

## 생물막공법에 의한 고농도 유기폐수 처리시 생물막 과부착 제어

임재명·권재혁\*·한동준\*\*

강원대학교 공과대학 환경공학과

\*삼척산업대학교 환경공학과

\*\*강원대학교 공과대학 토목공학과

## Control of Excessive Biofilm for the Treatment of High Strength Organic Wastewater by Biofilm Process

Jay-Myoung Rim, Jae-Hyok Kwon\*, Dong-Joon Han\*\*

*Department of Environ. Eng. Kangwon National University*

*\*Department of Environ. Eng. Samchok National University*

*\*\*Department of Civil. Eng. Kangwon National University*

### Abstract

This study was performed for minimization of excessive biofilm effects at the high strength organic wastewater treatment. As a results of biofilm attachment experiment using piggery wastewater, aggravation of water quality due to excessive biofilm showed after 15 days of operating times. A excessive biofilm phase, the equivalent biofilm thickness and VSS contents per unit aera were observed in the range of 1,100 to 1,200 $\mu$ m and 2.5 to 3.0mg VSS/cm<sup>2</sup>, respectively.

In the aerobic fixed biofilm reactor/anoxic fixed biofilm reactor( AFBR/ANFBR) process with endogenous respiration phase, the BOD removal efficiency was obtained more than 90 percentage at the surface loading rate and volumetric loading rate of the AFBR maintained less than 17 g BOD/m<sup>2</sup>·day and 1.7kg BOD/m<sup>3</sup>·day, respectively. The removal efficiency of TKN and NH<sub>3</sub>-N at the loading rates below 5.60 g NH<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup>·day and 0.56kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day were above 76 percentage and 82 percentage, respectively.

In order to reduced sludge production rate and aggravation of water quality, endogenous respiration phase was accepted at first AFBR reactor. As a results of this operating condition, sludge production was minimized and removal efficiency was maintained stability.

## I. 서 론

생물학적 처리공정의 대표적 공법인 활성슬러지공법은 1917년 Andern과 Lockett에 의하여 개발되어 도시하수를 중심으로 과거 80여년간 많은 연구가들에 의하여 연구가 수행되어 왔으며, 실제 다양한 규모의 처리시설에 적용되어 수질오염 방지에 많은 기여를 하였다. 또한 도시하수외에 축산폐수와 같은 고농도 유기폐수와 일부 전처리과정을 동반한 산업폐수까지도 적용되고 있다. 그러나 활성슬러지와 같은 부유증식(suspended growth)공정들은 운전 및 운영상에 있어 슬러지반송, 팽화(bulking), 과도한 슬러지발생, 그리고 제한된 부하조건 등의 몇가지 문제점을 내포하고 있다. 따라서 최근에는 운전의 어려움을 해결하고, 반응조내의 미생물 확보에 유리함 등의 많은 장점을 지닌 생물막공정(biological film process)<sup>1)</sup>에 대한 관심이 고조되고 있다.

생물막공정은 1865년 Alexander Muller에 의한 연구를 시작으로 하여 부유성장공정인 활성슬러지공법보다 더 오랜 역사를 지녔음에도 불구하고 1970년대 후반에 이르러 연구가 활성화 되기 시작하였는데, 최근에는 공정의 개발과 더불어 새로운 여재(media)의 개발로 고농도 폐수의 적용과 다양한 미생물을 확보할 수 있게 되었다. 그러나 모든 생물막공정들은 고농도의 유기폐수를 적용하여 처리할 경우 시간이 경과함에 따라 미생물의 과다 증식으로 인하여 생물막이 탈리되고 처리수의 수

질이 악화되며, 여재의 특성에 따라 공극이 폐쇄되어 처리효율 감소등의 문제를 유발하게 된다. 그러므로 공정개발과 더불어 생물막공정의 단점을 보완하기 위한 운전시스템의 개발도 중요한 연구과제로 대두되었다.

본 연구는 고농도 유기폐수인 돈사폐수를 이용하여 생물막공정 적용시 발생하는 생물막의 과부착을 제어하기 위한 인위적 자산화단계(endogenous respiration phase)를 도입하여 실험실 규모 반응조에서의 처리도 및 설계를 위한 기초자료 도출에 중점을 두었다.

## II. 실 험

본 연구의 실험은 생물막의 부착특성과 관계하여 처리수질 및 인위적 자산화에 의한 슬러지 감소 등을 평가하였고, 이를 토대로 인위적 자산화 단계가 도입된 호기성 고정생물막/준혐기성 고정생물막 반응조(aerobic fixed biofilm reactor/anoxic fixed biofilm reactor; 이하 AFBR/ANFBR) 공정 실험이 수행되었다.

### 1. 실험장치

생물막 실험에 이용된 반응조는 부착실험과 탈리실험의 목적으로 10ℓ 용량의 5mm plexiglass를 사용하여 2개조를 제작하였고, Fig. 1에 나타낸 바와같이 침적형 생물막 포기조와 침전조로 구성되어 있으며, 일정 수온을 유지하기 위하여 항온시설을 갖추었다. 또한 침전

조는 유량에 따라 HRT를 2시간으로 유지할 수 있도록 하였다. 반응조의 운전은 20°C의 항온상태에서 실시되었고, 운전기간중의 DO농도는 2~3mg/l로 유지되었다. 반응조 내부는 4.4cm×6.6cm×2cm의 망상형여재를 운전기간 중 부착 및 탈리 미생물량 측정이 가능하도록 각 반응조에 45개씩, 총 90개를 채웠다. 시료는 정량펌프를 이용하여 부하의 변화를 주어 주입하였고 유입수의 온도와 농도의 변화를 최소화하기 위하여 항온시설과 교반장치를 동반한 균등조를 설치하였다.

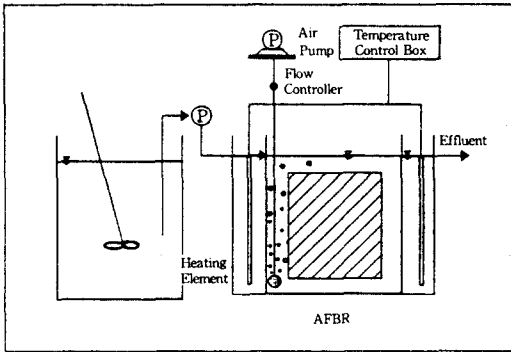


Fig. 1. Schematic diagram of aerobic fixed biofilm reactor(AFBR) for attachment and endogenous respiration experiment.

인위적 자산화를 도입한 AFBR/ANFBR의 배치는 Fig. 2에 제시된 바와같이 유기물 제거와 질산화를 위한 호기성 고정생물막(AFBR)과 직렬로 탈질공정을 위한 준혐기성 고정생물막(ANFBR), 탈질 gas로 인한 침전효율 저감 및 미처리 유기물의 산화를 위한 호기성 고정생물막(AFBR), 그리고 침전조로 이루어졌다. 반응조의 용량은 초기 AFBR조의 경우 인위적 자산화단계를 두게 되므로 10 l 용량이 2조로서 20 l의 용량을 가지고 있으나, 항시 운전되는 반응조의 용량은 10 l 이

고, 준혐기성 생물막조와 최종 호기성 고정층 생물막 반응조는 5 l 용량으로 제작되었다. 내부의 여재는 초기 접촉조에 20×22×2cm 크기의 Sun Lock여재 3매가 연직방향으로 3cm 간격으로 설치되었고 여재의 부착면적은 1,056m<sup>2</sup>이며, ANFBR과 최종 AFBR은 동일 규격의 여재를 각각 2판을 설치하여 각 반응조의 부착면적이 0.704m<sup>2</sup>이다. 호기성 반응조는 산기식 포기기(aerator)를 이용하여 운전기간중 DO농도를 2~3mg/l로 유지하였다. 준혐기성조는 공기를 차단하기 위하여 덮개로 밀봉하였고, 반응조 내부의 DO농도는 0.2mg/l 이하를 유지할 수 있었다. 최종 침전조는 체류시간을 2시간으로 유량에 따라 조절할 수 있도록 제작하였다.

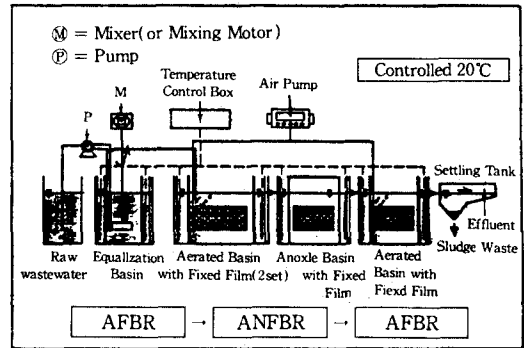


Fig. 2. Schematic diagram of AFBR/ANFBR process.

2. 실험방법

생물막 부착 및 탈리 실험의 시운전은 초기 glucose와 돈사폐수를 희석 혼합하여 batch형으로 운전하였고 옅은 생물막 형성이 육안으로 관찰된 후 돈사폐수만을 연속적으로 주입하였다. 부하의 변화는 낮은 부하에서 높은 부하로 3개의 부하에서 수행되었는데, 각각의 운전조건은 다음 Table 1과 같다. 자료의

Table 1. Operation condition of attachment and endogenous respiration experiment.

	RUN 1	RUN 2	RUN 3
Temp.(°C)	20	20	20
pH	7.8~8.9	7.8~8.9	7.8~8.9
DO(mg/ℓ)	2~3	2~3	2~3
Media surface area (m <sup>2</sup> )	1,056	1,056	1,056
HRT(days)	2.0	1.0	0.5
Loading rate (g COD/m <sup>2</sup> ·day)	14.1~21.6 (6.77~8.29)	25.2~38.0 (12.4~16.2)	38.6~57.0 (18.6~24.8)

( )은 BOD loading rate

분석은 정확도를 위하여 미생물이 부착된 후 인위적 자산화를 통한 부착생물막의 탈리반응을 2회 실시된 이후에 수행되었다. 여재에 부착된 생물막의 두께는 micrometer를 이용하여

여 측정하는 방법과 물의 밀도, 생물막의 비중, 여재의 표면적과 미생물막의 습윤중량을 이용하여 측정하는 방법이 있는데, 본 실험에서는 후자의 방법으로 분석하였다.

AFBR/ANFBR공정은 유입부하량의 변화에 따라 AA1에 AA5로 구분하였고, 운전조건은 Table 2와 같다. 인위적 자산화단계와 처리단계는 15일 간격으로 1개 반응조씩 교대로 운전하였는데, 자산화단계로서의 전환은 주입시료를 차단하고 포기만을 수행하였고 증발로 인한 수위 감소시 유출수 일부를 보충하였다. 반응조의 운전은 20°C 이상의 수온에서는 온도조절을 하지 않았으며, 온도가 20°C 이하로 낮아지는 계절에는 20°C 이상을 유지하도록 가온을 실시하였다.

Table 2. Operation conditions of AFBR/ANFBR process.

Conditions	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5
HRT (days)	2.0	1.0	0.67	0.5	0.4
Surface Loading Rate (g BOD/m <sup>2</sup> ·day)	7.12	14.7	21.9	28.6	35.6
Volumetric Loading Rate (kg BOD/m <sup>3</sup> ·day)	0.75	1.56	2.31	3.02	3.76

본 연구에 사용한 media는 Sun Lock<sup>(TM)</sup> 여재로서 두께 2cm에 비표면적이 400m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>이고, 구성형태는 망상(網狀: Lock, Luffa)형으로 기타 플라스틱 여재에 비하여 비표면적과 공극율이 크고, 생화학적으로 안정하며 가벼운 특징이 있다.

### 3. 시료의 성상 및 분석

본 실험에서는 고농도 유기폐수로 돈사폐수를 이용하였는데, 일반적으로 돈사폐수는 축사

의 형태에 따라 성상이 상이한 것으로 알려져 있다. 본 실험의 돈사폐수는 400두 규모의 시멘트형 돈사 배출수로서, 분(糞)성분은 인력으로 수거되며 유출되는 폐수는 주로 뇨(尿) 성분과 청소수 및 잔류식수로 구성된 것이다. 연구기간 중 AFBR/ANFBR공정에 사용한 시료는 돈사의 유출부에 위치한 침전 저류조로부터 채취된 것으로 폐수의 성상은 Table 3에 제시한 바와 같다.

Table 3. Characteristics of piggery wastewater  
(unit: mg/ℓ)

Constituents	Range	Average
pH	7.8~8.9	8.2
TBOD <sub>5</sub>	1,190~1,850	1,640
SBOD <sub>5</sub>	830~1,360	1,080
TCOD <sub>cr</sub>	2,940~3,800	3,200
SCOD <sub>cr</sub>	1,660~2,600	2,460
TBOD <sub>20</sub>	1,760~2,810	2,540
SBOD <sub>20</sub>	1,180~1,960	1,820
SS	345~542	464
VSS	218~455	384
TKN	486~754	540
NH <sub>3</sub> -N	384~586	430
NO <sub>2</sub> -N	—	—
NO <sub>3</sub> -N	—	—
T-P	29~52	43
Alkalinity(asCaCO <sub>3</sub> )	2,850~3,600	3,250

시료분석은 Standard Methods<sup>2)</sup>에 준하여 측정하였으며, BOD실험은 질산화에 의한 산소의 소모량을 없애기 위하여 제품화된 질산화방지제(nitrification inhibitor formula 2533: HACH Company)를 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 생물막의 부착특성

생물막의 부착특성 및 과부착에 의한 생물막의 변화를 고찰하기 위하여 생물막의 두께, 여재 표면적당 VSS함량 그리고 처리수질 등이 분석되었다.

Fig. 3은 운전시간에 따른 생물막의 두께변화를 제시한 것으로 운전초기에는 부하량에 관계없이 생물막의 두께 증가는 완만하게 이루어지나 운전 4일후 부터는 부하량이 큰 RUN 3의 두께 증가가 뚜렷하게 빨리 이루어

졌고 1,200 $\mu$ m 두께의 막형성 이후부터 다시 완만한 증가를 하는 것으로 나타났다. 200 $\mu$ m 이상의 막 두께를 형성하는데 RUN 3은 약 4일이 소요되었으며 RUN 1과 RUN 2는 약 6일이 소요되는 것으로 나타났고, 1,200 $\mu$ m의 두께에 이르는 시간은 약 15일이 소요되었다.

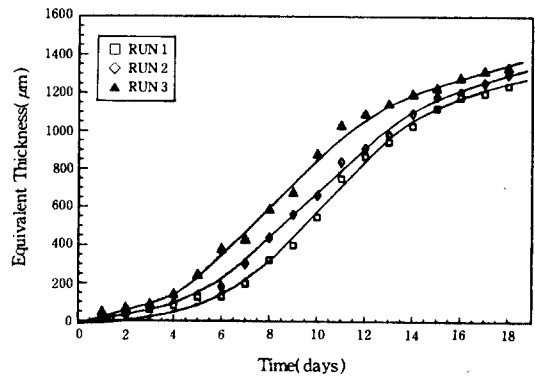


Fig. 3. Variations of biofilm thickness according to operating time.

Fig. 4는 생물막의 두께 증가에 따른 여재 표면적당 VSS함량을 나타낸 것으로 RUN 1과 RUN 2는 200 $\mu$ m 두께의 생물막에 이르는 동안 급격한 증가를 보였고 200 $\mu$ m 이상의 생물막에서는 부하에 따라 다소 차이는 있으나 일정한 VSS량을 유지하였으며, 또한 1,000~1,100 $\mu$ m 이상에서는 VSS함량이 감소하는 것으로 나타났다. RUN 3은 500 $\mu$ m 두께까지 VSS함량이 증가하나 약 1,100 $\mu$ m 이상의 두께에서는 급격하게 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 1,000~1,100 $\mu$ m 이상에서의 VSS함량의 감소는 망상형 여재의 외부를 덮은 생물막이 너무 두꺼워 산소 전달능력의 감소로 인하여 호기성 미생물의 상대적으로 작아진 것을 의미한다. 또한 일정량의 두께이상에서의 생물막의 운전은 미생물의 활성도가 증진되지 않

으며, 오히려 내부층으로의 기질의 이동이 미약하여 기질의 제한이 일어나며, 이로 인한 내호흡이 촉진되어 생물막의 탈리현상이 초래될 수 있다고 판단된다.

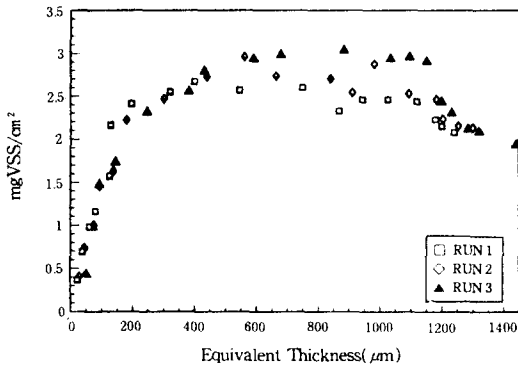


Fig. 4. Variation of VSS contents per unit area according to biofilm thickness

Fig. 5는 생물막의 증가에 따르는 COD제거율(농도×유량/시간)을 나타낸 것으로 막의 두께가 200 $\mu\text{m}$ 까지는 COD제거율이 급격한 증가를 하여 최대의 제거율을 나타내고 200 $\mu\text{m}$  이상에서는 막두께가 증가함에 따라 일정한 제거율을 유지하였다. 또한 1,100~1,200 $\mu\text{m}$  이상에서는 제거율이 감소하는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 외부여재의 막두께 증가로 인한 내부여재에서의 VSS함량의 감소에 기인한 것으로 판단된다. 생물막 두께 증가에 따른 기질의 제거 연구인 Huang등<sup>3)</sup>의 연구 결과에서는 1,500 $\mu\text{m}$ 의 생물막 두께에 도달할 때까지도 계속 기질의 제거율이 증가한다고 하였는데, 이 결과는 반응조 내의 DO농도를 16mg/l 까지 상승시켜 과다한 DO하에서 이루어진 것이고 DO농도가 3~5mg/l 의 조건하에서는 본 연구 결과와 일치한 약 1,000 $\mu\text{m}$ 까지 막의 두께 증가와 더불어 일정한 기질 제거율

을 나타낸다고 하였다.

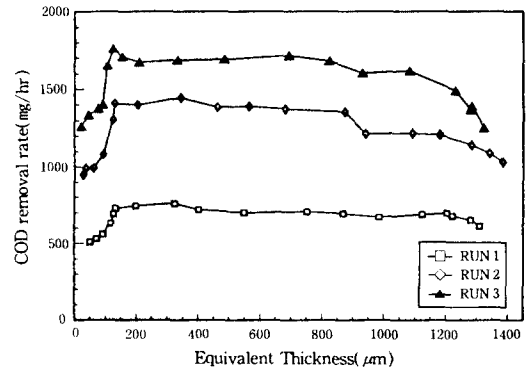


Fig. 5. COD removal rate according as thickness increased

Fig. 3의 두께 증가 변화곡선에서 부하에 관계없이 부하 결과일 수 약 15일경인 두께 1,100 $\mu\text{m}$ 에서 완만한 증가추세를 보여주고 있으며, Fig. 4와 Fig. 5에서 VSS함량과 COD 제거율은 생물막의 두께 약 1,100~1,200 $\mu\text{m}$ 에서 감소 추세를 보였는데, 이때의 경과일수는 Fig. 3과 비교하여 볼 때 약 15일 부근임을 알 수 있다. 일반적으로 부하의 변화에 따라 생물막의 부착일수와 과부하 정도는 차이가 있을 것으로 판단되나, 본 실험이 수행된 부하범위내에서는 큰차이를 찾아 볼 수 없었다. 이는 부하의 범위가 작은 이유도 있겠지만, 인위적 자산화를 수행한 후에 고찰되었으므로 미생물의 활성도가 부하의 변화에 잘 적응된 것으로 판단된다.

따라서 본 실험의 결과 생물막의 과부하과 처리수질의 악화는 약 15일경 부터였으며, 이때의 과부하 생물막의 두께는 약 1,100 $\mu\text{m}$  이상이었다.

## 2. AFBR/ANFBR공정의 기질제거

### 2.1 유기물제거

생물막 과부하로 인한 수질의 불안정함을 해결하기 위하여 인위적 자산화단계를 동반한 AFBR/ANFBR공정의 운전조건 변화와 운전 경과일수에 따른 결과는 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 유입수의 BOD농도는 1,190~1,850mg/l로 변화폭이 컸으나 유출수의 BOD농도는 부하에 따라 다소 차이는 있지만 동일 부하내에서는 안정되게 유지되었다. 유입부하량이 7.12 g BOD/m<sup>2</sup>·day로 운전된 AA1 반응조에서 유출수의 BOD농도는 65~82mg/l의 범위로 평균 71mg/l 이고, 유입유량이 25 l/day이고 유입부하량이 35.6 g BOD/m<sup>2</sup>·day로 운전된 AA5 반응조의 최종 유출수의 BOD농도는 360~470mg/l 이고 평균 413mg/l 를 보였다. 최종 유출수의 COD의 평균농도는 유입유량의 변화에 따라 196~976mg/l 의 범위로 나타났다.

유입수의 유기물농도가 불안정함에도 불구하고 유출수중의 유기물농도가 비교적 안정하게 나타난 것은 생물막 공정의 장점으로 충격 부하에 대하여 적응력이 강한 이유와 인위적 자산화를 도입하므로써 미생물의 활성도가 왕성한 것에 기인된다. 그러나 유입부하량이 가장 큰 AA5 반응조의 유출수 농도는 타 반응조에 비하여 불안정한 것으로 나타났는데 이러한 결과는 유입부하량이 과다하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 생물막공법에서 운전 에 중요한 제한요소는 생물막의 안정성과 함께 유입 유기물의 부하량인 것으로 사려된다. 또한 인위적인 자산화단계를 두고 운전한 결과 침적형 생물막공정의 특징인 운전기간 후 반부의 수질이 악화되는 현상은 나타나지 않았고, 부하량의 증가를 위하여 유입유량을 증

가시켰을 때 초기 적응기간 동안 유출수의 수질이 불안정함을 나타내었다.

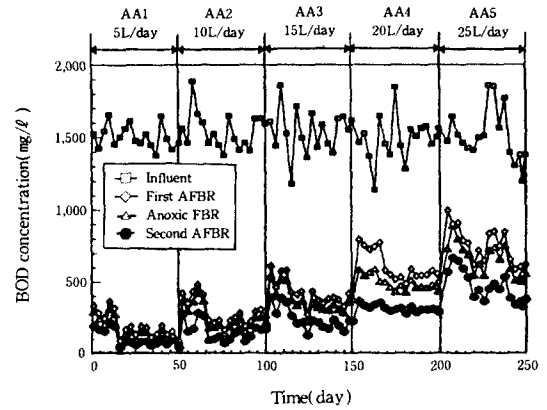


Fig. 6. Chronological BOD concentration in AFBR/ANFBR

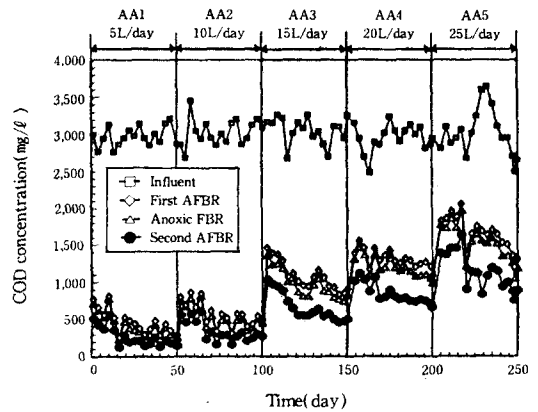


Fig. 7. Chronological COD concentration in AFBR/ANFBR

Fig. 8은 유입부하량 변화에 따른 각 반응조별 유출수의 BOD농도와 공정 전체의 제거율을 나타낸 것으로 유입부하량이 증가함에 따라 유출수의 BOD농도가 증가하는 것으로 나타났는데, 7.12 g BOD/m<sup>2</sup>·day(0.75kgBOD/m<sup>3</sup>·day)의 유입부하량으로 운전될 경우 최종 유출수의 BOD농도는 평균 71mg/l로서 제거효율은 95%를 상회하는 것으로 나타났

다. 유입부하량이 가장 큰  $35.6 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{day}$  ( $3.76 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$ )로 운전하였을 때 최종 유출수의 평균 BOD농도는  $413 \text{ mg/l}$  이고 그 때의 제거효율은 80% 이하인 것으로 나타났다. 유입부하량의 변화에 따른 유출수의 중의 유기물 제거효율을 보면 90% 이상의 BOD 제거효율을 기대하기 위해서는 유입부하량이  $17 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{day}$  ( $1.7 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$ ) 이하를 유지해야 하는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 부유증식공정인 활성슬러지 공정을 이용하여 돈사폐수를 처리한 연구결과<sup>4)</sup>와 비교할 때 3배이상 큰 부하량인 것으로 분석되었다.

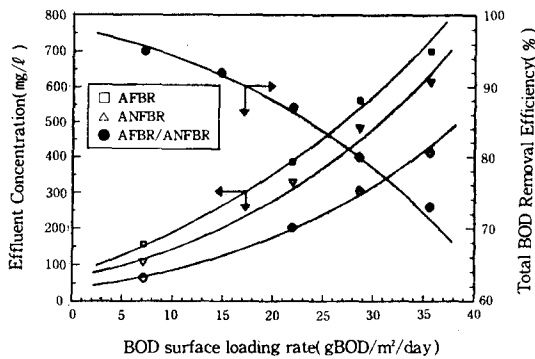


Fig. 8. Effluent BOD concentration in AFBR/ANFBR.

## 2.2 질소제거

AFBR/ANFBR 공정에서의 질소제거는 첫 번째 AFBR반응조에서 TKN과  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 유출농도는 부하량  $2.04 \text{ g NH}_3\text{-N/m}^2 \cdot \text{day}$ 에서 각각 234와  $168 \text{ mg/l}$ 이며, 유입부하량이 가장 큰  $10.2 \text{ g NH}_3\text{-N/m}^2 \cdot \text{day}$ 에서 422와  $342 \text{ mg/l}$ 이다. 유출수의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 가장 낮은 부하로 운전된 AA1에서 평균  $62 \text{ mg/l}$ 로 나타났고 가장 높은 부하로 운전된 AA5에서는

$\text{NO}_3\text{-N}$ 은 유출되지 않았다. 이는 첫 번째 AFBR반응조의 유기물 부하가 높아 heterotrophs가 우점하였으며 상대적으로 질산화와 관련된 nitrophs의 성장이 제한된 것으로 판단된다. 또한 체류시간이 1일 미만인 AA3와 AA4에서  $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 유출된 것은 생물막에 존재하는 미생물의 다양성으로 인한 소량의 질산화로 판단된다. 마지막에 위치한 AFBR반응조는 부하량이 0.99에서  $11.2 \text{ g NH}_3\text{-N/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 변화되면서 운전되었는데 유출수 중의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 부하량의 증가에 따라 차이는 있지만 평균  $86 \sim 40 \text{ mg/l}$ 으로 나타났다. 또한 첫 번째 AFBR에서 질산화가 일어나지 않은 AA4와 AA5 부하에서 유기물의 제한으로 인하여 마지막 AFBR단계에서 질산화가 일어나는 것으로 나타났다. 탈질을 위한 ANFBR반응조에서는 유입되는  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도가 AA1반응조에서  $62 \text{ mg/l}$ 이고 AA2반응에서는  $48 \text{ mg/l}$ 이며, 유출  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 각각  $30 \text{ mg/l}$ 과  $19 \text{ mg/l}$ 로서 62%와 60%의 탈질효율을 보였다. ANFBR반응조에서의 alkalinity는 반응조에 따라 다소 차이는 있지만 약  $100 \text{ mg/l}$ 가 증가하는 것으로 나타났는데 탈질과정에서 1mole의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 제거됨에 따라 1mole의  $\text{HCO}_3^-$ 가 생성되기 때문이다. ANFBR로 유입되는  $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 약  $50 \text{ mg/l}$  이상인 AA1과 AA2에서  $1 \text{ mg/l}$ 의  $\text{NO}_3\text{-N}$  제거당 소모된 SBOD는  $1.67 \sim 2.8 \text{ mg/l}$ 이다. 탈질과정에서 필요한 에너지원은  $\text{NO}_3\text{-N}$  제거당 소모된 유기물의 양으로 정의되고  $\text{mg}$  용존유기물/ $\text{mg NO}_x\text{-N removed}$ 로 표시되며, 탈질과정에서 소모되는 유기물의 양은 연구자들에 따라 다소 차이가 있는데 Narkis등<sup>5)</sup>은 100%의 탈질을 위해서는  $1 \text{ mg/l}$ 의  $\text{NO}_x\text{-N}$



이 존재하면 2.3mg/l의 SBOD가 필요한 것으로 보고하였고, Rusten<sup>6)</sup>은 2.4mg/l로 발표하였다. 메탄올을 탄소원으로 주입한 Monteith<sup>7)</sup>의 연구결과에서는 5.41mgCOD/mg NO<sub>x</sub>-N removed라고 하였으며 탄소원소비는 세포합성과 DO의 존재량에 영향을 받고 과다한 탄소원 소비는 발생슬러지의 처리문제로 적절하지 못한 것으로 지적하였다. 본 연구에서의 탈질을 위한 탄소원은 내부 호기성조에서 미처리된 용존유기물과 호기성슬러지의 탄소원을 이용하였으므로 메탄올과 같이 생물학적 분해가 빠른 유기물(readily biological degradable COD)과 다소 차이가 있었다.

Fig. 9는 AFBR/ANFBR 공정에서의 질소 제거효율을 나타낸 것으로 공정 전체를 통하여 TKN과 NH<sub>3</sub>-N의 제거효율은 부하에 따라 각각 62~86.7%와 68.8~92.1%로 나타났고 NH<sub>3</sub>-N이 TKN에 비하여 제거효율이 높은 것으로 나타난 것은 돈사폐수의 pH의 영향으로 NH<sub>3</sub>-N 중 free ammonia 상태로의 존재량이 있어<sup>4)</sup> 포기로 인한 탈기(air stripping)로 다량의 질소가 제거되기 때문인 것으로 판단된다.

또한 AFBR/ANFBR 공정에서 NH<sub>3</sub>-N의 제거에 따른 소비된 alkalinity량은 1mg의 NH<sub>3</sub>-N을 산화시키는데 약 6mg/l (as CaCO<sub>3</sub>)의 alkalinity가 소비되는 것으로 나타났는데 다른 연구자료<sup>17,18)</sup>에서의 7.4 또는 8.2mg/l (as CaCO<sub>3</sub>)에 비하여 다소 적게 나타났다. 이러한 결과는 포기시 제거되는 free ammonia가 원인인 것으로 판단된다.

3. 과부착 생물막의 제어

Fig. 10은 과부착 조건에 있는 생물막을 인

위적으로 내생단계를 유도하여 운전기간에 따른 생물막의 두께 변화를 제시하여 주고 있는데 운전기간 10일까지는 생물막 두께의 감소가 계속 진행되다가 12~14일 사이에서 초기 생물막의 두께인 50~80μm에 이르러 일정한 최소 두께를 유지하고 있고, 부하량의 변화에 따른 생물막 두께의 감소는 부하과는 달리 적은 부하량인 17.9 g COD/m<sup>2</sup>·day에서 두께 감소량이 가장 빠른 것으로 나타났다. 생물막의 두께감소는 결국 내생호흡으로 인한 미생물량의 감소를 의미하며 이로 인하여 슬러지 생산량의 감소를 기대할 수 있고 운전 단계로 전환

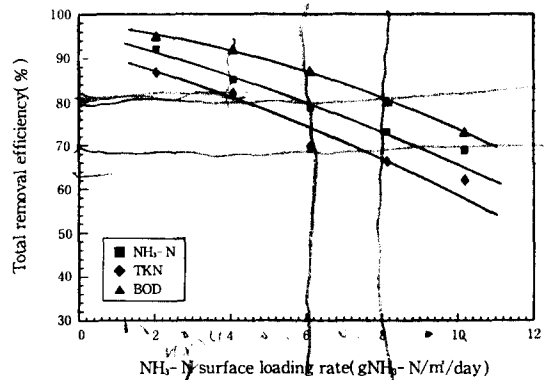


Fig. 9. Loading rate vs. total removal efficiency of NH<sub>3</sub>-N, TKN and BOD

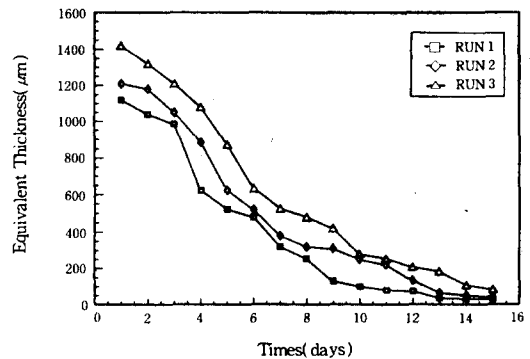


Fig. 10. Variations of thickness in endogenous stage

시 활성 미생물이 부착할 수 있는 충분한 공간을 확보해 주는 역할을 할 수 있다고 판단된다.

Fig. 11은 인위적 자산화의 시간경과에 따른 생물막의 단위면적당 VSS함량의 변화를 나타내 주고 있는데 시간이 경과함에 따라 단위면적당 VSS함량은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 생물막의 두께가 12일 운전경과 후부터 일정한 두께를 유지하고 있는 것과 마찬가지로 단위면적당 VSS함량도 일정한 값이  $0.4\sim 0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ 를 유지하고 있는 것으로 나타났는데 이는 생물막이 부착시 생성되는 초기 미생물량과 유사한 수치를 나타낸다. 생물막의 두께  $600\sim 1,000\mu\text{m}$  생물막에서 밀도가 급격하게 변한 것과 마찬가지로 단위 면적당 VSS함량도 변화가 큰 것으로 나타났고 시간경과에 따른 미생물량의 감소와 동일한 경향을 띠고 감소하였다.

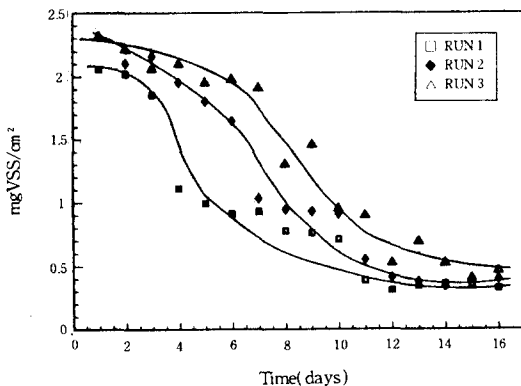


Fig. 11. Variations of VSS contents in endogenous stage

또한 AFBR/ANFBR반응조가 연속운전된 약 250일 동안 슬러지의 발생이 없어 침전에서의 슬러지 폐기가 이루어지지 않았다. 따라서 고농도 유기물을 함유한 돈사폐수의 생

물막공정 적용에 있어 인위적 자산화의 도입은 처리수의 안정과 슬러지 발생감소에 있어 매우 유리한 공정으로 판단된다.

#### IV. 결 론

1. 생물막의 과부착 영향은 부차 경과일수 약 15일 내외에서 나타났으며, 이때 생물막의 두께는 약  $1,100\sim 1,200\mu\text{m}$ 이며, VSS함량과 COD제거율도 감소되었다.
2. AFBR/ANFBR 공정에서 인위적 자산화 단계를 이용한 생물막의 과부착 제어를 수행한 결과, AFBR 여재의 유기물 표면적부하량과 유기물 용적부하량이  $17\text{g BOD}/\text{m}^2/\text{day}$ ,  $1.7\text{kg BOD}/\text{m}^3/\text{day}$  이하에서 90% 이상의 총 BOD 제거효율을 얻을 수 있었다. 또한 TKN과  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 최종 제거효율은 여재의 표면부하량과 용적부하량인  $5.60\text{g NH}_3\text{-N}/\text{m}^2/\text{day}$ ,  $0.56\text{kg NH}_3\text{-N}/\text{m}^3/\text{day}$  이하에서 각각 76% 이상과 82% 이상으로 나타났다.
3. 과부착 단계에 있는 생물막의 인위적 자산화는 약 12일 정도까지 진행되었으며, 그 이후 생물막의 두께는  $50\sim 80\mu\text{m}$ 의 일정 두께를 유지하였고, VSS함량의 감소도 같은 경향으로  $0.4\sim 0.5\text{mg VSS}/\text{cm}^2$ 을 유지하였다.
4. 생물막 과부착으로 인한 수질악화와 슬러지 생성은 첫번째 AFBR반응조에 인위적 자산화단계를 도입하므로서 해결할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구의 일부는 1994년도 교육부 학술연구 조성비의 “지역개발연구” 과제로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. Hegemann, W. : A Combination of Activated Sludge Process with Fixed Film Biomass to Increase the Capacity of Wastewater Treatment Plants, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 16, pp. 119-130, 1984.
2. APHA, AWWA, WEF : Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 18th Ed, 1992.
3. Huage J. C., et al. : Biofilm Growth with Sucrose as Substrate, *J. Environ. Eng. Div., ASCE*, Vol. 111(3), pp. 353-363, 1985.
4. 임재명, 권재혁, 이상태 : Anoxic-Oxic공법을 이용한 돈사폐수 처리, *강원대학교 논문집*, Vol. 32, pp. 175-183, 1993.
5. Narkis, N., et al. : Denitrification at Various Carbon to Nitrogen Ratios, *Water Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 93-98, 1979.
6. Bjorn Rusten, and Hallvard Odegaard : Denitrification in a Submerged Bio-Disc System with Raw sewage as carbon Source, *Proc. 2nd Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process*, Vol. 1, pp. 823-845, 1984.
7. Monteith, H. D., et al. : Industrial Waste Carbon Sources for Biological nitrification, *Progress of Water Technology*, Vol. 12, pp. 127-141, 1980.
8. Manual Nitrogen Control, U.S.E.P.A./625/R-93/0/0, 1993.
9. Randolph, G. D., and Ta Shon, Y. : Assessments of Kinetics Performance of a Roating Biological Contacter System, *Proc. 1st Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process*, Vol. 1, pp. 233-260, 1982.