

Media를 充填한 間接曝氣式 浸漬濾床에 의한 BOD제거 특성에 관한 연구

A Study on the BOD Removal Characteristics of Aerobic Submerged Biofilter

양상현* · 권영호**

Yang, Sang Hyun · Kwon, Young Ho

Abstract

The BOD removal characteristics of submerged biofilters filled with three kinds of filter media respectively were experimentally examined with constant temperature, pH value and variable BOD loading and recirculation ratio. Obtained results are as follows;

1. The BOD removal ratio decreases with the increasing BOD₅ volumetric loading rate, and the loading rate for the BOD removal over 90% is lower than 1.6 kg·BOD₅/m³·d for the plastic media of Netring and cubic wire meshes. This is a much large value than 0.3~0.8 kg·BOD₅/m³·d for conventional activated sludge process. The required submerged biofilter volume is found to be much smaller than that of conventional activated sludge process.

2. The decreasing order of BOD removal is Netring (random plastic media), cubic wire meshes (plastic module), and then gravel (stone media). This is mainly due to the media characteristics such as void ratio, specific surface area and media shapes.

3. The BOD₅ removal rate increases with the recirculation ration, but the rate of increases becomes smaller as the recirculation ratio increases over 20. When BOD₅ loading is 1.8 kg·BOD₅/m³·d, the required recirculation ratio to obtain 90% BOD₅ removal is about 20 for Netring and it was about 30 for cubic wire meshes.

4. Reynold's Number increases with recirculation ratio, and the Reynold's Numbers corresponding to the recirculation ratio of 10~50 are less than 52, showing laminar up flows in the filter. The settled and effluent sludges increase with increase of Reynol's Number, and there are the definite Reynold's Numbers at which the settling sludge concentrations become nearly constant respectively in each filters.

5. In this submerged biofilter system, small volume of sludge hopper can be substituted for a separated settling tank.

要 旨

침지여상에 폐수를 부하하여 간접포기·강제순환 방식으로 처리하는 system에 대하여 그 유기물

* 정희원 · 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원 · 전북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 수료

제거 특성을 실험적으로 연구했다. 실험은 침지여상에 네트링(random型 plastic media), 입체철망(module型 plastic media) 및 잔자갈의 특성이 다른 세가지 media를 충전하고, pH, 水溫을 고정한 상태에서 BOD₅ 용적부하와 순환비를 변동하여 실시하므로써 여재(media) 종류가 BOD₅ 제거효율에 미치는 특성을 규명했다.

1. 서 론

일반적으로 도시하수와 같은 유기성 폐수처리를 위한 생물학적인 처리공법은 크게 Floc상의 현탁미생물을 이용하는 공법과 고정 미생물막을 이용하는 공법으로 나눌 수 있다. Floc상의 현탁미생물을 이용하는 대표적인 방법은 활성슬러지법이나 水溫, pH 및 유기물의 부하변동에 약하고 고액분리에서의 Bulking 문제 등의 이유로 처리효율 향상에 많은 어려움이 있으며 동력소비가 크다는 등의 단점이 있다. 침지여상법은 반응조 水面下에 Media를 설치하여 Media 표면 및 공극에 미생물막이나 Floc이 형성 되도록 한 후, 여기에 폐수를 접촉시켜 처리하는 방법으로, 다음과 같은 일반적인 장점을 갖고 있다. 첫째, 반응조내의 미생물농도를 높일 수 있으며, 용적부하율을 크게하여 운전할 수 있어서 반응조 용적을 줄일 수 있고, F/M비를 낮게 운영할 수 있어서 자산화율을 크게하여 잉여슬러지 발생량을 줄일 수 있을 뿐 아니라 슬러지가 상당히 농축되어 고액분리가 용이하다. 둘째는 水溫, pH, 유기물등의 부하변동에 강하다. 梁과 元은 잔자갈을 충전한 간접포기방식 침지여상에 대한 하수처리특성을 연구하였고,⁽¹⁾ 또한 梁 등은 잔자갈을 충전한 침지여상법의 反應器 특성,⁽²⁾ 酒精廢水처리 특성⁽³⁾을 연구한 바 있다.

본 연구에서는 경제적인 문제가 제기되는 순산소 공급방식을 배제한 공기에 의한 간접포기식 방식을 도입하고, Media로는 적당한 표면적 및 공극율을 가지고 있어 수류의 흐름이 균등할 수 있으며 미생물의 부착성이 양호한 것으로 생각되는 Media 3종류(A : Netring, B : 잔자갈, C : 입체철망)를 채택하는 침지여상을 대상으로 실험하였다.

실험은 수처리 효율에 영향을 미치는 Media 종류, 순환비, 기질부하 등을 변화시키면서 실시 하였으며, 수처리 효율에 지배하는 인과 관계를 규명하고 설계

및 운전에 필요한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 간접포기 강제순환방식의 채택과 기대되는 기능(효과)

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 Aeration Tank에서 간접포기된 물 Q·r과 試料下水 Q를 침지여상 저면으로부터 上向流로 유입시킨 다음, 여상 上部에서 처리수 Q를 방류하고 Q·r를 Aeration Tank에 유입시켜 再포기 되도록 하는 간접포기·강제순환식을 채택하였다. 이방식에 의하여 다음과 같은 기능이 기대된다.

- ① BOD부하에 사용하는 산소량의 공급
- ② 기질, 생물막, 산소의 원활한 접촉과 효과적인 생물화학적 반응처리
- ③ 생물막에 대한 水流의 전단작용에 의한 적정한 생물막 두께의 유지와 定常的인 연속운전

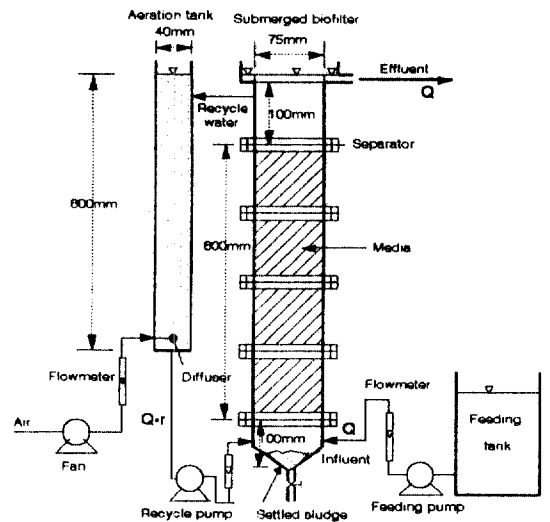


그림 1. 실험장치.

2.2 처리효과를 지배하는 因子와 연구항목

위에 말한 세가지의 기대되는 처리효과를 지배하는 인자들로서는 다음과 같은 것들이 있다고 생각된다.

1. 이 System에 공급되는 산소량은 Aeration Tank에서의 포기능력(Oxygenation Capacity)와 순환비의 함수이며, 포기능력과 순환비가 클수록 공급되는 산소량은 클 것이다.

2. 침지여상내에서의 원활한 접촉과 생물화학적 BOD제거 반응은 산소, 미생물, 기질의 상대적인 량과 접촉의 빈도등에 주로 좌우되며, 이것들은 BOD부하율, 포기능력과 순환비, Media의 형상과 水流상황(流態과 순환비) 등의 함수일 것이다.

3. 적절한 생물막 두께와 定常的인 연속운전은 주로 순환비, Media형상, BOD부하율의 함수로서 어떤 特定 Media에 대해서 그에 적합한 순환비와 BOD부하율을 채택하므로써 가능할 것이다.

이외에도 기본적으로 試料水(下水)의 成分, pH, 水溫 등이 처리효과를 지배하는 인자이나, 本研究에서는 시료수로서 표 2에 표시한 合成下水를 사용하고 pH는 7.3, 水溫은 20°C 를 유지하고 다음과 같은 항목에 대하여 처리효과에 미치는 영향을 실험하여 규명하였다.

- ① Media 종별(특성)과 처리효과
- ② BOD용적부하와 처리효과
- ③ 水理學的 체류시간과 처리효과
- ④ 순환비와 처리효과

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

실험장치는 그림 1에 보는 바와 같이 시료공급을 위한 Feeding tank와 Feeding pump, 생물화학적 반응을 위한 침지여상, 산소공급을 위한 포기장치(Aeration Tank, diffuser, fan), 순환처리를 위한 순환 pump와 순환관, 침전 슬러지 hopper 및 처리수 流出 weir와 流出管들로 구성된다. 침지여상은 높이 100 cm, 내경 7.5 cm의 아크릴통으로 제작하여 여상 중간부분에 80 cm의 높이로 Media를 충전하였다. 또 Media가 충전한 부분은 4단으로 분리될 수 있도록 여상분리 장치를 만들었으며, 여상 저부에는 침전 슬러지 hopper, 인출밸브 및 관을 설치하였다.

이와같은 실험장치는 3개를 만들어 각 침지여상에

표 1. Media A, B, C의 특성^{1,4)}

Media	비표면적 (m ² /m ³)	충전공극비 (m ² /m ³)	충전방식
A (Netring)	206	0.88	random
B (잔자갈)	404	0.44	random
C (입체철망)	80	0.94	module

다음과 같은 상이한 3종의 Media를 각각 충전하여 사용하였다. 침지여상에 충전한 Media는 Netring (A형), 잔자갈(B형), 입체철망(C형)의 세종류를 채용했으며 각 Media의 比表面積과 공극비는 표 1과 같고 그 형상은 사진 1과 같다.

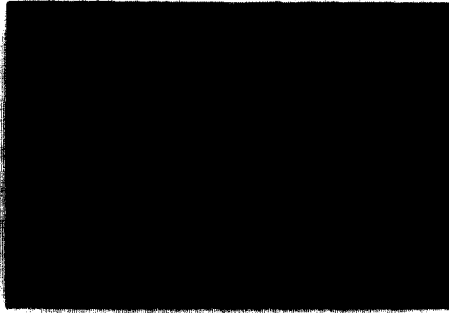
Netring은 polypropylene로써 길이 27 mm, 직경 20 mm의 원통이며 밀도는 0.894 g/cm³이고, 잔자갈은 직경 9.5~12.7 mm, 球形度 약 0.75, 밀도 약 2.6 g/cm³이며, 입체철망은 직경 3 mm의 철사를 6mm의 간격으로 엮은 철망을 12 mm 간격으로 조립한 것이다.

曝氣槽는 투명 아크릴 판으로 높이 80 cm, 내경 4.0 cm의 원통으로 제작되었으며, 저부에 산기석을 설치하여 포기시켰다. 포기조에서 포기된 물은 순환펌프(Masterflex pupm(Model. No. 7567-50))에 의해 침지여상의 하부에 유입시켜 필요한 산소를 공급시켰고, Feeding tank에 저장된 試料水는 BOD부하율에 따라 정량펌프로 일정량을 주입하였다.

또 포기조에 공급되는 공기량 및 침지여상에 유입되는 순환수량을 측정기위하여 flow meter를 설치하였다.

3.2 시료

본 실험에 사용한 시료는, 脫脂粉乳에 포함된 유기물을 주성분으로 하여 미생물 성장에 필요한 무기성 영양염류를 적량 혼합한 것에 증류수를 가하여 만든 合成下水이다. 合成下水 원액 1/중의 성분함량은 표 2와 같으며 원액의 COD는 132,000 mg/l이고, BOD₅는 112,000 mg/l이었으며, 본 실험에서는 유입수 BOD₅ 농도가 도시하수 농도 범위값인 200 mg/l가 되도록 원액을 560배 희석하여 사용하였다.



Media A
(Netring)



Media B
(잔자갈)



Media C
(입계철망)

사진 1. Media A, B, C의 현상.

3.3 실험방법

1. 먼저 상이한 media를 충전한 각 실험장치 대한 시료수 주입량(BOD부하량, F/M비)을 일정하게 하고 순환비를 일정하게 하여 운전하면서 5~8일 경과후 침지여상이 정상상태(유출수 BOD 및 SS가 일정)가 되면, 침지여상 유입수의 BOD₅, 순환수와 유입하수가 혼합된 여상 유입수의 용존산소농도, 유출수의 pH, 水温, SS, BOD₅ 및 침지여상내 Bio-

표 2. 합성하수 원액 1 l 중의 성분함량

성분	중량(g)
Skim milk	100.0
Urea, (NH ₂) ₂ CO	10.0
Sodium chloride, NaCl	3.0
Sodium phosphate, Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	10.0
Potassium chloride, KCl	1.4
Calcium chloride, CaCl ₂ ·2H ₂ O	1.4
Magnesium sulfate, MgSO ₄ ·7H ₂ O	1.0

mass량을 측정한다. 다음, 순환비를 변화시켜 다시 정상 상태가 되면 상기항목을 다시 측정하였다. 처리중에 자연 탈리된 슬러지는 여상의 하단에 침전하게 되는데, 하단에 설치된 침전슬러지 인출관으로 인출하여 Biomass 탈리량(잉여슬러지 발생량)을 측정하였다.

2. 같은 방법으로 BOD부하량을 변화시켜 실험을 반복하여 각 경우의 수처리효율과 定常的 운전의 가능성여부를 실험하였다. 위의 실험에 있어 F/M비 결정 및 BOD₅, DO, 침지여상내 Biomass, 순환비의 측정방법은 다음과 같다.

① BOD : 시료수와 여상 유출수의 BOD₅를 Standard Methods에 따라서 측정하였다.

② DO : 포기조 유출수와 여상 유출수를 대형 주사기(용량 120 cc)로 채취하여 Standard Methods의 DO측정법에 의하여 측정하였다.

③ 침지여상내 Biomass : 침지여상내 하수를 배제하여 排水중의 Biomass를 측정하고, 또한 여상분리 장치에 의해 여상을 분리하고 각단에서 10여개의 메디아를 꺼내어 씻어서 측정한 Biomass와 앞서 측정한 排水중의 Biomass를 측정하여, 침지여상내 Biomass 농도를 산출하였다.

④ 순환비 : feeding pupm flow meter와 순환 pump flow meter에 의하여 所定의 순환비가 되도록 조정했다.

4. 실험결과 및 고찰

Media를 충전한 간접포기식 침지여상에 의한 수처리 실험에서 처리효율 및 잉여슬러지발생량 등

에 영향을 미치는 부하율(BOD₅용적부하), 순환비(Q·r/Q)와 BOD₅, 제거율 등에 대해 살펴보면 다음과 같다.

4.1 BOD용적부하변화에 따른 처리효율

순환비를 20으로 일정히 하고, BOD용적부하를 0.8~3.0 Kg·BOD₅/m³·d로 변화시켰을 때의 처리내역은 표 3과 같다.

표 3에서 BOD₅값은 다음과 같은 식으로 계산한 값이다.

$$\begin{aligned} \text{Kg} \cdot \text{BOD}_5 / \text{m}^3 \text{d} &= (200 \text{ mg BOD}_5 / \text{l}) (\text{Qm}^3 / \text{d}) \\ &= (0.2 \text{ KgBOD}_5 / \text{m}^3) (\text{Q m}^3 / \text{d}) \\ &= 0.2 \text{ Q} \cdot \text{KgBOD}_5 / \text{d} \end{aligned} \quad (1)$$

침지여상의 BOD부하율은 BOD-SS부하와 BOD용적부하의 두가지로 표시할 수가 있을 것이다. BOD제거가 생물학적 반응임을 감안하면, BOD부하

율을 BOD-SS부하로 표시함이 합리적이나, 실제의 처리장에 있어 침지여상내 미생물량을 측정하는 것은 매우 어려우므로 일반적으로 BOD용적부하를 통용하고 있다. 저자들은 이와 같은 방법이 합리적인가 검토하기 위하여 표 3에 표시된 실험치를 이용하여 BOD-SS부하와 BOD용적부하의 관계를 plot하여 그림 2를 얻었다. 그림에서 BOD-SS부하와 BOD용적부하는 매우 상관성이 높은 일정한 직선 또는 곡선의 회귀로 표시된다. 따라서 BOD용적부하는 BOD-SS부하와 마찬가지로 합리적인 부하표시방법이라고 할 수 있다. 또 그림 2에서 Netring과 입체철망에 대한 회귀는 직선으로 표시되고 잔자갈에 대한 회귀는 곡선으로 표시되는데, 이는 각 Media의 형상특성에 의한 것으로 Netring과 입체철망의 공극비는 각각 0.88과 0.94로 큰 반면 잔자갈의 공극비는 0.44로 훨씬 작은데에 기인한 것으로 생각되며, 일반적으로 공극비가 큰 Media의 BOD-SS

표 3. BOD 용적부하와 처리내역(순환비 : 20)

Media	F/M ratio kg·BOD ₅ / kg·MLVSS·d	BOD loading kg·BOD ₅ / m ³ ·d	BOD(mg/l)			DO(mg/l)		Biomass (mg/l)	탈리된 슬러지량 (mg/d)	0.22 kgBOD/kg MLVSS·d 일 때 평균 Biomass (kg/m ³)
			Inf.	Eff.	Removal Rate	Inf.	Eff.			
A	0.11	0.8	201	10	95.0	8.3	1.1	7,216	290.5	7.335
	0.17	1.2	203	15	92.6	8.4	1.3	7,294	805.6	
	0.25	1.8	202	20	90.1	7.9	1.9	7,376	2041.6	
	0.33	2.4	204	32	84.3	7.7	2.4	7,402	3943.2	
	0.40	3.0	200	38	81.0	8.0	2.8	7,440	6360.0	
B	0.12	0.8	203	14	93.1	8.7	1.0	6,728	181.9	6.960
	0.19	1.2	201	18	91.0	8.6	1.8	6,512	449.4	
	0.30	1.8	202	26	87.1	7.8	2.1	6,116	1211.6	
	0.42	2.4	200	38	81.0	7.5	2.6	5,692	2035.2	
	0.56	3.0	203	44	78.3	7.4	3.4	5,414	4452.0	
C	0.12	0.8	202	12	94.1	8.2	1.2	6,912	301.7	6.960
	0.17	1.2	200	16	92.0	8.5	1.5	6,974	856.5	
	0.26	1.8	198	22	88.9	8.0	2.2	6,946	2124.2	
	0.35	2.4	204	35	82.8	7.7	2.4	7,021	4028.0	
	0.43	3.0	202	41	79.7	7.6	2.7	7,064	6466.0	

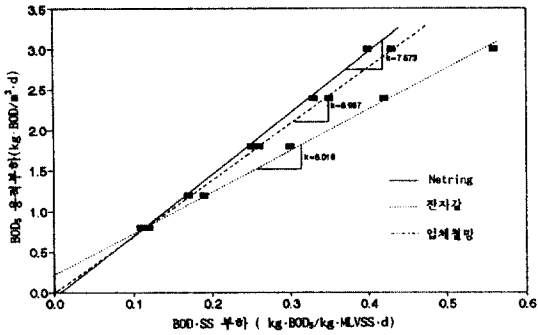


그림 2. BOD 용적부하와 BOD-SS 부하.

부하(L_s)와 BOD용적부하(L_v)간에는 다음 관계가 성립한다.

$$L_s = k \cdot L_v \quad (2)$$

위 식에서 L_s 를 $\text{Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{kg MLVSS} \cdot \text{d}$, L_v 를 $\text{Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 단위로 표시하면, k 값은 Netring과 입체철망의 경우 각각 7.573과 8.987이 된다.

다음에, 순환비를 20으로 일정히 하고 BOD용적부하를 $0.8 \sim 3.0 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 로 변화시켰을 때, 각 Media에 대한 BOD용적부하-BOD 제거율의 관계를 표 3의 실험치를 사용하여 plot하면 그림 3과 같다.

그림 3에서 알 수 있듯이 세가지 매디아에 의한 BOD_5 제거율은 용적부하 약 $1.6 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 90% 이상을 얻을 수 있고 그 이상으로 부하율이 증가하면 제거율은 감소하였다. 용적부하율 $1.6 \text{ kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 를 그림 2에 의하여 BOD-SS부하로 환산하면 Netring이나 입체철망의 Media에 대하여 약 $0.22 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{kg MLVSS} \cdot \text{d}$ 가 되고, 일반적으로 표준활성슬러지법의 BOD-SS부하와 MLVSS농도는 각각 $0.2 \sim 0.4 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{kg MLVSS} \cdot \text{d}$ 와 $1500 \sim 3000 \text{ mg/l}$ 이다.⁽⁵⁾ BOD-SS부하와 MLVSS농도의 중간치를 대표치로 택하면 $0.3 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{kg MLVSS} \cdot \text{d} \times 2.25 \text{ kg MLSS}/\text{m}^3 = 0.675 \text{ kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 의 처리능력이 있고, 한편 침지여상에서 BOD-SS부하 $0.22 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{kg MLVSS} \cdot \text{d}$ (BOD 제거율 약 90%)일 때의 BOD_5 제거능력은

$$\text{Netring} : 0.22 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{kg MLVSS} \cdot \text{d} \times 7.335 \text{ kg MLVSS}/\text{m}^3 = 1.614 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

$$\text{입체철망} : 0.22 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{kg MLVSS} \cdot \text{d} \times 6.960$$

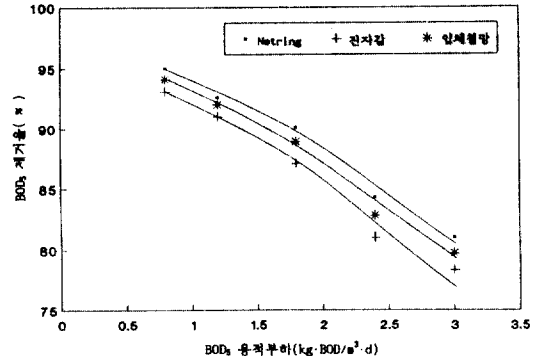


그림 3. BOD 용적부하와 BOD_5 제거율.

$$\text{MLVSS}/\text{m}^3 = 1.5312 \text{ kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

가 된다. 따라서 표준활성슬러지법의 평균 BOD 제거율은 85~90%로서^(5,6) 여기서 90%라 가정하면 $1 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 를 처리하는데 요하는 반응조용적은 표준활성슬러지법 : Netring법 : 입체철망법 = $(1/0.675) : (1/1.614) : (1.531) = 1.48 \text{ m}^3 : 0.62 \text{ m}^3 : 0.653 \text{ m}^3$ 이며 침지여상법이 훨씬 반응조 용적이 작음을 알 수 있다.

잔자갈 침지여상의 경우도 같은 방법으로 고찰하여 표준활성슬러지법보다 용적이 작음을 알 수 있으나, 그림 3에서 보는 바와 같이 BOD_5 제거율 90%가 되는 BOD_5 용적부하는 약 $1.3 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 로 Netring이나 입체철망을 충전한 침지여상의 값 약 $1.6 \text{ Kg} \cdot \text{BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 에 비하여 상당히 작은 값이다. 뿐만 아니라 잔자갈의 공극비는 0.44로 Netring의 0.88과 입체철망의 0.94에 비해 월등히 적으며 여상폐색의 우려가 있다. 결론적으로 말해서 잔자갈은 Netring이나 입체철망과 같은 합성수지 Media에 비하여 BOD_5 제거율면에서나 여상의 안전운전면에서 한계단 아래에 있다고 볼 수 있다.

그림 3에서 전반적으로 BOD 제거율은 Netring이 가장크고, 그 다음이 입체철망, 잔자갈의 순서이다. 이것은 표 3에 표시된 Biomass의 농도의 순서와 동일하다. 즉 같은 BOD 용적부하라도 Biomass농도가 높은 Media의 침지여상에서의 BOD 제거율이 높으며 이 결과는 이론적으로 보아 합당한 것이다.

그림 4에 BOD_5 용적부하와 여상내 Biomass와의 관계를 나타냈다.

그림에서 Netring이나 입체철망과 같이 공극비가

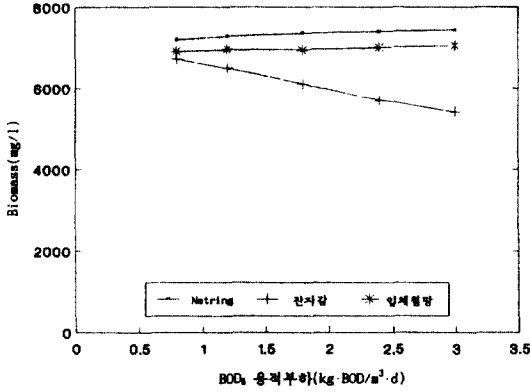


그림 4. BOD 용적부하 변화에 따른 Biomass.

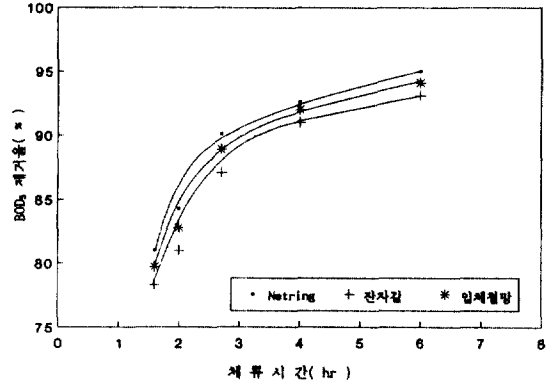


그림 5. HRT 변화에 따른 BOD₅ 제거율.

큰 plastic여재의 여상에서는 BOD 용적부하가 증가하면 여상내 Biomass 농도도 증가하나, 잔자갈의 여상에서는 BOD 용적부하가 커지면 여상내 Biomass 농도도 감소한다. 이것은 BOD 용적부하의 증가는 동시에 水理學的 부하의 증가를 초래하는데, 공극비가 작은 잔자갈여상의 경우에는 여상내에 생성된 슬러지가 水理學的 부하의 증가와 더불어 더 많이 濾床밖으로 유출되기 때문이며, 결과적으로 BOD 제거율도 감소한다.

4.2 수리학적 체류시간변화에 따른 처리효율

水理學的 체류시간(T)는 침지여상의 유효용적(Media를 충전한 용적) V를 부하유량 Q로 나눈 값이다.

$$T = V/Q \quad (3)$$

침지여상법을 이용한 매디아의 종류와 수리학적 체류시간에 따른 BOD₅ 제거율은 그림 5와 같이 나타났다.

그림 5에서 보면 BOD₅ 제거율이 90%가 되는 체류시간은 Netring이나 입체철망의 경우는 약 3.0 hr이고 잔자갈의 경우에는 약 3.5 hr이다. 그리고 유기물의 제거는 많은 미생물이 침지여상내에 있을 때 더욱 빨리 진행된다.

다음에 그림 5의 전반적인 형상을 살펴보면 이것은 그림 3과 매우 대조적이다. 즉 그림 3과 그림 5는 BOD₅ 제거율의 최고점을 지나는 縱軸에 대하여 거의 대칭이다. 이것은 실험에 있어 試料水의 BOD₅ 농도를 일정하게 하였고, 따라서 式 (1)에서 보듯이

BOD₅ 부하량이 유량 Q에 비례하고, 또 수리학적 체류시간 T는 式 (3)에 보듯이 침지여상의 유효용적 V가 일정한 경우 유량 Q에 반비례함에 기인하는 것이다. 일반적으로 유입패수의 BOD 농도가 일정할 경우에는 수리학적 체류시간(T)는 유입패수의 유량 Q에 반비례하며, BOD 제거율은 T가 커질수록 증가하는 함수관계가 성립한다.

한편 Media 종류에 따라 BOD₅ 제거율이 그림 4와 같은 경향을 나타내는 이유는, 그림 3에 대하여 고찰한 내용과 동일한 Biomass의 구성(生物膜과 현탁 생물 floc, Media의 比較적과 공극율의 관계)으로 설명된다.

4.3 순환비변화에 따른 수처리특성

처리수를 순환하는 이유는 반응조내에 산소공급 및 기질의 전달을 원활히 하여 처리율을 향상시키기 위한 것이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 水理學的 체류시간을 약 3.5시간이 되도록 한 뒤 순환비는 10, 20, 30, 40, 50으로 변화시키면서 실험을 수행하였으며 이때 유입수의 평균 BOD₅는 200.8 mg/l이고 유량 Q는 $3.68 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ 이며 BOD 용적부하는 1.8 Kg·BOD/m³·d이었다. 이 실험을 수행한 결과는 표 4에 표시된 바와 같다.

표 4의 내용을 근거로 순환비와 BOD₅ 제거율의 관계를 도시하면 그림 6과 같다. 이 그림에서 다음과 같은 사실들을 알 수 있다.

1. 일반적으로 동일 BOD 용적부하율일 경우, 순환비가 증가할수록 BOD₅ 제거율도 증가한다. 이것은 순환비의 증가와 더불어 산소공급, 패수와 생

표 4. 순환비 변화에 따른 수처리 결과

순환비	유입수 BOD ₅	유출수의 BOD ₅ 농도(mg/l)와 제거율(%)						유출수와 침전오니의 SS(mg/l)와 Re _N								
		Netring		잔자갈		입체철망		Netring			잔자갈			입체철망		
		농도	제거율	농도	제거율	농도	제거율	유출수 SS	침전 오니 SS	Re _N	유출수 SS	침전 오니 SS	Re _N	유출수 SS	침전 오니 SS	Re _N
10	198	35	82.3	40	79.8	37	81.3	0.3	50.7	4.22	0.7	30.0	1.71	0.5	52.4	11.10
20	202	20	90.1	26	87.1	22	89.1	0.6	64.2	8.05	0.8	38.1	3.26	0.7	66.8	21.20
30	203	16	92.1	22	89.2	19	90.6	0.8	67.8	11.88	1.3	40.4	4.81	1.0	68.9	31.29
40	201	14	93.0	21	89.6	19	90.6	2.0	68.6	15.72	3.4	40.4	6.36	2.8	69.8	41.38
50	200	14	93.0	21	89.0	19	90.6	4.0	68.6	19.55	7.3	40.4	7.92	4.8	69.8	51.48

물슬러지와와의 접촉촉진 및 여재표면에 형성되는 막 두께의 변화 등에 기인한 것이라고 생각할 수 있다. 순환비증가에 따른 BOD₅ 제거율의 증가는 순환비 20 이상에서는 상당히 작아진다.

2. 전반적으로 순환비증가에 따른 BOD₅ 제거율은, Netring이 제일 우수하고 다음이 입체철망의 plastic여재이며 잔자갈이 최하이다. 이것은 주로 비표면적과 공극비가 각각 다른 여재의 특성 때문이며 그 원리는 그림 3에 대하여 고찰한 내용과 동일하다. 입체철망의 plastic여재이며 잔자갈이 최하이다. 이것은 주로 비표면적과 공극비가 각각 다른 여재의 특성 때문이며 그 원리는 그림 3에 대하여 고찰한 내용과 동일하다.

3. BOD₅ 부하율이 1.8 Kg·BOD/m³·d인 경우, BOD₅ 제거율 90% 이상을 얻기위한 순환비는 Netring인 경우 약 20, 입체철망의 경우 약 30이며, 잔자갈의 경우에는 BOD 제거율 90% 이상을 얻을 수 없다. 또 표 4에서 보는 바와 같이 순환비가 증가하면 Re_N가 증가하는데 Re_N와 침전슬러지 및 유출슬러지의 관계를 도시하면 그림 7과 같다. 표 4에 기입된 Re_N(Reynolds number)는 다음과 같이 식 4-5를 유도하여 계산한 것이다.

Media가 충전된 침지여상을 (1+r) Q의 유량이 통과할 때의 實流速 v(m/s)는 침지여상의 횡단면 공극율을 ε_{xy}라 하고, 횡단면적을 A(m²)라면 다음 식으로 표시된다.

$$v = \frac{(1+r) Q}{A \cdot \epsilon_{xy}} \quad (4.1)$$

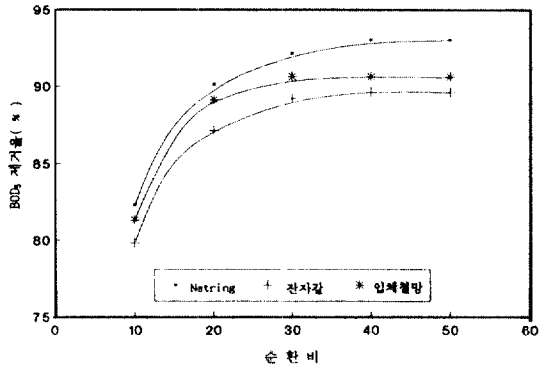


그림 6. 순환비 변화에 따른 BOD₅ 제거율.

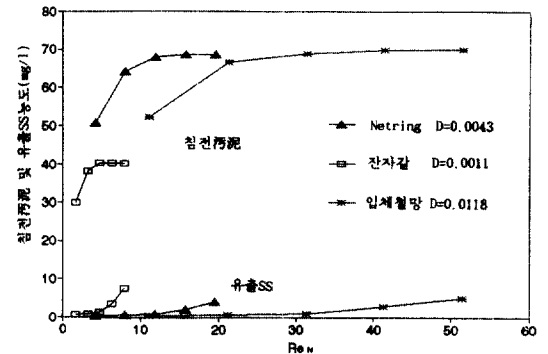


그림 7. Re_N 변화에 따른 유출수와 침전 슬러지의 농도.

위 식에서 Q는 (m³/s), A는 (m²), v는 (m/s)의 단위를 갖는다.

Media가 충전된 침지여상의 공극비 (ε)는 x, y,

z방향의 공극 成分化를 각각 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 로 표현하면, 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\epsilon = (\epsilon_x)(\epsilon_y)(\epsilon_z) \quad (4.2)$$

Netring이나 잔자갈과 입체 철망의 Media를 침지여상에 충전했을 때의 공극분포를 等方性이라고 가정하면, ϵ_{xy} 는 다음과 같이 표시된다.

$$\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z = (\epsilon)^{1/3}, \therefore \epsilon_{xy} = (\epsilon_x)(\epsilon_y) = (\epsilon)^{2/3} \quad (4.3)$$

따라서 침지여상에 $(1+r)Q$ 의 유량이 흘릴 때의 Reynolds number(Re_N)는 다음 식으로 표시된다.

$$Re_N = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{v \cdot (\epsilon/a)}{\nu} \quad (4.4)$$

윗 식에서 ν 는 유입수의 동점성계수(m^2/s), v 는 침지여상내의 실유속(m/s), D 는 水理徑深으로 각 Media의 공극비(ϵ)를 비표면적(a)으로 나눈 값이다. (4.4) 식에 (4.1) 및 (4.3) 식을 대입하면 다음식을 얻는다.

$$Re_N = \frac{(1+r)Q \cdot (\epsilon/a)}{\nu \cdot A \cdot (\epsilon)^{2/3}} = \frac{(1+r)Q \cdot \epsilon^{1/3}}{\nu \cdot A \cdot a} \quad (4.5)$$

표 1에서 Netring과 잔자갈 및 입체철망의 공극비와 비표면적 값들을 취하고, $A = 4.42 \times 10^{-3} m^2$, $Q = 3.68 \times 10^{-7} m^3/s$, ν 는 실험시의 水溫 $20^\circ C$ 에 대한 값 $1.01 \times 10^{-6} m^2/s$ 를 취하고 r 는 각각 10, 20, 30, 40, 50을 취하여 (4.5) 식에 대입하여 계산한 값을 표 4에 기입하였다. 표 4에서 침전오니의 SS(mg/l)는 탈리된 오니량을 합성하수 유량으로 나눈값을 나타낸다.

그림에서 전반적으로 Re_N 의 증가와 더불어 유출수의 SS와 침전슬러지량이 증가한다. 이것은 Re_N 의 증가와 더불어 여재표면에 부착한 生物膜에 대한 剪斷力이 증가하기 때문이며, 전단된 슬러지는 일부 여재공극중에서 부유하고 일부는 沈降하여 여상하부의 슬러지 hopper에 저류되며, 나머지는 여상을上昇 유출한다.

순환비 10~50의 범위에서 $Re_N < 52$ 이므로, 여상내 上昇流는 層流라고 볼수 있다. 또 그림에서 다음과 같은 사실들을 알 수 있다.

1. 각 Media여상은 Re_N 가 커질수록 침전오니와 유출 SS가 증가하나, 각기 일정한 Re_N 值에 도달하면

침전오니량은 거의 일정해진다. 즉 침전오니량이 각기 일정해지는 限界 Re'_N (Re'_N)가 존재한다. 동시에 그 Re'_N 전에서는 유출 SS가 $5 mg/l$ 보다 작으나 Re'_N 후에는 크게 증가한다. 이것을 종합하여 고찰하면 각 media에 부착한 生物膜은 Re_N 가 증가할수록 탈리량이 많아지는데, 限界 Re'_N 치(Re'_N)에 도달하면 여상내에서 침강하여 Sludge hopper에 침전하는 오니량은 거의 일정해지고 그 이상의 탈리 오니는 유출수 SS로서 유출하며 그량이 커진다. 그러므로 유출수의 양호한 수질을 유지하기 위하여 Re_N 를 Re'_N 이하로 운전함이 바람직하다. 입체철망, Netring, 잔자갈에 대한 Re'_N 치는 각각 25, 15, 5 정도이다.

2. 水理徑深 D 가 작은 media일 수록 Re'_N 가 작고 그 여상내 침강 汚泥량은 D 가 보다 큰 다른 media여상에 비하여 작고 유출수 SS는 크다. 이 경향은 Plastic media 여상과 잔자갈 여상을 비교할 때 특히 뚜렷이 나타난다.

3. 따라서 水量 부하가 크거나 水量變動이 큰 폐수의 처리에 있어서의 水理徑深 D 가 큰 media를 사용함이 유리하다.

5. 결 론

Netring(random 충전), 입체철망(규칙적 module)의 plastic 濾材와 잔자갈을 충전한 浸漬여상에 일정농도의 合成下水를 부하하여 水溫: $20^\circ C$, pH: 7.3의 조건하에서 간접포기 순환방식으로 처리하는 실험을 실시하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 용적부하가 증가함에 따라 BOD_5 제거율이 감소하며, BOD_5 제거율 90% 이상을 얻기 위해서는 Netring이나 입체철망의 plastic 여재의 경우 BOD_5 용적부하를 $1.6 Kg \cdot BOD_5 / m^3 \cdot d$ 이하로 해야 한다.

침지여상법의 반응조 용적은 활성슬러지법에 비하여 훨씬 작아진다.

2. 동일 BOD_5 용적부하에 대한 BOD_5 제거율의 크기는 Netring, 입체철망, 잔자갈의 순서이다. 이것은 각 여재의 특성(공극비, 비표면적, 형상등)에 따라 여상내의 生物 슬러지농도가 Netring, 입체철망, 잔자갈의 순서로 크기 때문이다.

3. 동일 BOD_5 용적부하인 경우, 순환비가 증가하면 BOD_5 제거율도 증가하는데 그 제거율 증가는

순환비 약 20 이상에서는 작아진다. BOD₅ 부하율이 1.8 Kg·BOD/m³·d인 경우 BOD 제거율 90%를 얻기 위한 순환비는 Netring의 경우 약 20, 입체철망의 경우 약 30이다.

4. 순환비가 증가하면 Re_N도 증가하는데, 각 media의 침지여상은 Re_N가 커질수록 침전오니와 유출 SS가 증가하나, 각기 일정한 Re_N值에 도달하면 침전오니량은 거의 일병해지고, 유출 SS는 크게 증가한다. 순환비 10~50의 범위에 Re_N<52이며 여상내上昇流는 층류이다.

5. 본 침지여상 system에서는 유출수 SS 허용기준이 10 mg/l 이하일 때, SS 제거를 위한 침전지가 별도로 필요치 않으며, 작은 용량의 슬러지 hopper를 여상 밑에 설치하면 족하다.

참고문헌

1. 양상현, 원찬희, "잔자갈을 충전한 간접포기방식 침

지여상에 의한 合成下水처리", 대한토목학회 논문집, 제 8권 제 3호, 1988.

2. 양상현, 백종탁 등, "粒狀메디아를 충전한 침지여상법의 反應器特性에 관한 연구". 도시 및 환경연구, 전북대학교, 제 4집, 1990.
3. 양상현, 오희완, "잔자갈 浸漬濾床法에 의한 酒精廢水의 처리 공학연구, 전북대학교, 제 23집, 1992.
4. 高性能 플라스틱 製充てん材, ネットリク 規格表", 大日本 プラスチックス 株式會社.
5. Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, Reuse", 2nd Ed. p. 484. McGraw-Hill (1979).
6. ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 76, "Design of Municipal Wastewater Treatment plants, Volume 1: p. 637 (1992).
7. APHA, AWWA & WPCF, Std. Method for the Examination of Water and Wastewater, 14th Ed. Washington D. C., pp. 443-447, 1976.

(接受 : 1994. 1. 10)