

## 회전매체를 가진 완전혼합활성슬러지 공법을 이용한 고농도 유기성 폐수 처리에 관한 연구

김 홍 태

경북대학교 토목공학과  
(1995년 11월 9일 접수)

### The Study of High Strength Organic Wastewater Treatment by Moving Media Complete Mixing Activated Sludge System

Hong-Tae Kim

*Dept. of Civil Eng., Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea*  
(Manuscript received 9 November 1995)

#### Abstract

This study was conducted to investigate the biological treatment capability of MMCMAS(Moving Media Complete Mixing Activated Sludge) reactor for high strength organic wastewater (Average BOD=800mg/ℓ). And this experimental results were compared previous study for low strength organic wastewater (Average BOD=150mg/ℓ) by the same reactor. In this study, we obtained following conclusions ;

- (1) The laboratory MMCMAS reactor demonstrated that SBOD removal efficiencies of more than 90% can be achieved at organic loading rates of 30.9 gBOD/m<sup>2</sup>/d for high strength organic wastewater and 39.4 gBOD/m<sup>2</sup>/d for low strength organic wastewater, respectively.
- (2) The nitrification rates of MMCMAS reactor was found same results of similiar organic loading rates.
- (3) The ratio of attached biomass to total biomass on the moving media varied in the range of 40 to 63% and 32 to 94% for high and low strength organic wastewater, respectively. And it was varied at the various concentration of influents for the similiar organic loading rates. The sludge production rates was found approximately 0.37 gVSS/gBOD<sub>rem</sub> in MMCMAS reactor.

Key Words : aerobic, biofilm, moving media, high strength organic wastewater.

#### 1. 서 론

미생물의 부유성장을 이용하는 공법들은 부착성장을 이용하는 공법들에 비해, 미생물의 체류시간과

미생물량이 적어 유기물의 충격부하와 수리학적 조건변동이나 독성물질 등에 매우 약한 단점이 있다. 따라서, 최근에는 부착성장을 이용하는 생물막공법과 관련된 연구가 활발히 수행되고 있는데, 대표적인 공법들로는 FMAS(Fixed Media Activated Sludge),

BAF(Biological Aerated Filter), PBR(Packed Bed Reactor), MRBC(Modified Rotating Biological Contactors) 등이 있다.

생물막공법은 미생물이 매질에 부착되는 특성을 이용하여, 매질표면에 형성된 생물막에 의해서 폐수내의 유기물질을 단시간내에 분해시키는 방법으로 사용매질에 따라 고정매체(fixed media), 부유매체(floating media), 충전재(packed media), 회전매체(moving media) 등 여러가지가 있다. 고정매체는 부착된 미생물막의 두께가 두꺼워지면 매질의 막힘(clogging)과 단회로(short circuiting)현상이 생기고, 주기적으로 슬러지를 제거해야하는 단점이 있으며, 부유매체는 접촉매질이 반응조내에서 이동하고 충돌되기 때문에, 공극의 폐쇄현상은 없으나, 미생물의 산소공급량이 저하되어 불균일한 포기시에는 하부에 슬러지가 침적되는 단점이 있으며, 충전재는 입자상의 매질을 부상시키는데 드는 높은 에너지비용과 매질의 유실을 최소화해야하는 단점이 있다. 그러나, 회전매체는 물과의 전단력으로 밀도가 크고, 항상 일정한 두께를 가진 얇은 생물막을 유지시켜주므로, 미생물의 활성을 극대화할 수 있고, 회전속도에 의해서 생물막의 두께를 조절할 수 있기 때문에, 잠재적인 부하 변동이나 충격부하에도 대응할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 회전매체를 가진 완전혼합활성슬러지(Moving Media Complete Mixing Activated Sludge : MMCMAS) 공법으로 BOD 800mg/l 정도의 고농도 유기성 폐수 처리의 적용가능성을 조사하고자 수행되었다. 연구내용은 수리학적 부하에 따른 유기물 제거효율과 부유 및 부착 미생물의 성장과 슬러지 생산량 등에 관한 조사였다. 또한, 동일한 반응조에 의해 수행되었던 BOD 150mg/l 정도의 저농도 유기성 폐수를 처리한 결과(김홍태, 1993)와도 비교하였다.

## 2. 문헌연구

생물막은 유기물의 흡착 및 미생물의 이동과 부

착, 성장과 탈리의 과정으로 형성되며(Trulear와 Claracklis, 1966), 미생물이 매질표면에 부착되는 현상은, 미생물이 갖는 다당질의 점액분비물에 의한 단순한 부착이나 또는 매질표면과 미생물 사이의 흡착으로 설명되고 있는데(Renn, 1956; Claracklis, 1981), 이 과정은 생물막이 기질농도에 관계없이 미생물량에 비례하여 증가하는 대수성장 단계와 기질과 영양분이 충분한 생물막 표면 근처에서만 비례하여 증가하는 전이단계를 거쳐 생물막이 일정하게 유지되는 정상상태에 이르는 3단계의 과정으로 이루어진다.

매체표면에 일단 생물막이 형성되면, 그 생물막에서 생육하는 미생물군에 의해, 폐수내의 용해성 유기물은 재빨리 흡수, 분해되고, 입자상 또는 콜로이드상의 고형 유기물은 생물막 표면에 일부 포집 또는 흡착되어 서서히 가수분해된 후, 생물막으로 흡수되어 분해된다. 이러한 과정을 통하여 일정량 이상의 생물막이 형성되면, 매체표면에서 생물막의 탈리(sloughing)가 일어나는데, 정상상태에서도 탈리가 간헐적으로 발생하여 미생물의 변화가 일어날 수 있다. 미생물의 탈리는 기질분해로 얻어진 과잉의 생물막으로 인한 불균형을 해소하기 위하여, 평형상태로 돌아가려는 생물학적인 현상으로 해석되고 있으며, 유체의 흐름에 의한 전단력이 미생물의 응집력에 비해 커질 경우, 또는 생물막의 밀도가 낮거나, 그 두께가 두꺼울때 나타난다고 알려져 있다(Standers, 1966).

생물막의 두께는 저부하에서는 그 두께가 얇고 성장이 느린 반면, 고부하일수록 생물막의 성장이 빠르고 두께는 두꺼워진다. 또한, 생물막과 접하는 유체와의 관계에 대해서는, 유체의 흐름이 빠를수록 비교적 매끈하고, 일정한 두께를 갖는 heterogeneous 생물막에 가까워지고, 느릴 경우에는 표면의 굴곡이 크고 불규칙한 두께의 pseudo-heterogeneous 생물막으로 나타난다고 보고된 바 있다(Atkinson, 1975). 한편, 생물막의 구분은, 생물막 내부에서의 기질농도가 생물막 전체에 걸쳐 0이 아닌 값을 갖는 경우를 얇은 막, 일정깊이 이하에서 0이 되는 경우를 두꺼운 막으로 구분하는데, 두꺼운 막에서는 유기물질 제거가 확산에 의한 물질전달에 의해 이루어지고, 얇은 막에서는 반응속도에 의해 좌우된

다는 견해도 있다(Williamson과 McCarty, 1976).

생물막공법에서 가장 중요한 운전인자는 산소와 기질로 알려져 있는데(Hoehn과 Ray, 1973), 활성미생물의 깊이에 대한 산소와 기질의 제한인자 중에서 COD 농도가  $300\text{mg}/\ell$  이하에서는 기질이 제한인자가 되고,  $500\text{mg}/\ell$  이상에서는 산소가 제한인자가 된다고 알려져 있다(Harris와 Hansford, 1976).

생물막 반응조내의 용존산소 농도를 높게 유지하면, 생물막 내부에서의 산소에 대한 유효깊이가 증가하여 처리효율을 향상할 수 있는데, 생물막 두께  $70\mu\text{m}$ 에서 용존산소농도가  $2.5\sim 18\text{mg}/\ell$  범위에 있으면 기질제거에 아무런 영향을 받지 않는다고 알려져 있다(Kornegy와 Andrews, 1968).

접촉매체의 표면특성은 형상, 조도, 표면전위차, 친수성 등의 여러가지 물리·화학적 요인들이 있으며, 매체표면의 최초 생물막 형성에 큰 영향을 끼친다고 알려져 있다. 특히, 표면조도는 가장 큰 영향을 주는 요인이며, 생물막이 형성된 후에는, 큰 영향을 주지 못하고, 단지 불균일한 표면에 의한 표면적 증가와 마찰력에 의한 유체와의 전단력으로부터 부착미생물의 탈리를 억제할 수 있는 부착력만을 증가시킨다고 하였다(Barnes *et al.*, 1983).

### 3. 실험

본 연구는 회전매체를 가진 완전혼합활성슬러지(Moving Media Complete Mixing Activated Sludge : MMCMAS) 공법을 평균 BOD  $800\text{mg}/\ell$  정도의 고농도 유기성폐수에 적용하여, 수리학적 부하에 따른 유기물질 제거효율과 부유 및 부착미생물의 성장과 슬러지 발생량 등을 조사하기 위하여, 실험실 규모의 반응조가 이용되었는데, 그 형상은 Fig. 1에 나타내었다.

반응조는 아크릴수지로 제작하였으며, 가로 13.7cm, 세로 26cm, 높이 37.5cm의 장방형으로 제작하고, 반응조 하부에는 산기관이 설치되어 공기가 공급되는데, 이는 반응조내의 용존산소농도를 유

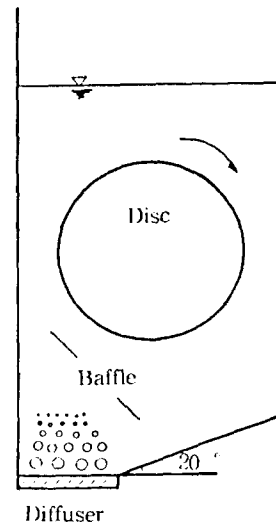


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

지하고 반응조를 완전혼합으로 유지하기 위함이다. 또한, 상승하는 공기방울이 회전매체에 부착된 생물막에 직접적인 영향을 미치지 못하도록 baffle을 설치하였으며, 반응조 바닥에는 경사를 두어 슬러지가 침적되지 않도록 하였다. 사용된 회전매체는 총 13개로 직경은 12cm, 간격은 1.5cm, 총 단면적은  $0.294\text{m}^2$ 이었으며, 반응조의 유효용적은 약  $4.7\ell$ 이며, 회전매체 표면적당 용적비는 약  $15.6\ell/\text{m}^2$ 이었다. 회전매체는 회전매체가 장치된 shaft에 체인을 감아 구동모터에 연결시켜 회전시켰으며, 구동모터는 감속장치와 연결하여 회전속도를 조절할 수 있도록 하였다. 모형실험장치는  $20\pm 1^\circ\text{C}$ 의 항온실에서 운전하였으며, 유입폐수는 탈지분유로 만든 인공합성폐수를 Masterflex pump에 의해 각 부하조건에 따라 연속적으로 정량주입하였다.

실험에 사용된 유입폐수의 특성이 Table 1에 나타나 있다. 유입수의 COD 농도는  $1260\sim 1550\text{mg}/\ell$  범위로 평균  $1385\text{mg}/\ell$  이었고, BOD 농도는  $738\sim 873\text{mg}/\ell$  범위에서 평균  $800\text{mg}/\ell$  이었다.

필요한 영양소 주입과 영양염류의 제거효율을 조사하기 위해서 유입수에는  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 과  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  등을 적당량 주입하였으며, 또한, 반응조내의 pH를 중성으로 유지하기 위해서  $\text{NaHCO}_3$ 를 적당량 첨가하였다. 실험에 사용된 미생물은 도시 하수처리

Table 1. Characteristics of synthetic wastewater.

Item		Range	Average
pH		7.7~7.9	7.8
COD	Total	1260~1550	1385
	Soluble	1120~1490	1270
BOD	Total	738~873	800
	Soluble	672~848	750
TKN		82~98	90
TP		36~49	46

註) pH를 제외한 모든 단위는 mg/L 임.

장의 포기조 슬러지를 채취하여 사용하였는데, 식종될 미생물의 환경조건에 대한 적응과 식종된 미생물의 회전매체상의 부착을 위해 처음에는 낮은 수리학적 부하에서 RBC방식으로 운전하다가 미생물의 완전한 부착이 확인되면 회전매체를 완전히 침적시켜 실험조건에 맞는 부하율로 운전하였다. 본 실험을 위한 회전매체의 회전속도는 25rpm으로 일정하게 유지하고, 유기물질 부하율은 5.3 gBOD/m<sup>2</sup>/d부터 시작하여 약 43 gBOD/m<sup>2</sup>/d까지 증가시켜 운전하였으며, 각 부하조건에 따라 유입수 및 유출수의 수질과 부유 및 부착 미생물의 농도와 미생물량을 측정하였다. 모든 수질분석은 Standard Methods(APHA, AWWA, WPCF, 1992)에 의하여 측정되었으며, 미생물의 측정방법은 부유미생물과 부착미생물로 구분하여 유출수의 수질이 거의 일정하게 유지되는 정상상태하에서 반응조내의 혼합액을 일정량 채취하여 부유미생물량을 측정하고, 반응조내의 혼합액을 배수시킨 직후에

13개의 회전매체 중에서 적당한 간격으로 회전매체 2~3개를 선정하고, 선정된 회전매체 표면적의 약 1/4에 해당하는 부착미생물을 채취하여 두께, 밀도, 함수율 및 부착미생물량 등을 조사하였다. 총미생물의 농도는 부유미생물량과 부착미생물량을 합한 후, 반응조의 bulk volume으로 나누어 계산하였다. 본 반응조는 침전지 및 슬러지 반송이 없으므로 슬러지생산량은 유출수를 통해 배출되는 sludge의 양을 제거되는 BOD의 양으로 나누어 계산하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 유기물 제거

수리학적 부하율 6.8~54.7 L/m<sup>2</sup>/d의 범위에서 회전매체의 회전속도 25rpm으로 운전한 결과를 Table 2.에 나타내었다. 본 반응조는 침전지가 없기 때문에 유기물질 부하에 따라 유출수의 수질변동이 비교적 크므로 유기물질 제거효율은 SCOD와 SBOD를 기준으로 조사하였다.

Fig. 2.에는 유입하수가 각각 고농도와 저농도일 경우의 유기물질 부하에 따른 SCOD와 SBOD의 제거효율을 함께 나타내었다.

고농도인 경우, 유기물질 부하가 30.9 gBOD/m<sup>2</sup>/d 이하에서는 SCOD와 SBOD의 제거효율이 모두 90% 이상으로 나타났으며, 42.5 gBOD/m<sup>2</sup>/d로 증가시킨 경우에 SCOD는 약 78%, SBOD는 약

Table 2. Summary of Operating Results

Hydraulic Loading (L/m <sup>2</sup> /d)	Inf. BOD (mg/L)	BOD Loading (g/m <sup>2</sup> /d)	HRT (hrs)	F/Mv Ratio (gBOD/gMLVSS/d)	pH	DO (mg/L)	Effluent(mg/L)								Org. Removal Efficiencies(%)					
							TCOD	SCOD	TBOD	SBOD	TSS	VSS	TKN	TP	TCOD	SCOD	TBOD	SBOD	TKN	TP
6.8	774	53	56.4	0.21	7.6	7.8	99	43	27	7	127	87	3	16	92.1	96.3	96.5	99.0	97.1	56.6
12.9	874	11.3	29.7	0.62	7.6	4.3	284	70	94	9	244	218	15	19	81.6	95.3	89.3	98.9	81.9	49.1
19.5	824	16.1	19.7	0.32	7.6	3.6	250	74	110	9	340	293	15	18	82.1	94.4	86.6	98.9	82.9	51.4
28.5	797	22.7	13.5	0.40	7.6	3.0	334	57	146	10	340	310	32	11	75.9	95.5	81.7	98.7	64.7	73.4
41.8	738	30.9	9.2	1.28	8.0	2.1	570	111	278	53	507	463	84	34	60.6	90.1	62.4	92.7	9.1	30.8
54.7	777	42.9	7.0	1.41	7.8	2.6	633	281	286	106	407	330	78	36	50.2	77.7	63.2	84.2	14.0	20.5

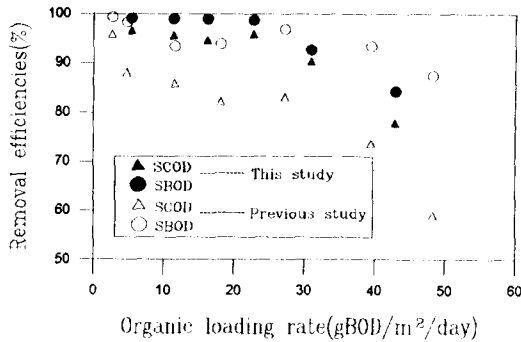


Fig. 2. Removal efficiencies vs. organic loading rate.

84%로 감소하였다. 저농도인 경우에는 유기물질 부하가 39.4 gBOD/m<sup>2</sup>/d 이하에서 90% 이상의 SBOD가 제거될 수 있었으나, SCOD 제거효율은 약 74%로 현저히 감소하였다. 유기물질 부하가 증가할수록 COD 제거효율이 현저히 저하되는 이유는 반응조 체류시간의 감소와 회전매체에 두껍게 형성된 부착미생물이 탈리되었거나 박테리아의 polysaccharide 층의 이탈에 의한 것으로 사료되며, 거의 비슷한 유기물질 부하에서 저농도에서의 COD 제거효율이 고농도보다 더 저조한 것은 유입폐수의 COD/BOD의 비가 평균 0.66으로 고농도에서의 0.92에 비해 적었기 때문이라 사료된다.

본 MMCMAAS 공법의 고농도 및 저농도 유기성 폐수에 대한 더 자세한 처리효율을 비교하기 위해서 F/Mv 비에 따른 SCOD와 SBOD 제거효율을 Fig. 3에 나타내었다.

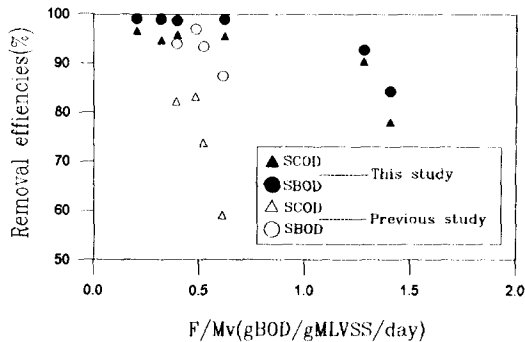


Fig. 3. Removal efficiencies vs. F/Mv.

고농도인 경우, F/Mv 비는 0.21~1.41 gBOD/gMLVSS/d의 범위로, SBOD의 제거효율을 90%

이상 유지하려면, F/Mv 비를 1.28 gBOD/gMLVSS/d 이하(HRT=9.2hrs 이상)에서 운전해야 하는 것으로 나타났다. 한편, 저농도에서는 F/Mv 비가 0.38~0.79 gBOD/gMLVSS/d의 범위로 SBOD를 90% 이상 제거시키기 위해서 F/Mv 비는 0.6 gBOD/gMLVSS/d 이하(HRT=1.5hrs 이상)로 운전해야 하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 MMCMAAS 공법으로 90% 이상의 유기물질 제거효율을 얻기 위해서는 고농도 유기성 폐수 처리시에는 F/Mv 비를 1.28 gBOD/gMLVSS/d 이하, 저농도인 경우는 0.6 gBOD/gMLVSS/d 이하로 운전해야 하는 것으로 판단된다.

완전혼합 활성슬러지공법과 고정상 활성슬러지공법에 의해 BOD 780~1300mg/l의 염색폐수를 처리하는 비교실험(도중호, 1989)에서는 완전혼합 활성슬러지공법의 경우에 수리학적체류시간을 48~160hrs에서 F/Mv 비를 0.39~1.69 gBOD/gMLVSS/d 정도로 운전하였는데, SBOD 제거효율을 95% 이상 유지하려면 F/Mv 비는 0.57 gBOD/gMLVSS/d 이하(HRT=48hrs 이상)로 운전해야 하는 것으로 나타나며, 고정상 활성슬러지 공법의 경우에는 수리학적 체류시간이 13~38hrs에서 F/Mv 비는 0.1~0.71 gBOD/gMLVSS/d 범위로 운전하였는데, 90% 이상의 SBOD 제거효율을 얻으려면 0.71 gBOD/gMLVSS/d 이하(HRT= 13hrs 이상)로 운전해야 하는 것으로 나타났다. 또한, 도시쓰레기 매립장 침출수 처리에 관한 연구(조광명, 1990)에서는 BOD 농도가 약 1570mg/l 정도의 침출수를 활성슬러지공법으로 수리학적 체류시간을 29~127hrs 범위에서 F/Mv 비는 0.11~0.41 gBOD/gMLVSS/d 범위로 운전하였는데, F/Mv 비가 0.41 gBOD/gMLVSS/d 이하(HRT=29hrs 이상)에서는 95% 이상의 SBOD 제거효율을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 이와 비교해 볼 때, 고농도 폐수 처리에 대한 본 공법은 F/Mv 비를 매우 높게 운전하였으나, 수리학적 체류시간을 크게 단축시킬 수 있었다.

한편, 저농도 폐수 처리에 대해서는 본 공법과의 비교를 위해 동일한 운전조건에서 수행되었던, 회전원판공법(서근득, 1992)의 F/Mv 비는 0.24~0.44 gBOD/gMLVSS/d 범위로, 90% 이상의 SBOD를 제거시키기 위해서는 0.4 gBOD/gMLVSS/d 이

하로 운전해야 하는 것으로 나타나, 본 공법의 F/Mv 比인 0.6 gBOD/gMLVSS/d 보다 적게 나타났다. 또한, 본 공법의 F/Mv 比는 0.44 gBOD/gMLVSS/d에서 SBOD 제거효율이 약 97% 인데 비하여 회전원판공법은 F/Mv 比가 0.4 gBOD/gMLVSS/d에서 약 90% 정도로 나타나, 본 공법의 F/Mv 比가 조금 높았으나 유기물 제거효율은 더 좋은 것으로 나타났다. BOD 85~130mg/l 의 일반 가정하수를 활성슬러지공법(이충근, 1986)으로 처리할 경우에는 수리학적 체류시간을 3.2~4.2hrs 이상, F/Mv 比를 0.3~0.45 gBOD/gMLVSS/d 이하로 운전하여 90% 이상의 SBOD를 제거할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 비교하면, 저농도 폐수 처리에 대한 본 공법의 F/Mv 比는 0.6 gBOD/gMLVSS/d 이하, 수리학적 체류시간은 1.5hrs 이상에서 약 90% 이상의 SBOD 제거효율을 얻을 수 있었다.

이상의 자료에서, 본 공법에 의한 고농도 및 저농도 폐수 처리에 있어서 F/Mv 比는 높게 운전하였으나, 수리학적 체류시간을 크게 단축시킬 수 있어서, 타 공법에 비해 보다 경제적인 공법으로 사료된다.

## 4.2 질산화

고농도 유기성 폐수 처리수내의 영양염류의 농도와 그 제거효율이 Table 2에 나타나 있다. 유기물부하가 5.3 gBOD/m<sup>2</sup>/d로 비교적 낮을 경우에는

약 97% 정도의 질산화율을 보이다가 16.1 gBOD/m<sup>2</sup>/d에서는 약 80% 이상, 유기물부하를 22.7 gBOD/m<sup>2</sup>/d로 증가시킨 경우에는 약 65% 정도로 감소하였는데, 유기물부하가 증가할수록 질소제거율은 크게 감소하였다. 저농도인 경우, 유기물부하가 5.0 gBOD/m<sup>2</sup>/d로 낮을 경우에는 약 90% 정도를 나타내다가 11.5 gBOD/m<sup>2</sup>/d에서는 약 78% 정도로 감소하였다. 고농도 및 저농도 공히 거의 같은 유기물질 부하에서 질소제거율은 거의 비슷하게 나타났다.

일반적으로 질산화율은 SRT가 길어지면 증가하는데, SRT가 3일 정도에서 질산화가 시작되어 10일 정도면 거의 완전한 질산화가 일어난다 (Jenkins, 1968). 질산화에 영향을 주는 요인으로는 유입수내의 BOD/TKN 比, 온도, pH, NH<sub>4</sub>, DO 등 여러가지가 있으며, 질산화를 위한 최적온도는 25~30°C, pH는 7.2~8.0이며, NH<sub>4</sub>는 60mg/l 이하이면 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다 (Viessman, 1985; Barnes, 1983).

본 공법의 질산화율은 SRT가 약 5일에서 약 70~80% 정도로, 회전원판공법(서근득, 1992)의 60% 보다 높은 질산화를 수행할 수 있었으며, 수리학적 부하가 증가함에 따라 질산화율은 감소하였으나, 회전원판공법에 비해서는 높은 질소제거율을 나타내었는데, 이는 포기에 의한 영향이라 판단되며, 회전원판공법보다는 미생물의 확보가 컸기 때문이라 사료된다.

Table 3. Characteristics of microorganisms in MMCAS reactor.

Hydraulic Loading (L/m <sup>2</sup> /d)	Biomass													Sludge Production
	Total(mg/L)		Suspended(mg/L)		Attached(g/m <sup>2</sup> )						VSS/SS (%)	Ratio of Component (%)		
	SS	VSS	SS	VSS	Wet wt.	Dry wt. (SS)	Volatile wt. (VSS)	Water Content (%)	Thickness (mm)	Density (mg/cm <sup>3</sup> )		Attached	Suspended	
6.8	1912	1595	1090	920	456.48	13.15	10.79	97.1	0.45	29.2	83.4	43	57	0.262
12.9	2104	1143	764	722	602.63	21.43	16.93	96.4	0.59	36.3	54.3	64	36	0.365
19.5	3740	3135	1370	1163	1144.23	37.90	31.53	96.7	1.12	33.8	83.8	63	37	0.390
28.5	3983	3580	2100	1907	923.10	30.11	26.75	96.7	0.91	33.1	89.9	47	53	0.231
41.8	1711	1503	927	843	547.97	12.53	10.56	97.7	0.54	23.2	87.8	46	54	0.449
54.7	2224	1895	1370	1160	516.41	13.66	11.75	97.4	0.51	26.8	85.2	38	62	0.447

註) Sludge production : gVSS/gBOD<sub>rem</sub>.

### 4.3 미생물 및 슬러지 생산량

회전매체의 표면에 부착된 젖은 상태와 건조 상태의 미생물량을 측정하여 생물막의 두께, 밀도, 부유 및 부착미생물과 총미생물의 농도 등을 Table 3에 나타내었다.

고농도 유기성 폐수를 처리할 경우에 총미생물의 농도는 약 1710~3980mg/l 범위로 나타났다. 부유미생물의 농도는 약 764~2100mg/l 정도였는데, 유기물 제거효율이 클수록 전체미생물에 대하여 부유미생물이 차지하는 비율이 적었다. 또한, 부유미생물중 휘발성분은 84.5~94.5% 이었으며, 전체미생물중 휘발성분은 대체로 54.3~89.9% 범위로 나타났고, 전체미생물중 부착미생물의 비율은 약 40~63% 정도로 나타났다. 저농도 유기성 폐수에서는 총미생물의 농도가 약 840~6060mg/l 범위로 나타났다. 부유미생물의 농도는 약 300~2500mg/l 정도로 부유미생물중 휘발성분은 약 83~89% 이었고, 전체미생물중 휘발성분은 75~85% 범위로 나타났다. 전체미생물중 부착미생물의 비율은 약 32~94% 범위로 유기물부하가 증가할수록 부착미생물의 비율이 증가하였다. 유입하수가 고농도인 경우, 총미생물의 농도는 저농도에 비해 전반적으로 낮았으며, 특히, 전체미생물중 부착미생물이 차지하는 비율이 저조하였다. 전체미생물중 부착미생물이 차지하는 비율은 동일한 유기물부하에서도 유입수의 농도에 따라서 달라지는 것으로 판단된다. 회전매체 표면적당 부착미생물량은 고농도인 경우에 약 12.5~37.9 gSS/m<sup>2</sup> 범위로 나타났는데, 유기물부하가 16.1 gBOD/m<sup>2</sup>/d까지는 증가하다가 그 이상에서는 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 저농도인 경우에는 약 5.6~76.8 gSS/m<sup>2</sup> 정도로 유기물부하가 증가할수록 증가하였다.

생물막의 두께는 고농도인 경우, 약 0.45~1.12 mm 범위로 유기물부하가 22.7 gBOD/m<sup>2</sup>/d까지는 증가하다가 그 이상의 부하에서는 감소하였으며, 저농도인 경우에는 약 0.12~1.48mm의 범위로 유기물부하가 증가함에 따라 계속 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 생물막은 저부하에서는 두께가 얇고 성장이 느린 반면, 고부하에서는 성장이 빠르고 두꺼워진다는 견해(Grady, 1983)는 유입하수

가 저농도인 경우에만 일치하였다.

생물막의 밀도는 유입하수가 고농도인 경우, 약 23.2~36.2 mg/cm<sup>3</sup> 범위에서 약 30±5mg/cm<sup>3</sup>으로 유기물부하에 관계없이 거의 일정하게 나타났으며, 저농도에서는 생물막의 밀도가 약 38~76mg/cm<sup>3</sup> 범위에서 약 50±10mg/cm<sup>3</sup>으로 유기물부하나 회전속도에 관계없이 일정하게 나타나, 두 경우 공히 생물막의 밀도는 그 두께에 관계없이 일정하다는 견해(Kornegy, 1968)와 일치하는 것으로 나타났다. 한편, 생물막의 밀도는 두께가 증가하면 감소한다는 견해(Shieh, 1981; Mulcahy, 1978)와는 어느 경우에도 이와 상반되는 것으로 나타났다.

미생물내의 함수량은 고농도인 경우, 약 96.4~97.7% 범위로 나타났으며, 저농도인 경우에는 약 95~96.3% 정도로 나타나, 고농도에서 약간 높은 것으로 나타났다.

Fig. 4에는 본 실험의 SRT와 슬러지 생산량과의 관계를 나타내었다.

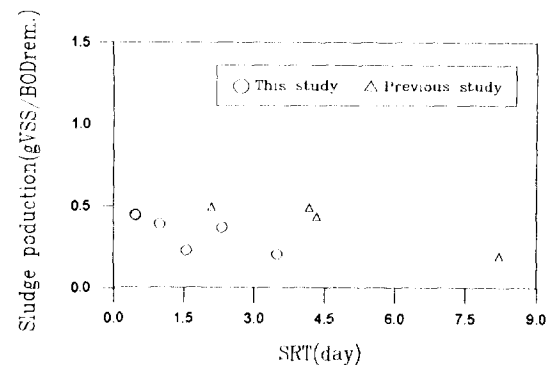


Fig. 4. Sludge production vs. SRT.

고농도인 경우, 슬러지 생산량은 약 0.23~0.45 gVSS/gBODrem. 범위로 나타났으며, 평균 0.36 gVSS/gBODrem. 이었다. 한편, 저농도인 경우에는 약 0.19~0.49 gVSS/gBODrem. 범위로 평균 0.38 gVSS/gBODrem.로 나타나 고농도 및 저농도에서 슬러지 생산량은 거의 비슷한 것으로 나타났다.

도(도중호, 1989)의 연구에서 염색폐수를 활성슬러지공법으로 처리할 경우, 슬러지 생산량은 약 0.28~0.44 gVSS/gBODrem.이었으며, 고정상 활성슬러지공법인 경우에는 약 0.29~0.61 gVSS/gBODrem.로 나

타났는데, 이와 비교하면, 유입하수가 고농도인 경우, 본 공법의 슬러지 생산량은 활성슬러지공법과는 비슷하고, 고정상 활성슬러지공법 보다는 적게 나타났다. 이 등(이병현, 김정숙, 1993)에 의하면, 평균 BOD 200mg/ℓ 정도의 저농도 합성폐수를 활성슬러지공법으로 처리하였을때, 슬러지 생산량은 약 0.23~0.45 gVSS/gBODrem.로 나타나며, 고정상 활성슬러지공법인 경우에는 약 0.28~0.3 gVSS/gBODrem. 정도로 나타났다. 또한, 임(임재명, 1976)의 연구에서는 일반도시하수를 처리하는 활성슬러지공법의 슬러지 생산량은 약 0.45~0.6 gVSS/gBODrem.로 보고하였으며, 회전원판공법에서는 약 0.3~0.4 gVSS/gBODrem. 정도라고 하며(Antonie, 1976), 살수여상공법에서는 사용여재에 따라서 다소 차이는 있으나, 일반적으로 널리 사용되는 rock media를 가진 살수여상일 경우, 대략 0.42~0.65 gVSS/gBODrem로 알려져 있어(EPA, 1979), 저농도에서의 본 공법에 의한 슬러지 생산량은, 활성슬러지공법과 살수여상공법의 경우보다는 비교적 적으며, 회전원판공법과는 비슷하고, 고정상 활성슬러지공법보다는 크게 나타났다.

## 5. 결론

회전매체를 가진 완전혼합활성슬러지(MMCMAS) 공법에 의한 고농도(BOD 약 800mg/ℓ) 유기성 폐수 처리에 대한 실험을 수행하여, 이전의 연구인 저농도(BOD 약 150mg/ℓ) 유기성 폐수 처리에 대한 연구결과와 비교하여 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 유기물질 제거효율은 고농도 유기성 폐수인 경우, 유기물질 부하가 30.9 gBOD/m<sup>2</sup>/d 이하에서 SCOD와 SBOD의 제거효율이 모두 90% 이상으로 나타났으며, 저농도인 경우에는 유기물질 부하가 39.4 gBOD/m<sup>2</sup>/d 이하에서 90% 이상의 SBOD가 제거될 수 있었으며, SCOD 제거효율은 약 74%로 나타났다. 본 공법으로 약 90% 이상의 SBOD 제거효율을 얻고자 할

때 고농도 유기성 폐수 처리시에는 수리학적 체류시간을 약 9시간 이상, F/Mv 比를 1.28 gBOD/gMLVSS/d 이하로, 저농도 유기성 폐수 처리시에는 수리학적 체류시간을 약 1.5시간 이상, F/Mv 比를 0.6 gBOD/gMLVSS/d 이하로 운전하여야 하는 것으로 나타났다.

- (2) 본 공법에 의한 질산화율은 유입하수가 고농도인 경우나 저농도인 경우에 약 10~97% 범위로 비슷한 유기물질 부하에서 질산화율이 거의 비슷하게 나타났다.
- (3) 전체미생물량중 부착미생물이 차지하는 비율은 유입폐수가 고농도인 경우, 약 40~63% 범위였으며, 저농도인 경우에는 약 32~94% 범위로 동일한 유기물질 부하에서도 유입 폐수의 농도에 따라 달라지는 것으로 나타났다. 생물막의 두께는 고농도인 경우, 약 0.45~1.12mm 범위로 유기물질 부하가 22.7 gBOD/m<sup>2</sup>/d까지는 증가하다가 그 이상의 부하에서는 감소하였다. 저농도인 경우는 약 0.12~1.48mm의 범위로 유기물질 부하가 증가할 수록 증가하였다. 생물막의 밀도는 고농도인 경우, 약 30±5mg/cm<sup>2</sup>, 저농도인 경우에는 약 50±10mg/cm<sup>2</sup>으로 유기물질 부하에 관계없이 거의 일정하게 나타났다. 슬러지 생산량은 고농도인 경우, 약 0.36 gVSS/gBODrem.이었으며, 저농도인 경우에 약 0.38gVSS/gBODrem.로 나타나, 고농도 및 저농도에서 거의 비슷하게 나타났다.

## 참고문헌

- 김홍태, 1993, 회전매체를 가진 완전혼합활성슬러지 공법에 관한 연구, 박사학위논문, 경북대학교.
- 도중호, 1989, 완전혼합 활성오니를 이용한 염색폐수의 처리에 관한 연구, 석사학위논문, 경북대학교.
- 서근득, 1992, 회전원판/Solid Contact 공법을 이용한 하수처리에 관한 연구, 석사학위논문,



- 경북대학교.
- 이병헌, 김정숙, 1993, 고정상 활성슬러지공법과 부유성장 활성슬러지공법의 비교 연구, J. KSWQ., 2, pp. 23~30.
- 이충근, 1986, 활성슬러지공법에서의 미생물농도에 따른 수질변화와 질산화 정도의 비교연구, 석사학위논문, 고려대학교.
- 임재명, 1976, 활성슬러지공법에서의 수학적 모델에 관한 비교 연구, 석사학위논문, 고려대학교.
- 조광명, 1990, 도시쓰레기 매립지 침출수의 처리에 관한 연구, 한국환경과학협의회.
- Antonie, R. L., 1976, Fixed Biological Surface Wastewater Treatment, CRC Press, Inc., 10.
- Atkinson, B., *et al.*, 1975, Kinetics, Mass Transfer and Organism Growth in a Biological Film Reactor, Trans. Inst. Chem. Eng., 45, T257.
- AWWA, APHA, WPCF, 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed.
- Barnes, D., *et al.*, 1983, Biological Control of Nitrogen in Wastewater Treatment, E. & F. N. Spon, Ltd.
- Claracklis, W. G., 1973, Attached Microbial Growths, Water Research, 7, 113.
- Claracklis, W. G., 1981, Fouling Biofilm Development : A Process Analysis, Biotech. and Bioeng., 23, 1923~1960.
- EPA, 1979, Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.
- Grady, C. P. and J. Leslie, 1983, Modeling of Biological Fixed Film : A State of the Art Review. Fixed Film Biological Process for Wastewater Treatment.
- Harris, N. P. and G. S. Hansford, 1976, A Study of Substrate Removal in a Microbial Film Reactor, Water Research, 10, 935~943.
- Hoehn, R. C. and A. D. Ray, 1973, Effects of Thickness on Bacterial Film, JWPCF., 45, 2302~2320.
- Jenkins, D., *et al.*, 1968, Control of Activated Sludge by Mean Cell Residence Time, JWPCF., 40, 1905.
- Kornegy, B. H. and J. F. Andrews, 1968, Kinetics of Fixed Film Biological Reactors, JWPCF., 40, 460~468.
- Mulcahy, L. T. and E. J. Lamotta, 1978, Mathematical Model of the Fluidized Bed Biofilm Reactor, J. Env. Eng., ASCE., 59, 2.
- Renn, C. E., 1956, Biophysical Processes in Slime Film and Floc Formation, Proc. Conf. on Biological Waste Treatment, Manhattan College.
- Shieh, W. K. and P. M. Sutton, *et al.*, 1981, Predicting Reactor Biomass Concentration in a Fluidized Bed System, JWPCF., 53, 1574~1584.
- Standers, W. M., 1966, Oxygen Utilization by Slime Organisms in Continuous Culture, Air and Water Pollut. Int. J., 10, 253.
- Trulear, M. G. and W. G. Characklis, 1966, Dynamics of Biofilm Processes, JWPCF., 54, 253.
- Viessman, J. W. and M. J. Hammer, 1985, Water Supply and Pollution Control, 4th Ed., Harper & Row Pub. Inc.
- Williamson, K. and P. L. McCarty, 1976, A Model of Substrate Utilization by Bacterial Films, JWPCF., 48, 9.