MLSS 농도를 2,000~3,000 mg/ℓ 이하로 제한하고 있다. 그러나 본 실험의 경우 전 운전기간동안 SVI가 120을 초과하지 않았을 뿐만 아니라,^{9,10)} 슬러지 생산량 역시 기존치의 약 1/3 정도로 나타났다. 따라서, 기존 처리장에서의 미생물 전환 계수 등의 동력학 인자는 도출할 수 없어 ETAS 공정에서 도출된 동력학 인자를 비교할 수는 없지만 보다 낮은 Y값과 보다 높은 K_s 및 k 값으로 평가될 것이라 판단된다.

4. 결 론

어묵 및 참치 가공 공장 폐수를 대상으로 하여 ETAS의 반응속도론적 특성 및 수리학적 특성을 평가해 본 결과, ETAS 공정의 산소전달효율은 액체 단면유속의 증가가 비례적으로 DO 증가를 이루지 못하지만 액체단면유속 634 m/hr에서 공기유속은 1.82 m/hr 이하로 하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

ETAS 공법을 적용할 경우, 높은 산소 전달 효율로 높은 MLVSS 농도에서 운전할 있어 유기물 변동 부하에 대응할 수 있는 능력이 기존의 처리장보다 상당히 클 것으로 판단되며, 짧은 HRT에서도 높은 유기물질 제거 효율을 기대할 수 있어 처리장 용량을 감소시킬 수 있어 매우 경제적이며 효과적인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) Metcalf & Eddy, 1979, Wastewater engineering, treatment, disposal, reuse. McGraw-Hill Book Co., 2nd ed., Boston, USA.
- 2) EcKenfelder, W. W. Jr., 1980, Theory and practice of biological wastewater treatment. Sijthof & Noordhoff. 49-103.
- 3) Kunio Ishimaru, Ginshiro Oyama and Akikuumi Ushikubo, 1983, The pilot plant treatment of swine wastes by the deep shaft method, 38th Purdue Univer. Ind. Waste Conf. Proceed., 163-171.
- 4) Cox, G. C., V. H. Lewin, D. L. Redhead and C. B. Waller, 1980, Use of the deep-shaft process in uprating and extending existing sewage-treatment works, Wat. Pollut. Control, 79, 70-86.
- 5) Hemming M. L., 1979, General biological aspects of waste-water treatment including the deep-shaft process, Wat. Pollut. Control, 78, 312-325.
- 6) Malina, J., and T. Kimura, 1980, Invited discussion of paper entitled pilot performance of deep U-tubes' by speece, Gallagher, Krick & Thompson. prog. water Technol., 12, 408.
- 7) 환경부, 1996, 수질오염 공정시험방법.
- 8) 최의소, 조광명, 1984, 환경공학, 청문각.
- 9) Culp, R. L., 1970, The operation of wastewater treatment plants, Public Works Magazine, 10, 11.
- 10) Steel, E. W., and T. J. McGhee, 1979, Water Supply and Sewerage, New York, McGraw - Hill.