

## 염색폐수 처리성능에 대한 호기성 고정 및 유동층 생물막공법과 회전매체를 가진 완전혼합 활성슬러지 공법의 비교연구

김 홍 태 · 김 규 창  
경북대학교 토목공학과  
(1999년 6월 1일 접수)

### A comparative study of dyeing wastewater treatment capability for Aerobic Packed/Fluidized-Bed and Moving Media Complete Mixing Activated Sludge system

Hong-Tae Kim and Gyu-Chang Kim  
Dept. of Civil Eng., Kyungpook National University  
(Manuscript received 1 June, 1999)

This study was conducted to evaluate capability of dyeing wastewater treatment for 3 type reactors. These reactors were Packed Bed Reactor(PBR), Fluidized Bed reactor(FBR) and Moving Media Complete Mixing Activated Sludge reactor(MMCMAS). Experiments of PBR and FBR were performed by various packing ratios and organic loading rates, experiments of MMCMAS were performed by various organic loading rates

In order to obtain SBOD<sub>5</sub> removal efficiencies of more than 90%, the F/Mv ratios of PBR, FBR, MMCMAS were 0.11 kgBOD/kgMLVSS·d, 0.12 kgBOD/kgMLVSS·d, and 0.37 kgBOD/kgMLVSS·d, respectively. So MMCMAS system which has more active microorganisms showed better capability of organic removal and also stronger dynamic and shock loadings than those of PBR and FBR.

In PBR and FBR, the media packing ratio of 20% showed better performance of organic matters removal efficiencies than 10% and 30%, but sludge production rate at media packing ratio of 30% was relatively lower than that of 10% and 20%.

When more than 90% organic matters removal efficiency was obtained, the ratios of attached biomass to total biomass at PBR, FBR, MMCMAS were 89~99%, 87~98%, and 54~80%, respectively. The ratio of attached biomass to total biomass was low in MMCMAS. This was formation of thin biofilm due to shear force between rotating disc and water. The average sludge production rates(kgVSS/kgBODrem.) of PBR, FBR and MMCMAS were 0.20, 0.29 and 0.54, respectively.

Key words : aerobic packed bed reactor(PBR), aerobic fluidized bed reactor(FBR), moving media complete mixing activated sludge(MMCMAS) system

#### 1. 서 론

염색 가공업은 다량의 공업용수를 사용하므로 발생하는 폐수가 인근 하천이나 지하수 등에 큰 영향을 미치고 있다. 현재 우리나라의 염색 또는 안료업소 수는 전체 산업체의 4.7%에 지나지 않으나, 폐수 배출량은 총 배출량의 18.5%에 달하여, 타업종에 비하여 배출폐수에 대한 총량 규제면에서 불리한 여건에 놓여있다.

염색폐수는 염색 가공 공정이나 사용하는 염료에 따라 폐수량과 성상의 변화가 심하다. 또한 높은 색도와 온도, pH, Alkalinity를 가지며, 다량의 전분, PVA(poly-vinyl alcohol), CMC(carboxy methyl cellulose)등의 난

분해성 물질과 탄화수소, 톨루엔, 벤젠, 피리딘 등과 같은 방향족 탄화수소등 미생물에 의한 분해속도가 매우 낮은 물질을 함유하고 있어, 이를 효과적으로 처리하기 위한 여러가지 공법이 연구되고 있다.<sup>1)</sup>

대부분의 염색폐수는 응집침전법과 활성슬러지 공법을 이용한 단독 또는 조합방법을 주로 사용하고 있는데, 최근에는 전처리 공정으로 흡착을, 후처리공정으로 활성슬러지 및 펜톤 산화 처리시스템이 개발되고 있으나,<sup>2)</sup> 처리비용의 증가가 문제점으로 지적되고 있다. 또한 기존의 활성슬러지공법은 시설의 유지관리가 어렵고, 유입 부하변동에 의한 영향을 많이 받으며, 다량의 회석수를

필요로 하고, 잉여슬러지가 많이 발생하는 등의 단점을 가지고 있다.

또한 엄격해진 방류수 수질기준을 맞추기 위해 살수 여상법과 활성슬러지법 또는 혐기성과 호기성 공법을 서로 병행하는 처리공법이 연구되고 있으나 처리장 부지, 건설비가 비싼 단점이 있다.

본 연구의 목적은 염색폐수를 경제적이고 효율적인 처리를 위하여 염색공단에서 배출되는 종합염색폐수를 유입수로 하여 호기성 고정층 생물막 반응조(Aerobic Packed Bed Reactor : PBR) 및 호기성 생물막 유동층 반응조(Aerobic Fluidized Bed Reactor : FBR)와 회전매체를 가진 완전혼합활성 슬러지(Moving Media Complete Mixing Activated Sludge ; MMCMAS)공정<sup>3)</sup> 등 3가지 공법으로 실험을 수행하여, 유기물질 부하의 변동에 따른 처리효율을 조사하고, 3가지 공법의 처리성능을 비교·분석하였다. 또한 각 공법의 유기물질 부하와 제거율에 따른 부착 및 부유미생물의 성장과 슬러지 생산량 등에 관한 조사도 수행되었다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험개요

본 연구는 PBR, FBR, MMCMAS system으로, 난분해성 폐수인 염색폐수처리를 위하여 실험실 규모의 모형 실험장치를 사용하여 처리효율을 비교하고, 염색폐수처리에 적합한 공법을 선택하고자 수행되었다. 반응조는 항온실내에 설치하여 20±1℃의 온도로 운전하였으며, 염색폐수의 주입은 Masterflex pump를 이용하여 연속적으로 정량주입 하였으며, 반응조내 DO는 모든 반응조에 서로 최저 4mg/l를 유지하였다.

본 연구에 사용된 미생물은 도시하수 처리장의 포기조 미생물을 채취하여 사용하였으며, 식종된 미생물의 적응과 식종된 미생물을 매체에 부착시키기 위하여, 실험초기에는 회분식으로 폐수를 정량주입하였다.

실험에 사용된 염색폐수는 개별염색공장에서 배출되는 다양한 염색폐수가 혼합되어 처리되는 종합염색폐수 처리장의 저류조에 집수된 폐수를 냉각탑을 통과시켜 수온을 40±5℃로 낮춘 후, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 pH를 조절하고 황산제2철, 소석회 및 비이온성 고분자 응집제를 가하여 응집공정으로 전처리한 후, 1차 침전지를 거친 시료를 채취하여 사용하였다. 일반적으로 염색폐수 중에는 질소와 인 등 영양염류가 부족하다고 알려져 있으나, 본 실험에 사용된 염색폐수는 개별 염색업체에서 배출된 폐수를 염색공단 처리장에서 채취한 종합염색폐수로서 질소와 인이 각각 22-40mg/l, 4-7mg/l로 크게 부족하지 않은 것으로 분석되었다.

실험기간 중 사용된 폐수의 성상은 Table 1과 같으며, 모든 수질분석은 Standard Methods<sup>4)</sup>에 의하여 분석되었다. 사용된 염색폐수의 성상이 상이한 것은 본 연구의 실험기간이 약 15개월에 걸쳐 수행되었으므로 계절별, 염색대상별로 달라지는 염색폐수의 특성인 것으로 판단된다. 미생물의 측정은 부유미생물과 부착미생물로 구분하여, 부유미생물의 농도는 반응조에 있는 혼합액을 채

취구를 통해 측정하고, 부착미생물은 PBR, FBR의 경우 매체 4~5개를 선정·채취하여 105℃에서 건조시킨 무게를 측정하여 반응기 단위부피당 입자의 개수를 파악한 후 폐기시킨후 폐기시킨 수만큼 새로운 매체를 충전시켰고, MMCMAS의 경우 반응조내의 혼합액을 배수시킨 직후에 disc 3~4개를 선정하여 선정된 회전매체 표면의 미생물을 채취하여 두께, 밀도, 함수율 및 부착미생물량 등을 조사하였다.

Table 1. Characteristic of influent dyeing wastewater

Item	Raw Wastewater	Coagulated Wastewater Range (Average)	
		PBR & FBR	MMCMAS
pH	11.8~12.6	6.9~7.6 (7.3)	6.8~7.4 (7.1)
COD (mg/ℓ)	Total	1125~3551	1185~2523 (1823) 382~760 (507)
	Soluble		1032~2425 (1698) 370~736 (492)
BOD (mg/ℓ)	Total	552~1568	687~1285 (867) 290~385 (333)
	Soluble		669~1235 (812) 273~350 (307)
SS (mg/ℓ)	TSS	250~625	250~480 (312) 180~375 (286)
	VSS		120~360 (265) 115~310 (195)

### 2.2. 실험장치와 운전

#### 2.2.1. PBR(Packed Bed Reactor)

PBR 실험장치는 Fig. 1과 같이 투명한 아크릴 수지로 제작되었으며, 가로 17.5cm, 세로 8.5 cm, 높이 32cm이다. 반응조 용적은 3.5 ℓ 이며, 반응조는 공기의 공급과 혼합을 원활히 하기위해 포기부(Air Lift Zone)와 매체 충전부로 구성하였다.

반응조내에 설치된 매체는 합성수지로 제작된 pall ring으로서 직경 1.5cm, 높이 1.5cm, 비표면적은 341m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 공극율은 87%이며, 산기기는 바닥에서 약 5cm 위에 설치하여 공기의 상승작용에 의하여 반응조내의 유체의 순환과 산소의 공급이 동시에 이루어지도록 하였다. 반응조내 물의 순환은 반응조 상부에서 충전매체를 통과하여 반응조 하부로 흐르는 하향류로 하였으며, 충전매체에서 탈리된 생물막은 유출수와 같이 유출되거나 물과 같이 순환하다가 충전매체 상부에 침착할 수 있게 하였다.

반응조에 유입되는 폐수는 도시 염색공단 처리장의 HRT를 기준으로 HRT를 18~90시간, 유기물질 부하는 0.17~1.62 kgBOD/m<sup>3</sup>·d로 운전되었으며, 매체충진율을 10, 20, 30%로 변화시켜 가면서 운전하였다.

#### 2.2.2. FBR(Fluidized Bed Reactor)

실험실 규모의 생물막 유동층 반응조는 Fig. 2와 같으며, 유효용량 3.5 ℓ의 투명한아크릴 정사각형 컬럼으로, 유기물질 농도와 미생물 농도를 측정하기 위해 반응조 중간에 채취구를 설치하였다. 반응조 규모는 가로 10cm, 세로 10cm, 높이 65cm이며 반응조 하부에는 매체에서 탈리된 생물막이 침전·제거될 수 있도록 침전부를 두었으며,

또한 반응조의 상부에 surge outlet을 두어 갑작스런 유량의 증가에 대비하였다.

사용된 매체는 밀도가 약  $0.16\text{g/cm}^3$ 이고, 공극률 47.7%, 직경이 1.9~2.1cm인 원형 스폰지를 사용하였다. 본 연구에 사용된 스폰지 매체는 외부와 내부에 미생물을 보유할 수 있는 형태로서, 반응조에 유입되는 폐수는 HRT를 15~90시간, 유기물질 부하는  $0.21\sim 1.66\text{ kgBOD/m}^3\text{d}$ 의 조건에서 운전되었으며, 충진율은 10, 20, 30%로 변화시켜 가면서 운전하였다. 산기기를 통하여 포기를 실시하였으며, 다공판을 설치하여 공기의 고른 분배와 매체의 유동을 원활히 하였다.

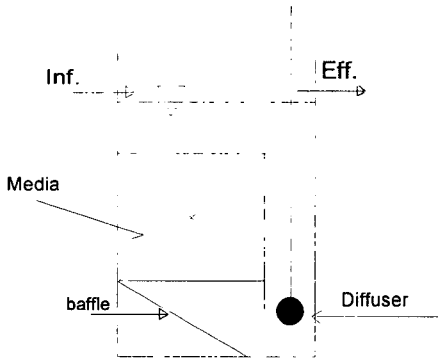


Fig. 1. Schematic diagram of PBR.

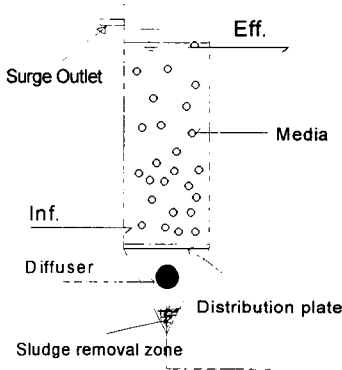


Fig. 2. Schematic diagram of FBR.

2.2.3. MMCMA(SMoving Media Complete Mixing Activated Sludge) system

반응조의 구조는 Fig. 3과 같이 아크릴 수지로 제작되었으며, 가로 13.7cm, 세로 26cm, 높이 37.5cm이다. 반응조 내에 설치된 원판(Disc)은 총 13개로 직경은 12cm, 간격은 1.5cm이며, 총 단면적은  $0.294\text{m}^2$ 이다. 반응조의 용적은 4.7ℓ이며, 원판 표면적당 용적비는 약  $15.6\text{ ℓ/m}^2$ 이었다. 원판이 장치된 축(shaft)에 체인을 감아 구동모터에 연결시켜 회전시켰으며, 구동모터는 감속장치가 연결되어 있어 회전속도를 조절할 수 있도록 하였으며, 반응조 하부에 직접 영향을 미치지 못하도록 정류판을 설치하였다.

또한 반응조 바닥에 경사를 두어 반응조 하부에 슬러지가 침적되지 않도록 하였다.

반응조의 운전은 유기물질 부하율을 1, 2, 4, 8, 15, 18  $\text{gBOD/m}^3\text{d}$ , HRT를 7.2~94시간으로 증가시켜 운전하였다. 회전매체의 회전속도는 10rpm으로 일정하게 유지하였으며, MMCMA 반응조의 각 유기물질 부하에 따른 유기물질 제거효율과 부유 및 부착미생물의 성장과 슬러지생산량 등에 대하여 조사하였다.

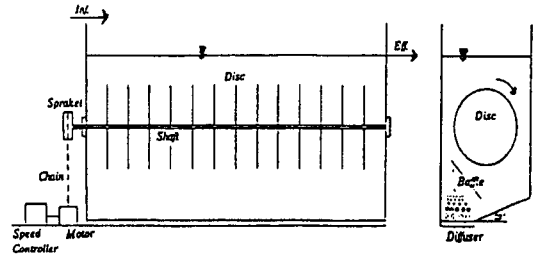


Fig. 3. Schematic diagram of MMCMA system.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 유기물질 제거효율

본 실험에서 사용된 반응조들은 침전지가 없기 때문에 유출수의 수질변동이 비교적 크므로 유기물질 제거효율은 SBOD와 SCOD를 기준으로 하였다.

염색폐수를 유입수로 한 PBR과 FBR의 충진율에 따른 조사결과를 Fig. 4에 나타내었다. 또한 비교적 처리효율이 좋은 충진율 20%의 운전결과를 Table 2에 나타내었다.

PBR에서는 매체충진율 10%의 경우  $0.21\sim 0.91\text{ kg BOD/m}^3\text{d}$ 부하에서 제거효율이 71~99%로 효율이 가장 저조하였고, 20% 충진율에서는  $0.17\sim 1.33\text{kgBOD/m}^3\text{d}$  부하에서 75~98%, 30% 충진율은  $0.23\sim 1.62\text{kgBOD/m}^3\text{d}$  부하에서 62~99%로 나타나, 20%와 30% 매체충진율에 대한 유기물질 제거효율은 큰 차이가 없었다. 이는 30% 충진율에서는 20% 충진율보다 총 미생물량이 많은 반면, 매체 공극의 폐쇄와 부착된 생물막내에 산소의 공급이 원활하지 못해 생물막내부로 용존산소의 확산이 어려워 생물막 내부의 혐기층이 증가되어 수질이 악화되었기 때문으로 생각된다.

또한, SBOD 제거효율을 90%이상 유지하기 위해서는 매체충진율 10%, 20%, 30%에서 BOD부하를 각각 0.43, 0.67,  $0.70\text{kgBOD/m}^3\text{d}$  이하로 유지해야 될 것으로 조사되었다.

FBR에서도 매체충진율 10%에서 제거효율이 가장 낮고, 20% 충진율과 30% 충진율의 경우는 유기물질 제거효율이 비슷하게 나타나, 미생물이 너무 많으면 유기물질 제거효율이 오히려 감소된다는 Hawks<sup>5)</sup>의 주장과 일치함을 보이고 있다. SBOD 제거효율을 90%이상으로 유지하기 위한 적정부하는 매체충진율 10%, 20%, 30%에서 각각  $0.41\text{kgBOD/m}^3\text{d}$ ,  $0.91\text{kgBOD/m}^3\text{d}$ ,  $0.67\text{kgBOD/m}^3\text{d}$ 로 조사되었다.

Fig. 4에서 나타난 것과 같이 두 공법 모두 비슷한 처

리효율을 나타내고 있으나 고부하인 1.45kgBOD/m<sup>3</sup>·d에서는 FBR이 PBR에 비해 SBOD의 경우 약 9%, SCOD의 경우 약 15%정도 제거효율이 우수하게 나타났다. 이상의 결과는 PBR에서는 매체가 고정되어 고부하에서 여재의 막힘과 폐쇄로 인한 생물막의 혐기층이 증가된 상태로 운전된 반면, FBR에서는 매체가 유동함으로써 상대적으로 얇고 활성이 큰 미생물을 확보할 수 있었기 때문으로 판단된다. 또한 유입수의 SCOD/SBOD의 비율이 평균 2.1인 것에 비하여 유출수의 SCOD/SBOD의 비율이 2.7로 증가한 것은 염색폐수가 난분해성 물질을 다량 함유하고 있고, 미생물의 slime층이 NBDCOD로 유출수에 포함되었기 때문이라고 생각되며, 이로 인해 두 공법의 SBOD 제거효율이 SCOD 제거효율보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

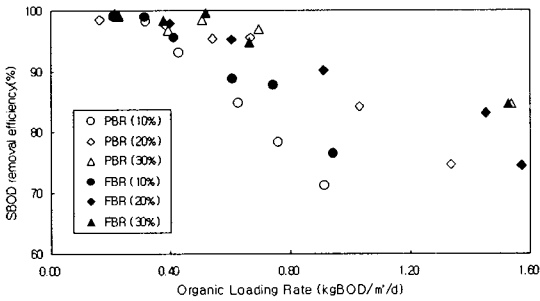


Fig. 4. SBOD removal efficiency vs. organic loading rate.

Table 3에는 MMCMAS system 운전결과의 평균값을 나타내었고, 유기물질 부하율 1.2~18gBOD/m<sup>3</sup>·d로 운전하였는데, 유기물질 부하율과 SCOD, SBOD제거효율을 Fig. 5에 나타내었다.

유기물질 부하가 8.1gBOD/m<sup>3</sup>·d이하에서는 SCOD,

SBOD공히 90%이상의 제거효율을 나타내었으나, 부하를 15.2gBOD/m<sup>3</sup>·d로 증가시킨 경우 SCOD는 80%, SBOD는 83%로 점차 감소하다가, 18.0gBOD/m<sup>3</sup>·d에서는 SCOD가 64%로 현저히 감소하고 SBOD도 72%로 감소하였다.

SCOD제거효율이 현저히 저하된 이유는 반응조 체류시간의 감소와 두겹계 형성된 회전매체의 부착미생물이 탈리되었거나 bacteria의 polysaccharides층의 이탈에 의한 것이라 사료되며, 또한 염색폐수의 특징인 생물학적으로 분해가 어려운 물질인 PVA, LAS, 계면활성제등으로 기인된것으로 판단된다. 단, PVA는 생물학적 분해가 쉽지않고, 수용성인 합성 고분자 화합물이나 생물학적 처리에 큰 독성은 나타내지 않는 것으로 보고된바 있다.<sup>6-8)</sup>

나<sup>9)</sup>들은 역유동층 반응기를 이용한 염색폐수 처리에서 HRT 12시간에서 SCOD 50%, 24시간에서 85%의 제거효율을 나타내었으나, MMCMAS공법은 HRT가 18시간 이상에서 SCOD, SBOD 공히 90%이상의 제거효율을 보여, 본 공법이 짧은 수리학적 체류시간으로도 높은 유기물질 제거효율을 나타내었다.

Fig. 6은 F/Mv비에 따른 세공법의 유기물질 제거효율을 나타내었다. 본 연구에서 폐수 성상의 차이 때문에 HRT를 사용하여 비교하기가 곤란하였고, 세 공법의 유기물질 부하율의 단위가 다르므로 F/Mv비를 사용하여 세공법을 비교하였다.

PBR의 경우 SBOD제거효율을 90%이상 유지하기 위해서는 매체충진율 10%, 20%, 30%에서 F/Mv비를 각각 0.08, 0.11, 0.07kgBOD/kgMLVSS·d이하로 유지해야 하는 것으로 조사되었고, FBR에서는 SBOD제거효율을 90%이상 유지하기 위해서 매체충진율 10%, 20%, 30%에서 F/Mv비를 각각 0.07, 0.12, 0.07kgBOD/kgMLVSS·d이하로 유지해야 하는 것으로 나타나 PBR, FBR 공히 20%충진율이 가장 적합한 것으로 조사되었다.

Table 2. Operating results of PBR and FBR (20% packing ratio)

Reactor	Inf. BOD (mg/ℓ)	BOD loading rate (kg/m <sup>3</sup> ·d)	HRT (day)	F/Mv (kgBOD/kgVSS·d)	Effluent (mg/ℓ)						Removal Efficiency (%)			
					TCOD	SCOD	TBOD	SBOD	TSS	VSS	TCOD	SCOD	TBOD	SBOD
PBR	620	0.17	3.8	0.03	48	42	17	9	470	114	96.1	95.3	97.3	98.4
	799	0.38	2.1	0.06	63	55	26	19	335	121	95.2	95.5	96.7	97.5
	905	0.54	1.7	0.09	126	75	50	40	379	194	92.8	95.1	94.4	95.3
	835	0.67	1.3	0.11	152	124	53	36	443	227	93.1	94.0	93.7	95.5
	1072	1.03	1.0	0.24	566	358	235	148	473	273	70.8	79.1	78.0	84.1
	1001	1.33	0.8	0.44	716	687	257	229	476	292	62.8	64.3	74.4	74.6
FBR	801	0.21	3.8	0.03	44	30	18	5	525	212	96.7	97.7	97.8	99.3
	836	0.40	2.1	0.06	109	87	29	17	396	109	93.1	93.8	96.5	97.9
	880	0.60	1.5	0.08	182	108	75	41	562	208	92.0	94.9	91.4	95.2
	949	0.91	1.0	0.12	511	258	258	85	944	377	71.8	84.0	72.8	90.1
	1089	1.45	0.8	0.27	473	371	294	160	943	435	76.7	78.9	73.0	83.1
	982	1.57	0.6	0.52	700	563	340	225	871	465	60.5	65.4	63.0	74.4

Table 3. Operating Results of MMCMA system

BOD Loading (g/m <sup>2</sup> /d)	Inf. BOD (mg/ℓ)	HRT (day)	F/Mv (kgBOD/kgVSS·d)	Effluent (mg/ℓ)						Removal Efficiencies			
				TCOD	SCOD	TBOD	SBOD	TSS	VSS	TCOD	SCOD	TBOD	SBOD
1.2	290	3.9	0.06	150	71	32	6	142	113	80.3	90.4	88.8	97.7
2.1	300	2.3	0.10	95	34	22	9	118	89	77.2	91.6	92.5	96.9
3.8	298	1.2	0.17	73	40	10	6	289	82	82.4	90.2	96.8	97.2
8.1	385	0.8	0.37	150	55	89	19	350	166	78.0	91.6	76.9	94.7
15.2	356	0.4	0.76	119	76	91	56	413	164	69.5	79.6	74.3	83.1
18.0	372	0.3	1.56	179	134	120	88	640	493	53.3	63.7	65.7	72.3

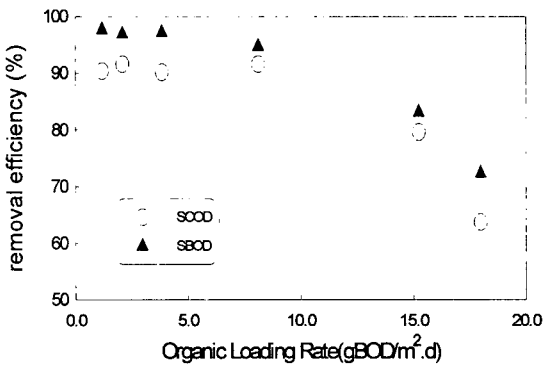


Fig. 5. Removal efficiency vs. organic loading rate on MMCMA system.

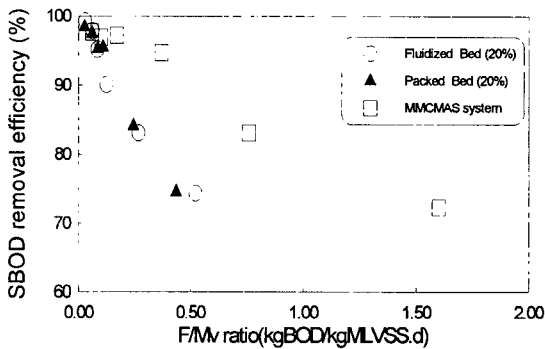


Fig. 6. SBOD removal efficiency vs. F/Mv ratio.

PBR과 FBR에서 20% 충전율에서 유기물질 제거효율이 다소 높게 나타난 이유는 30% 충전율에서는 미생물의 과다증식으로 인한 매체의 부착미생물 두께가 두꺼워져서, 산소의 결핍이 반응조의 일부에서 발생하였기 때문으로 생각된다. 이는 Hawks<sup>5)</sup>의 연구에서 미생물량이 너무 많은 경우, 유기물질 제거효율이 감소한다는 주장과 일치함을 알 수 있다. 또한, 심<sup>10)</sup>의 일반적인 혐기성 여상에서는 충전율이 처리성능에 미치는 영향이 큰 편이 아니라는 연구와는 달리 PBR과 FBR을 호기성으로 처리하는 경우, 충전율에 따라 제거효율의 차이가 나타나

는 것으로 조사되었다. PBR과 FBR은 F/Mv비가 증가할수록 제거효율이 급격하게 감소 경향을 보이고 있는 반면, MMCMA system은 높은 F/Mv비에서도 유기물질 제거효율의 감소가 완만하게 나타나는 것으로 조사되어 PBR과 FBR 공법에 비해 매체의 회전으로 인해 미생물량은 적으나, 활동도가 높은 미생물을 함유하고 있는 것으로 판단된다.

본 연구에서 SBOD 제거효율을 90%이상 유지하기 위한 각 공법의 F/Mv비는 PBR이 0.11kgBOD/kgMLVSS·d, FBR이 0.12kgBOD/kgMLVSS·d, MMCMA system이 0.37kgBOD/kgMLVSS·d로 나타나 MMCMA system이 다른 두 공법에 비해 동적부하나 충격부하에 강한 공법으로 나타났다. 권<sup>11)</sup>은 활성슬러지조 염색폐수를 처리한 결과 BOD제거효율을 90%이상 유지하기 위해서 F/Mv비는 0.15kgBOD/kgMLVSS가 적정 운전조건이 될 것이라고 하였는데, 본 연구의 PBR과 FBR과는 비슷하나 MMCMA system은 약 2.5배 높은 F/Mv비에서도 90% 이상의 SBOD를 제거할 수 있는 것으로 조사되었다.

이상의 결과에서 낮은 F/Mv비에서는 세공법 모두 제거효율이 우수하였으나, F/Mv비가 높아질수록 PBR과 FBR은 급격한 효율의 감소를 보인 반면, MMCMA system의 경우 제거효율의 감소가 완만하였다.

### 3.2. Biomass 성장 및 슬러지 생산량

Table 4에는 PBR과 FBR의 Biomass 성장과 슬러지 생산량을 나타내었는데, 본 연구 결과 중 유기물질 제거효율이 가장 좋은 매체충진율 20%의 결과를 나타내었다.

PBR의 경우, 유기물질 부하가 0.17kgBOD/m<sup>2</sup>·d에서 0.38kgBOD/m<sup>2</sup>·d로 증가됨에 따라 반응조내의 총 미생물량은 8139mg/ℓ에서 8958mg/ℓ로 증가되었고, 부착미생물의 비율은 96%이상으로 일정하게 유지되었으나, 1.33kgBOD/m<sup>2</sup>·d 부하에서는 총 미생물량이 4031mg/ℓ, 부착미생물의 비율은 65%로 감소되어 고부하에서 상당량의 미생물이 탈리된 것으로 나타났다. 이는 부착미생물이 일정량 이상이 되면 미생물의 활성도가 떨어지고, 내부층으로의 기질의 확산이 미약하여 기질의 제한이 일어나며, 이로 인한 내호흡이 촉진되어 생물막의 탈리현상이 초래되었기 때문으로 판단된다.

Hawks<sup>5)</sup>에 의하면 미생물량이 너무 많으면 유기물질 제거효율이 감소된다고 하였으며 적정량은 1.76kgVS/m<sup>3</sup>이라고 하였다. 또한 BAF(Biological Aerated Filter)에서의 미생물 부착량은 3.2~21.8kgVS/m<sup>2</sup>이라 하였는데 본 연구결과의 3.06~10.03kgVS/m<sup>2</sup>와 유사한 값을 나타내었다.

매체충진율별 총 미생물량은 10%인 경우, 5389~8207mg/l, 20%에서는 4031~8958mg/l, 30%는 9251~13332mg/l로 나타나 충진율이 증가할수록 미생물량이 증가하는 경향을 나타냈으며, 총 미생물중 부착미생물이 차지하는 비율은 충진율 10%, 20%, 30%에서 평균 90%, 85%, 95%로 나타났다.

FBR에서는 유기물질 부하가 0.21kgBOD/m<sup>3</sup>·d에서 0.91kgBOD/m<sup>3</sup>·d로 증가됨에 따라 반응조내의 총 미생물량은 9000mg/l내외로 일정하게 유지되었고, 부착미생물의 비율도 87%이상으로 일정하게 유지되었으나, 1.60kgBOD/m<sup>3</sup>·d 부하에서는 총 미생물량이 4832mg/l, 부착미생물의 비율은 67%로 감소되어 유기물 부하가 증가될수록 총 미생물량은 증가되고 있으나 고부하에서는 부착미생물량이 감소하고 부유미생물량이 증가함을 알 수 있다. 이는 생물막의 탈리와 난분해성 및 독성물질의 존재로 인한 미생물량의 감소로 인한 결과로 판단된다. 실험 전 기간동안 분배판의 폐쇄는 나타나지 않았다.

매체충진율별 총 미생물량은 10%인 경우, 5099~7581mg/l, 20% 충진율에서는 4832~9087mg/l, 30%충진율은 8275~12594mg/l로 나타나 충진율이 증가할수록 미생물량이 증가하였으며, 총 미생물량중 부착미생물이 차지하는 비율은 충진율 10%, 20%, 30%에서 평균 92%, 85%, 93%를 나타내고 있다.

Table 5에는 MMCMS system의 미생물의 성장과 슬

러지 생산량을 나타내었는데, 유기물질 부하가 1.2gBOD/m<sup>3</sup>·d에서 8.1gBOD/m<sup>3</sup>·d로 증가함에 따라 반응조내의 총 미생물 농도는 1664mg/l에서 1707mg/l로 다소 증가되었으나 15.2gBOD/m<sup>3</sup>·d에서는 1536mg/l로 다소 감소되었고, 18.0gBOD/m<sup>3</sup>·d에서는 906mg/l로 현저히 감소되었다. 이는 부하의 증가에 따른 염색폐수내의 난분해성 물질과 독성물질이 미생물의 성장에 저해작용을 끼쳤으며, 이로 인한 다량의 탈리현상이 일어난 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 총 미생물량이 906~1707mg/l로 김<sup>3)</sup>의 839~6061mg/l보다 현저히 낮게 유지되었는데, 이는 폐수 성상에 따른 생물막 두께의 증가속도와 밀도변화 등의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

전체 미생물량중 부착미생물이 차지하는 비율은 69~80%의 범위였으며, 휘발성분은 77.8~82.6%의 범위였다. 유기물질 부하가 1.2~8.1gBOD/m<sup>3</sup>·d로 증가함에 따라 전체 미생물량과 부착미생물량이 증가하였으나, 15.2gBOD/m<sup>3</sup>·d 이상일 때는 총미생물량과 부착미생물의 양이 모두 감소하였다. 생물막 두께는 유기물질 부하가 3.9gBOD/m<sup>3</sup>·d까지는 증가하다가 그 이상의 부하에서는 감소하였으며 0.3~0.75mm의 범위로 측정되었다. 이는 Atkinson과 Fouler<sup>12)</sup>의 연구결과인 전체 생물막 두께는 0.07~4.0mm의 범위이며, Characklis<sup>13)</sup>의 난류흐름 상태에서 생물막의 두께는 1mm를 넘지 않는다는 연구결과와 잘 일치하고 있다.

이상의 결과에서 세균법 모두 유기물질 부하가 증가될수록 총 미생물량은 일정하거나 약간 증가되었으나, PBR은 0.67kgBOD/m<sup>3</sup>·d, FBR은 1.45kgBOD/m<sup>3</sup>·d, MMCMS system은 15.2gBOD/m<sup>3</sup>·d 이상의 유기물질 부하에서는 총 미생물량과 부착 미생물량이 모두 감소함을 알 수 있었다. 이는 난분해성 및 독성물질의 존재로 인한 총 미생물량의 감소와 부착미생물이 일정량 이상이 되어 미생

Table 4. Characteristics of Biomass on PBR and FBR (20% packing ratio)

Reactor	BOD loading (kg/m <sup>3</sup> ·d)	Biomass									Sludge production (kgVSS/kgBODrem.)
		Total(mg/l)		Attached(mg/l)		Suspended(mg/l)		VSS/SS (%)	Ratio of Component		
		SS	VSS	SS	VSS	SS	VSS		Attached (%)	Suspended (%)	
PBR	0.17	8139	6281	7859	6066	281	215	77	97	3	0.19
	0.38	8958	6509	8575	6259	384	250	73	96	4	0.16
	0.54	8598	6354	7953	5950	645	404	74	93	7	0.22
	0.67	7697	6212	6872	5624	825	588	81	89	11	0.28
	1.03	5682	4215	4099	2966	1583	1249	74	72	28	0.30
	1.33	4031	3063	2610	2075	1421	988	76	65	35	0.38
FBR	0.21	9087	7717	8298	7121	789	596	85	91	9	0.27
	0.40	8273	6584	7888	6311	385	273	80	95	5	0.13
	0.60	8658	7229	7953	6649	705	581	83	92	8	0.25
	0.91	8913	7373	7735	6420	1178	952	83	87	13	0.44
	1.45	7463	5442	5732	4184	1731	1258	73	77	23	0.47
	1.57	4832	3011	3230	1792	1602	1219	62	67	33	0.67

Table 5. Characteristics of Biomass on MMCMAS system

BOD Loading (g/m <sup>3</sup> /d)	Biomass												Sludge production (kgVSS/kgBODrem.)	
	Total(mg/ℓ)		Suspended(mg/ℓ)		Attached(g/m <sup>2</sup> )						Ratio of Component			
	SS	VSS	SS	VS	Wet wt.	Dry wt. (SS)	Volatile wt.(vss)	Water Content (%)	Thickness (mm)	Density (mg/cm <sup>3</sup> )	VSS/SS (%)	Attached		Suspended
1.2	1644	1325	760	600	306.7	14.1	11.6	95.4	0.30	46.9	81	54	46	0.44
2.1	1579	1305	690	540	443.5	14.2	12.2	96.8	0.43	32.6	83	56	44	0.32
3.9	1694	1393	450	360	763.5	19.9	16.5	97.4	0.75	26.5	82	73	27	0.28
8.1	1707	1387	340	280	733.0	21.9	17.7	97.0	0.72	30.4	81	80	20	0.56
15.2	1536	1253	480	370	587.1	16.9	13.1	97.1	0.58	29.3	82	69	31	0.62
18.0	906	705	640	500	359.1	4.3	3.3	98.8	0.35	12.1	78	29	71	0.98

물의 활성도가 떨어져 내부층으로의 기질 확산이 미약하여 기질의 제한이 일어나서, 이로 인한 내호흡이 촉진되어 생물막의 탈리현상이 초래되었기 때문에 판단된다.

평균 슬러지생산량은 PBR에서 매체충진율 10%, 20%, 30%에서 각각 0.23, 0.25, 0.14kgVSS/kgBODrem.로 나타나 30% 충진율에서 가장 낮은 값을 보였으며, 도<sup>14)</sup>의 염색폐수를 FMAS (Fixed Media Activated Sludge)공법으로 처리한 0.29~0.61kgVSS/kgBODrem.보다 낮은 값을 나타내었다.

FBR에서 슬러지 생산량은 충진율 10%, 20%, 30%경우, 평균 0.27, 0.37, 0.24kgVSS/kgBODrem.의 슬러지 생산량을 나타내어 30% 충진율에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 일반적으로 유기물질 부하가 증가될수록 슬러지 생산량이 커진다고 알려져 있는데,<sup>5)</sup> 본 실험에서 유기물질 부하가 0.21kgBOD/m<sup>3</sup>·d에서 1.57kgBOD/m<sup>3</sup>·d으로 증가했을 때, 슬러지 생산량은 0.27kgVSS/kgBODrem.에서 0.67kgVSS/kgBODrem.로 증가하여 위의 연구결과와 잘 일치하고 있다.

위의 결과에서 PBR과 FBR에서 두 공법 모두 슬러지 생산량이 30% 충진율에서 가장 낮은 값을 나타내었으며, PBR의 경우, 30% 충진율이 10%와 20%에 비해 각각 39%, 44% 낮았으며, FBR은 30% 충진율이 10%와 20%에 비해 각각 11%, 35% 낮게 나타났다. 두 공법의 30% 충진율에서 슬러지 생산량이 낮게 나타난 것은 10%와 20% 충진율에 비해 많은 미생물을 보유하고 있어, 이로 인해 같은 부하에서도 상대적으로 기질의 제한이 일어나 슬러지의 자산화가 진행된 것으로 사료된다.

MMCMAS system의 슬러지 생산량은 0.28~0.98kgVSS/kgBODrem., 평균 0.54kgVSS/kgBODrem.로 나타났다. 유기물질 부하가 증가할수록 슬러지 생산량은 증가하였다. 도<sup>14)</sup>는 염색폐수를 활성슬러지공법과 FMAS (Fixed Media Activated Sludge)공법을 이용하여 처리한 결과 활성슬러지법의 경우는 0.28~0.44kgVSS/kgBODrem.이며 FMAS의 경우는 0.29~0.61kgVSS/kgBODrem.의 슬러지 생산량을 나타내었고, 권<sup>11)</sup>의 실험에 의하면, 염색폐수를 활성슬러지법으로 처리한 결과 운전온도 27℃에서 슬러지생산량이 0.2~0.5kgVSS/kgBODrem.로 나타

났다.

본 연구에서는 염색폐수를 MMCMAS system으로 처리할 경우 부하가 비교적 낮은 1.18~8.13gBOD/m<sup>3</sup>·d 범위에서는 슬러지 생산량이 0.29~0.56kgVSS/kgBODrem.로 위의 연구결과와 비교적 일치하나, 부하가 비교적 높은 15.24~17.98 gBOD/m<sup>3</sup>·d범위에서는 이들이 제시한 값보다 다소 크게 나타나고 있으나 전체적으로 볼 때 대체로 일치하고 있다.

이상의 결과로 볼 때, 슬러지 생산량은 PBR의 경우, 평균 0.20kgVSS/kgBODrem., FBR은 평균 0.29kgVSS/kgBODrem., MMCMAS system은 평균 0.54kgVSS/kgBODrem.범위로 나타나 PBR이 FBR에 비해 31%, MMCMAS system에 비해 63%정도 슬러지 생산량이 낮음을 알 수 있었다. 이는 FBR과 MMCMAS system의 경우, 매체의 유동과 회전으로 인한 물과의 전단력에 의해 과잉부착 미생물의 탈리를 유도하는 반면, PBR의 경우는 매체의 고정으로 인한 슬러지의 여과작용으로 인해 유출수내의 SS농도가 상대적으로 적었기 때문에 판단된다.

#### 4. 결 론

염색폐수를 고정 및 유동층 생물막 반응조와 MMCMAS system을 이용하여 처리한 결과를 비교분석한 결과는 다음과 같다.

(1) SBOD 제거효율을 90%이상 유지하기 위한 각 공법의 F/Mv비는 PBR공법이 0.11kgBOD/kgMLVSS·d, FBR공법이 0.12kgBOD/kgMLVSS·d, MMCMAS system은 0.37kgBOD/kgMLVSS·d로 나타나 MMCMAS system이 다른 두 공법에 비해 높은 F/Mv비에서도 제거효율이 우수하며, 동적부하나 충격부하에 강한 것으로 조사되었다.

(2) PBR과 FBR의 매체 충진율에 따른 유기물질 제거효율은 두 공법 모두 20% 충진율에서 가장 좋은 제거효율을 나타내었으나, 슬러지 생산량의 경우 두 공법 모두 30% 충진율에서 가장 낮은 값을 나타내었다.

(3) 90% 이상의 유기물질을 제거했을 때, 각 공법의 전체미생물중 부착미생물이 차지하는 비율은 PBR공법