

소규모 축산폐수 처리를 위한 RBC/AFBR공정의 Package화

임재명 · 권재혁* · 류재근**

강원대학교 공과대학 환경공학과

*삼척산업대학교 환경공학과

**국립환경연구원 수질연구부

Package of RBC/AFBR process for small-scale Piggery Wastewater Treatment

Jay-Myoung Rim · Jae-Hyuk Kwon* · Jae-Koon Ryu**

Department of Environ. Eng. Kangwon National University

* Department of Environ. Eng. Samchuk National University

**Water Quality Research Department National Institute of Environ. Research

Abstract

Using rotating biological contactor(RBC) with artificial endogenous stage and aerobic fixed biofilm reactor(AFBR), organic material removal and biological nitrification of piggery wastewater has been studied at a pilot plant. RBC was operated in the endogenous phase at a interval of every 25 days. The concentration of COD, BOD and TKN in influent wastewater were from 2,940 to 3,800 mg/L, from 1,190 to 1,850 mg/L and from 486 to 754 mg/L respectively. The maximum active biomass content represented as VSS per unit aera was 2.0 mg/cm² and biofilm dry density of 17 mg/cm³ was observed at biofilm thickness of 900 μm. It was observed that the pilot scale RBC/AFBR process exhibited 72 percentage to 93 percentage of BOD removal. In order to obtain more than 90 percentage of BOD removal, the organic loading rate to the RBC/AFBR process should be maintained less than 0.09 m³/m² · day(125.9 gBOD/m³ · d). The TKN removal efficiencies was from 45.5 to 90.9 percentage according to vary influent loading rate. It was estimated that the RBC/AFBR process consumed approximately 6.2 mg/L(as CaCO₃) of alkalinity per 1 mg/L of NH₃-N oxidized as the nitrification took place.

Key words : endogenous, biomass, biofilm dry density, biofilm thickness, nitrification

I. 서 론

최근 부유층식공정과 더불어 운전이 용이하고 슬러지의 반송없이 미생물의 확보가 용이한 장점 때문에 생물막공정이 하·폐수 처리에 많이 적용이 되고 있다. 이러한 생물막공정은 유입수중의 생물학적으로 분해가능한 물질은 미생물의 세포로 합성되어 여재(media)의 표면에 축적이 되고 축적된 미생물은 내생호흡을 통하여 양적인 감소가 이루어 지며, 생물학적으로 분해가 어려운 물질이나 무기물질도 생물막의 표면에 흡착(adsorption) 또는 흡수(absorption)되어 여재 표면에 축적되기도 한다. 생물막공정에서 기질의 제한상태에서 유입부하량의 크기에 따라 도달시간에 차이는 있지만 생물막의 최대부착용량에 도달할때까지는 유출수 중의 유기물과 부유물의 농도가 일정한 상태에서 유지가 가능하지만 운전기간이 지속적으로 이어지면 과부착된 미생물막의 탈리로 인한 유출수 중의 부유물의 농도가 높아질 수 있고, 때로는 탈리된 미생물막이 반응조 내부에 축적되어 전체적인 HRT의 감소로 인하여 유기물의 농도도 높아질 우려가 있다. 유출수 중의 부유물과 유기물의 농도가 높아질 경우 여재에 과부착된 생물막을 제거해 주면 새로운 미생물의 부착공간 확보와 더불어 새로운 생물막의 축적이 이루어져 안정된 유출수를 방류할 수 있다.

본 연구 대상 시료는 돈사폐수로서 돈사의 규모에 따라 유출수의 성상이 크게 다르고, 유기물과 질소화합물등의 영양염류의 높은 특징이 있고, 또한 사육두수의 규모에 따라 방류수질의 규제도 차이가 많이 나고 있어 실제적인 수질 악화의 주된 오염원 중의 하나로 인식 되고 있다. 따라서 축산폐수를 완전하게 처리할 수 있는 일체화된 공정의 개발이 요구되고 있다. 도시하수 또는 축산폐수중의 질소화합물은 통상적인 유기물제거에 목표를 둔 2차처리를 거쳐도 완전한 질산화가 일어나지 않아 대부분 암모니아성 질소(NH₃-N) 또는 소량의 아질산성질소의 형태로 남게된다. 질소화합물이 자연수계로 방류되면 하천이나 호수에 여러가지 바람직하지 못한 영향을 미치며, 분자상태의 암모니아성 질소는 담수에 독성을 나타내며 암모니아성 질소가 생물학적으로 산화될 때는 수중의 산소를 고갈시킴으로서 자연수에서 조류를 번식을 촉진시켜 부영양화의 요인이 되기도 한다.

본 연구에서는 생물막공정인 회전원판(RBC)과 호기성

침적형생물막공정(AFBR)을 연계하여 운전인자의 변화에 따른 축산폐수중의 유기물 제거와 더불어 질산화정도를 파악하고자 한다. 또한 본 연구에서의 회전원판공정은 미생물의 과부착으로 인한 처리수질의 악화를 방지하기 위하여 인위적인 자산화단계를 도입하여 운전하여 생물막공정의 단점 중의 하나인 생물막과부착시의 문제점을 해결하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 실험장치

RBC/AFBR반응조는 pilot규모로 현장에 직접 설치하여 운전하였으며, 인위적인 내생단계를 도입한 1단 RBC와 직렬로 호기성 접촉조(AFBR : Aerobic Fixed Biofilm Reactor)와 2시간의 체류시간을 갖는 침전지에서 최종 유출수를 내보내는 형태로 구성되었다. RBC의 각 반응조는 폴리우레탄으로 제작되었고, 태양광으로 인한 조류성장의 억제와 보온의 효과를 위하여 통기장치를 둔 폴리우레탄 덮개를 설치하였다. RBC 반응조의 실용적용량은 112 L이며, 본 연구에서는 시차별 인위적 내생단계를 두고 운전하기 위하여 동일부피의 반응조가 같이 설치되어 RBC의 실제적인 용적은 224 L이다. 반응조 내부의 회전 원판은 직경 60 cm이고 5 cm두께의 S/L 원판을 6 cm간격으로 4 판을 설치하여 회전원판의 부착면적은 10 m²이다. 회전원판은 반응조내에서 45 %가 침수되게 제작되었다. 따라서 회전원판의 설계에 적용되는 G값(반응조의 실제 용적(L)/회전원판의 부착면적(m²))은 11.2로 실제 권장되는 G값의 7 ~ 9 L/m²보다 다소 크게 제작되었다. 또한 1단 RBC원판의 회전 속도는 8rpm으로 운전하였는데 이는 Chun⁽²⁾의 연구결과에 의거하였다.

침적형 생물막공법의 접촉포기조(AFBR)는 294L용량으로 스테인레스로 제작하였고 내부에는 0.4×0.6×0.02m 크기의 S/L여재를 5판 연직으로 설치하였다.

개별 여재의 부착면적은 1.9 m²로 총부착 면적은 9.5 m²이다. 포기는 산기관을 이용하였고 운전중 반응조의 내부 DO는 3 ~ 4mg/L를 유지할 수 있도록 공기량을 조절하였다.

2. 실험재료 및 운전

본 연구에 사용한 여재(media)는 섬유상의 S/L(Saran Lock)여재로서 구성형태는 망상(Lock, Luffa)형 이고, 기타 플라스틱 여재에 비하여 비표면적과 공극율이 크고, 생화학적으로 안정하며 가벼운 특징이 있다. 사용 여재는 공법에 따라 2가지로 구분되는데 RBC에 사용한 여재는 두께 5 cm에 비표면적이 220 ~ 220 m²/m³이고 호기성 침적형 공법에 사용한 여재는 두께 2 cm에 비표면적이 400 m²/m³이고 Table 1에 본 연구에 사용한 여재의 특성을 제시하였다.

Table.1. Characteristics of using S/L(Saran Lock) media.

Type Model No	Specific Surface Area(m ² /m ³)	Density(g/m ³)	Porosity(%)	Remarks
Lock BOM-150	400	1.875	95.6	Submerged media
Lock BOM-120	200-220	1.875	97.7	RBC media

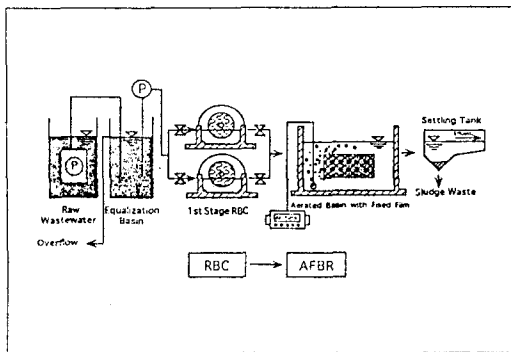


Fig.1. Schematic flow diagram of RBC/AFBR process.

각 반응조의 운전은 생물막 부착을 위한 예비운전과 돈사폐수처리를 위한 주운전으로 구분하여 운전하였고, 미생물 부착을 위한 예비운전은 약 1개월 동안 유입시료와 일반생활하수를 1:1의 혼합비로 혼합하여 주입하였고 생물막의 형성이 육안으로 확인된 후 돈사폐수를 직접 주입하였다. 유입부하에 따른 특성을 파악하기 위하여 모든 반응조는 낮은 부하에서부터 점차적으로 부하를 올리면서 운전하였고, 유입부하량의 변화는 0.03m³/m²/day에서 0.15m³/m²/day로 5단계로 변화하여 운전하였고 반응조는 유입부하량의 변화에 따라 RA 1에서 RA 5로 구분하였다. 반응조의 첫번째단은 생물막 자산화를 위한 인위적 내생단계와 처리단계를 두고 15일 간격으로 번갈아 가며 운전하였는데 내생단계에서는 시료의 주입을 중단하고 포기만을 수행하였고 증발에 의한 수위의 감소시에는 유출수를 보충해 주었다. 또한 생물막의 부착상을 파악하기 위하여 5cm의 정방형 여재를 원판사이에 50여개를 삽입하여 동일 조건하에 운전을 하면서 분석하였다.

Figure 1은 각 처리 실험 장치의 모형 및 흐름도를 제시하여 주고 있다. 본 연구에서는 유입수의 부유물에 의한 여재의 막힘을 최소화 하기 위하여 현장실험의 경우 수중펌프에 여과막을 장치하여 부유물의 유입을 최소화하였고, 실험실 반응조는 채취 시료를 여과후 사용하였다. 본 연구에서 사용한 모든 실험장치는 유입폐수의 균일성 유지를 위하여 반응조로 폐수가 유입되기 전에 교반장치를 동반한 균등조를 설치하였다.

3. 분석방법

시료의 분석방법은 Standard Methods⁽³⁾에 의거하여 분석하였고 분석회수는 운전초기에는 1일 1회를 원칙으로 하였고 이후 2, 3일에 1회씩 유출수 및 유입수에 대한 분석을 수행하였다. BOD실험은 질산화에 의한 산소의 소모량을 없애기 위하여 질산화 방지제(nitrification inhibitor formula 2533 : HACH Company)를 사용하여 수행하였다. 미생물 부착과 탈리시 특성을 위한 분석은 초기 부착 미생물을 제거한후 미생물이 여재에 다시 부착되면서 분석하였으며, 유입수와 유출수의 수질과 VSS함량은 Standard Methods⁽³⁾에 의거하여 분석하였다. 여재에 부착된 생물막의 두께는 Micrometer를 이용하여 측정하는 방법과 물의 밀도, 생물막의 비중, 여재의 표면적과 미생물막의 습윤중량을 이용하여 측정하는 방법이 있으나 본 연구에서는 사용한 여재가 망상형을 이루고 있어 전자의 방

법이 아닌 후자의 방법을 채택하여 분석하였다. 본 연구에서 사용한 망상형여재에 생물막이 일정한 두께로 부착되었다는 가정하에 생물막의 비중은 KSF 2308⁽⁴⁾에 의거하여 분석하였고 물의 밀도는 20℃의 밀도값(0.998g/cm³)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시료의 성상

돈사폐수는 축사의 형태에 따라 성상이 상이한데 본 연구의 수행에 대상인 돈사폐수는 시멘트형 돈사로서 고품물인 분(糞)성분은 인력으로 수거되고 유출되는 폐수는 뇨(尿)성분과 청소수 및 잔류식으로 구성된다. 연구기간 중 사용한 시료는 돈사의 유출부에 위치한 저류조로부터 채취된 것이다. 현장과 실험실 규모의 처리장치로 유입되는 폐수의 성상분석은 각 처리장치의 앞단계에 설치되어 있는 균등조에서 채취하여 분석하였는데, 분석결과는 Table 2에 제시한 바와 같다.

Table 2. Characteristics of Piggy Wastewater

Constituents	Range	Average
pH	7.8-8.9	8.2
BOD ₅	Total	1,190-1,850
	Soluble	830-1,360
COD _{Cr}	Total	2,940-3,800
	Soluble	1,660-2,600
BOD ₂₀	Total	1,760-2,810
	Soluble	1,180-1,960
SS	345-542	464
VSS	218-455	384
TKN	486-754	592
NH ₃ -N	384-586	430
NO ₂ -N	-	-
NO ₃ -N	-	-
Alkalinity	2,850-3,600	3,250

유입돈사폐수의 분석결과 pH는 7.8 - 8.9 의 범위로 측정되어 일반도시하수에 비하여 다소 높은 것으로 나타

났고, 유기물의 경우 COD농도는 2,940 - 3,800mg/L의 범위로 평균 3,200mg/L로 나타났고 이중 용해성 COD는 COD의 약 75%인 2,460mg/L로 측정 분석 되었다. COD의 분석 결과는 문헌자료^(5,6)와 비교할때 slurry 상태의 폐수에 비하여 낮은값이고, 고품물을 제거한 혼합폐수의 농도와는 유사한 것으로 나타났다. BOD농도는 1,190 - 1,850mg/L의 범위로서 평균농도 1,640mg/L로 나타났고 용해성 BOD는 830 - 1,360mg/L로 평균 1,080mg/L로 나타났는데 TBOD/SBOD는 1.51로 나타났다. 또한 유입돈사 폐수의 BOD₂₀농도는 평균 2,540mg/L로서 TBOD의 1.54배이고 BOD₂₀/COD 비는 0.79로 약 21%의 COD가 생물학적으로 분해하기 힘든 유기물로 판단된다. 부유물의 농도는 일차여과를 통하여 제거되므로 유기물의 농도에 비하여 비교적 낮은 농도인 345-542mg/L로 나타났고 VSS 성분은 부유물의 약 63%인 것으로 조사되었다. 질소의 경우 TKN농도는 486-654mg/L의 범위로서 평균 592mg/L를 나타냈고 이중 약 70%인 430mg/L는 NH₃-N인 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용한 돈사폐수의 pH가 7.8 - 8.9인 것으로 감안할때 암모니아성 질소의 약 60% 이상은 free 암모니아로 상태로 존재하고 있다고 보아도 타당할 것으로 판단된다. 질산화(nitrification)결과 산물인 NO₂-N과 NO₃-N은 본 연구의 대상시료인 돈사폐수에서는 측정되지 않았다.

2. Biomass의 변화

본 연구에서 운전방법으로 채택한 인위적인 자산화단계의 기초실험의 일부로 자산화단계 없이 70여일을 운전하면서 Biomass량 및 물리적 특성의 변화에 대하여 조사하였다. 각 반응조의 Biomass량(VSS함량으로 대치)을 측정하여 Figure 2에 제시하였다.

유입 부하량이 각기 다르게 운전되는 각 반응조에서의 Biomass량은 뚜렷한 차이를 보이지 않고 일정한 trend를 형성하였다. 대체적으로 운전초기부터 15일까지는 Biomass량이 증가하여 부하에 따라 차이는 있지만 약 2.0 mg VSS/cm²의 최대값을 나타내고 그이후 부터는 감소의 경향을 나타내어 약 1.2VSS/cm²의 값에서 일정하게 유지되고 있다. Biomass량의 증가하는 추세에 비하여 감소의 정도가 유입부하량이 증가함에 따라 변화의 폭이 큰 것으로 나타나고 있는데, 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 섬

유상 여재의 형태상의 특징에 기인한 것으로 사려된다. 일반 플라스틱여재나 Honey Comb Type의 여재와는 달리 섬유상여재는 엉킨 실모양이므로 생물막의 증식이 어느정도 이루어지면 외부의 여재표면이 생물막의 증식속도에 비례하여 내부여재에 부착된 Biomass에는 유기물과 산소의 차단이 빨리 이루어 지기 때문인 것으로 판단된다.

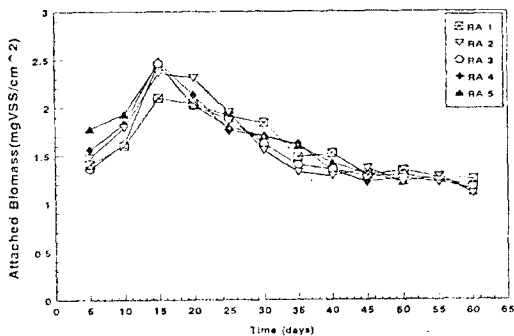


Fig.2. Variations of attached biomass according to operating time in RBC.

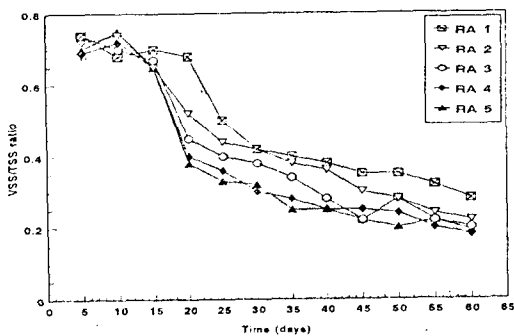


Fig.3. Variations of VSS/TSS ratio according to operating time in RBC.

Figure 3은 반응조 내의 여재에 부착된 생물막에서 Biomass가 차지하는 비를 VSS/TSS비로 표시한 것인데 일반적으로 미생물이 이용할 수 있는 기질이 충분하게 공급이 되는 반응조에서는 VSS/TSS비가 점차 증가하여 안정한 상태를 이루지만⁽⁷⁾ 본 연구의 결과는 초기에서 20여일이 경과 하는동안 유입부하에 따라 차이는 있지만 비교적 안정한 상태를 지니고 있지만 이후 VSS/TSS비가 급격히 감소를 나타낸 후 40여일이 경과한후 량적인 감소를 이룬 형태에서 증감의 변화폭이 적은상태로 안정을 이루어 약 0.2의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. VSS/TSS비의 감소시 유입부하량이 클수록 적을때에 비하여 감소의 폭이 급격하고 안정후 VSS/TSS비가 적은 것으로 나타났는데 이러한 결과는 일반 여재에서는 짧은 체류시간으로 인한 활성화된 미생물의 유실로 해석되지만 섬유상 여재에서는 유속으로 인한 생물막의 유실은 일어나지 않는 것으로 판단될때 외부 여재의 막힘으로 인한 내부여재로의 유기물 및 용존산소의 고갈이 원인인 것으로 사려된다.

Figure 4는 시간의 경과에 따른 Biomass의 두께변화를 나타낸 것으로 유입부하량에 따라 초기에 두께증가의 속도차이는 있지만 최대 Biomass 두께는 약 1,000 ~ 1,200 μm 이고, 30여일이 경과한 후 부터 800 ~ 1,000 μm 의 두께를 나타내면서 안정한 것으로 나타났다.

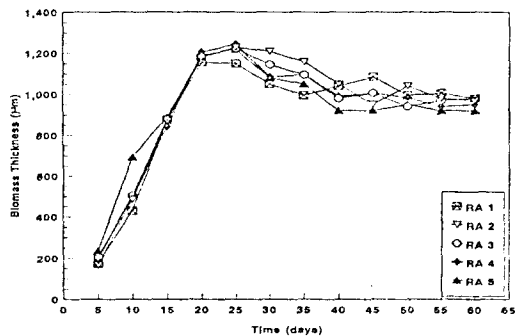


Fig.4. Variations of biomass thickness according to operating time in RBC.

시간에 따른 생물막의 증가에 대한 Hohen의 연구 결과⁽⁸⁾는 생물막이 200 μ m의 두께를 형성하는데 70시간(약 3일)인 것으로 보고하고 있는데 본 연구결과에 비하여 짧은 시간이 걸리는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 Hohen은 인공시료를 사용한 결과이고 본 연구에서 사용한 돈사폐수는 부유물 및 생물학적으로 분해가 어려운 물질들이 포함 되었기 때문에 시간이 더 지속되어 약 5일 경과후 200 μ m에 도달한 것으로 판단된다. 생물막의 두께가 400 μ m에 도달할때 색상은 육안으로 관찰할 때 연한 갈색의 젤라틴(gelatin)상태이나 400 μ m이상부터는 생물막의 두께가 급격한 증가를 보이면서 생물막의 두께 1200 μ m에서 색상은 암갈색을 띠고 이끼와 같은 형상으로 이루고 있었다. 시간의 경과에 따른 두께의 변화와 Biomass의 변화를 이용한 Biomass의 건조밀도를 산출하여 두께의 변화에 따른 밀도의 변화를 Figure 5에 제시하였다. 건조밀도의 변화는 600 μ m까지 급격한 감소를 나타내고 이후 두께의 증가에 따라 감소하여 900 μ m 이상에서는 약 17 mg/cm³의 값을 나타내며 안정상태를 유지하였다. 이러한 결과는 20여일이 경과한 후 부터의 VSS/TSS비가 감소하는 것과 상관관계를 지니는 것으로 나타났고, biomass의 두께 증가가 200 μ m이상이 되면 밀도가 떨어지는데 이는 생물막에서 미생물에 의한 유기물 분해가 활발하게 이루어짐과 동시에 생물막이 두꺼워짐으로 막의 심층부위 및

내부여재에서 DO부족과 유기물제한으로 인한 혐기성 및 혐기성상태에서의 자산화가 원인인 것으로 판단된다.

이 결과는 DO가 미치는 범위인 호기성 영역은 막 표면에서 0.7-120 μ m정도의 생물막두께에서 존재한다는 연구결과^(8,10)와 DO가 충분할 때 250 μ m이하의 생물막에서 호기성 영역이 형성된다는 결과⁽¹¹⁾에서 제시한 바와 같이 생물막의 절대량은 증가하지만 실제 호기성 영역은 일정하거나 줄어들기 때문이다. 또한 임⁽¹²⁾의 연구결과와 비교하면 여재의 비표면적의 차이에 의한 Biomass량 및 밀도의 값은 차이가 있지만 동일한 경향을 띠는 것으로 나타났다.

3. 유기물제거

Figure 6은 RBC와 호기성 고정층 생물막(AFBR)을 연제한 RBC/AFBR공정의 각 유입부하량의 변화별로 운전 경과 일수에 따른 유출수의 BOD농도를 나타낸 자료로서 유입유량이 300L/day(0.03m³/m²/day)로 가장 낮게 운전되었을때 최종 유출수의 BOD 농도는 85 - 110mg/L를 유지하고 있지만 유입부하량이 커질수록 최종유출수의 BOD 농도가 높아지는 경향을 보이면서 유입부하량이 가장 큰 1,500L/day(0.15m³/m²/day)로 운전되었을 때 유출수중의 BOD농도는 372 ~ 430mg/L 범위로 조사되었다.

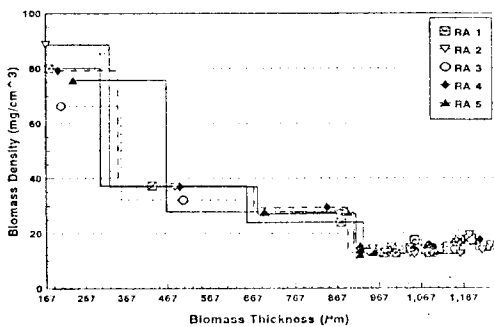


Fig.5. Variations of Density with biomass thickness.

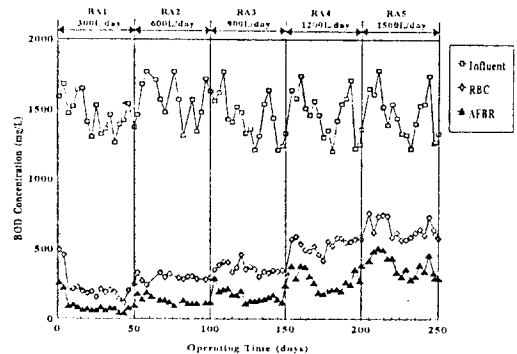


Fig.6. Variations of BOD concentration according to operating time in RBC/AFBR process.

전체의 공정에서 90 % 이상의 유기물을 제거하기 위해서는 유입 부하량이 0.09m³/m²/day (125.9gBOD/m².day) 이하를 유지해야 하는 것으로 분석되었다.

일반 도시하수에서 다단 RBC공정을 이용하여 90%이상의 유기물 제거효율을 얻기 위하여는 20 - 30gBOD/m² day 를 유지하여야 한다는 연구결과⁽¹³⁾ 와 순산소 시스템의 RBC를 이용하여 운전할때 반응조에서 산소고갈을 막기위한 최소 유입부하량이 95gBOD/m².day^(11,14)이하를 유지하여야 한다는 연구결과와 비교할때 본 연구의 결과는 높은 부하량이다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 RBC여재의 비표면적이 폴리스트레인의 비표면인 110 - 140m²/m³ 보다 큰 200 - 220m²/m³이기 때문에 활성화된 미생물을 충분히 확보할 수 있는 것과, 본 연구에서 채택하여 운전한 자산화단계로 인하여 미생물막이 적절하게 부착되어 생물막에서의 산소공급이 충분히 이루어질 수 있는 활성화 영역의 확보에 원인이 있는 것으로 판단된다

Figure 7은 RBC/AFBR공정의 유입 수리학적 부하량에 대한 유입 유기물의 부하량의 관계를 나타낸 것으로 RBC의 경우 수리학적 유입 부하량의 변화는 0.03 ~ 0.15 m³/m²/day일때 유입 유기물의 변화는 42.45 ~ 212.4 gBOD/m²/day로서 실제 일반 여재를 사용하는 RBC공정에 비하여 높은 유입 부하에서 운전되었다. AFBR에서 유입 수리학적 부하량이 0.031과 0.156m³/m²/day일때 유기물의 부하량은 5.93 - 88gBOD/m²/day이다. AFBR의 유입 수리학적 부하량이 평균 0.031-0.156m³/m²/day로 일반 생물막공법에 비하여 낮은 것으로 나타났는데 여재의 넓은 비표면적(400m²/m³)으로 인한 상대적인 수리학적 부하량의 감소가 원인인 것으로 판단된다. AFBR공정에서 유입 유기물 부하량은 면적부하량이 5.93 - 88gBOD/m²-/day일때 용적부하량은 193.8 - 2,872.5gBOD/m³/day로 산출되었다 .

RBC/AFBR반응조에서의 운전조건의 변화에 따른 유출수의 BOD와 COD의 농도를 Figure 8에 제시하였는데 유입부하량이 증가함에 따라 유출수의 BOD와 COD의 농도가 증가하는 경향을 나타냈으며 처리효율이 높을수록 BOD농도가 낮을수록 BOD/COD는 적어지는 것으로 나타났는데 처리효율이 높은 경우는 생물학적으로 분해가능한 유기물이 난분해성 유기물의 량에 비하여 상대적으로 낮고 처리효율이 낮은 경우는 잔존하는 생물학적분해가능 물질이 축적되는데 원인이 있고, 유출수의 BOD농도를

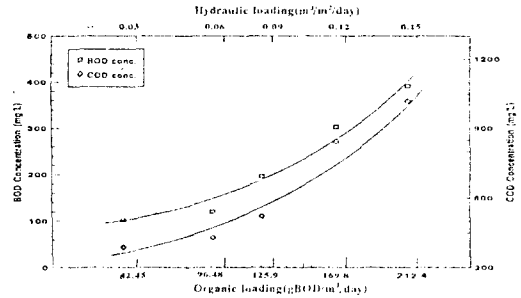


Fig.7. Relationship hydraulic loading rate and organic loading rate.

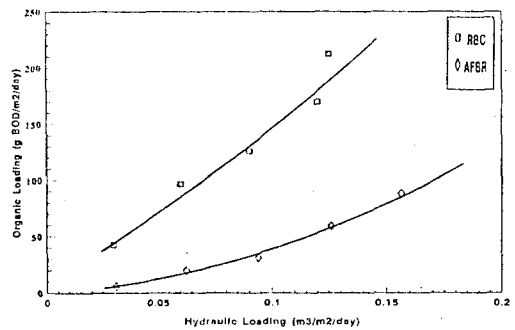


Fig.8. Variations of BOD and COD concentration according to organic loading rate in RBC/AFBR.

100mg/L이하로 유지하기 위해서는 유입부하량은 42.4 gBOD/m²/day이하로 유지하여야 하는 것으로 분석되었다.

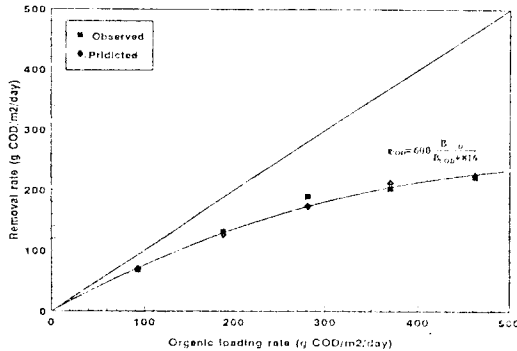


Fig.9. COD removal rate according to COD loading rate in RBC.

Figure 9는 Rusten⁽¹⁵⁾이 제안한 Monod 식과 유사한 경험식인 선형식을 본 실험에서 얻어진 유입 COD부하량과 제거된 COD량을 이용하여 최대 유기물 제거율(r_{max})과 반속도상수(k)를 산출하여 얻어진 상수를 RBC공정에 적용하여 경험식을 이용한 예측값과 실측값을 비교하였는데 주어진 식을 이용한 예측값이 본 연구에서 얻어진 실험의 결과값에 비하여 다소 높은 제거율을 나타냈으나 거의 유사한 것으로 나타났다. 돈사폐수 처리를 위하여 RBC를 설계할 경우 본 연구에서 얻어진 상수값을 이용하면 제거율을 간단하게 추정할 수 있어 설계에 유용하리라 판단된다. 적용 경험식은

$$r_{COD} = r_{max} \cdot \frac{B_{COD}}{B_{COD} + k} \quad \text{이다.}$$

- 여기서 r_{COD} : 유기물 제거율 ($g \text{ COD}/m^2 \cdot \text{day}$)
- r_{max} : 최대 유기물 제거율 ($g \text{ COD}/m^2 \cdot \text{day}$)
- B_{COD} : 유기물 부하량 ($g \text{ COD}/m^2 \cdot \text{day}$)
- k : $1/2 r_{max}$ 일때의 r_{COD}

4. RBC/AFBR공정에서의 질산화

현장에서 pilot규모의 실험장치인 RBC/AFBR공정을 이용한 실험결과 질산화에 대한 운전 자료를 Table 3에 제시하였다.

Table 3. Results of Nitrogen Removal Efficiency in RBC/AFBR

ITEM	OPERATING MODE	OPERATING CONDITION				
		RA1	RA2	RA3	RA4	RA5
RBC	TKN(Rem %)	220 (60)	240 (56)	324 (41)	388 (29)	392 (29)
	NH ₃ -N (Rem %)	154 (64)	170 (60)	195 (55)	280 (35)	308 (28)
	NO ₃ -N (mg/L)	48	23	15	7	0
	NH ₃ -N Loading Rate ($g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2/d$)	12.6	25.2	37.8	50.4	63.0
AFBR	TKN(Rem %)	50 (77)	93 (61)	163 (50)	283 (27)	300 (24)
	NH ₃ -N(Rem %)	40 (74)	56 (65)	96 (51)	196 (30)	274 (11)
	NO ₃ -N(mg/L)	169	98	82	20	6
	NO ₃ -N Loading Rate ($g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2/d$)	4.8	10.6	18.3	35.0	48.1
Total	TKN(Rem %)	90.9	83.1	70.4	48.5	45.5
	NH ₃ -N(Rem %)	90.7	87.0	77.7	54.4	36.3

RBC로 유입되는 질소의 부하량은 $12.6 \sim 62.98 g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2 \cdot \text{day}$ 로 유입 유량의 변화에 따라 변화시켰고 이에 따른 AFBR로 유입되는 부하량은 $4.81 g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2 \cdot \text{day}$ 에서 $48.13 g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2 \cdot \text{day}$ 이다. AFBR에서 TKN의 제거효율은 부하량의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났고 24 - 71%의 제거효율의 변화를 보였다. 유출수의 NH₃-N농도는 $4.81 g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2 \cdot \text{day}$ 의 부하량으로 운전된 RA 1에서 40 mg/L 이고, 유입부하량이 $10.63 g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2 \cdot \text{day}$ 유지된 RA 2에서는 56 mg/L 의 농도로 유출되었다. RA 3의 유출 NH₃-N의 농도는 96 mg/L 이지만 $35 g \text{ NH}_3\text{-N}/m^2 \cdot \text{day}$ 로 운전된 RA 4유출수 중의 NH₃-N농도가 200 mg/L 이다. 유출수중의 NO₃-N농도는 유입부하에 따라 다르지만 최소 6 mg/L 에서 최고농도 124 mg/L 이다. RBC/AFBR공정을 통한 TKN과 NH₃-N의 총 제거효율은 유입 부하량에 따라 차이를 보이면서 각각 45.5 - 90%와 36.3 - 90.7%의 제거효율을 나타냈다. NH₃-N이 산화됨에 따라 alkalinity가 소모되므로 질산화의 정도에 따라 유출수의 alkalinity는 $587 - 1780 \text{ mg/L (as CaCO}_3\text{)}$ 의 농도를 나타냈다. RBC에서의 유출수중의 질산성질소의 농도는 $0 \sim 48 \text{ mg/L}$ 로 나타나 실제적으로 유기물의 제거가 이루어

지지 않은 상태에서의 질산화는 기대하기 힘들었으며, 본 연구에서의 질산화에 대한 유출수중의 유기물 제한농도는 380mg/L인 것으로 나타났다.

Figure 10은 AFBR반응조에서의 유입부하량에 대한 유출수의 NH₃-N의 농도와 그에 따르는 총 제거효율을 제시한 것인데 유입부하량이 평균 10gNH₃-N/m²/day에서 유출수 농도의 급격한 증가와 더불어 제거효율이 급격하게 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 AFBR반응조를 RBC공정과 연계하여 설치할 경우 초기유입 암모니아성 질소의 부하량은 본 연구에서의 RA 2의 부하량에 해당하는 25gNH₃-N/m²/day이하로 유지 되어야할 것으로 판단된다. Yu⁽¹⁶⁾는 RBC공정에서 질산화를 기대하기 위해서 한계 유기물 부하량을 9.66gBOD/m²/day라고 하였는데 본 연구에서 사용한 AFBR반응조의 RA 1과 RA 2의 부하량에 해당하는 유기물 부하량이다.

암모니아성 질소가 산화됨의 지표⁽¹⁷⁾가 되는 alkalinity소비량을 Figure 11에 제시하였는데 RBC/AFBR공정 전체에서 1gm/L의 NH₃-N을 산화시키는데 약 6.2mg/L(as CaCO₃)의 alkalinity가 소비되는 것으로 산출되었으며 산출값은 문헌자료^(18, 19)과 다소 차이가 있지만 유사한 값으로 나타났다.

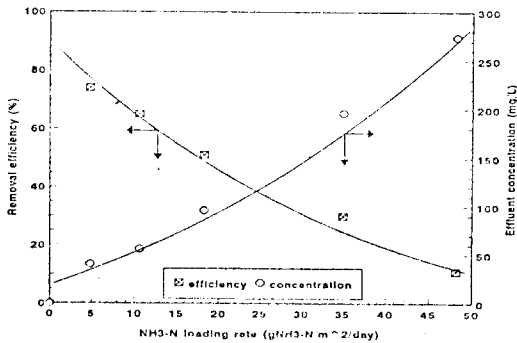


Fig.10. NH₃-N removal efficiency and effluent NH₃-N concentration in AFBR.

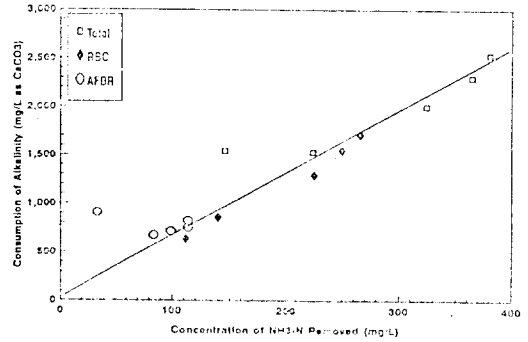


Fig.11. Removed NH₃-N concentration and alkalinity consumption

IV. 결론

인위적인 자산화단계를 가지는 RBC/AFBR공정을 이용하여 현장에서 돈사폐수를 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. RBC에서의 Biomass량의 변화는 운전 15일 경과까지는 증가추세를 나타냈으나 이후부터는 감소하여 부하량에 따라 다소 차이는 있지만 운전경과후 40일 이후에는 1.3mg VSS/cm²에서 일정하게 유지되었다.
2. VSS/TSS비는 운전초기에는 부하량에 관계없이 0.7내외를 유지하고 있으나 Biomass량이 감소하는 20일이 경과한 후 부터는 감소를 하여 약 0.2~0.3의 값을 나타냈는데 유입부하가 클수록 밀도의 변화와 더불어 급격한 감소를 나타내었다.
3. 전체의 공정에서 90% 이상의 유기물을 제거하기 위해서는 유입 부하량이 0.09m³/m²/day (125.9 gBOD/m².day)이하를 유지해야 하는 것으로 분석되었고, 이 결과는 기존의 다단 RBC공정의 유입부하에 비하여 4배가 높은 부하량이다.
4. 유출수중의 NO₃-N농도는 유입부하에 따라 다르지만 최소 6mg/L에서 최고농도 124mg/L이고, RBC/AFBR

공정을 통한 TKN과 NH₃-N의 총 제거효율은 유입 부하량에 따라 차이를 보이면서 각각 45.5 - 90%와 36.3 - 90.7%의 제거효율을 나타냈고, 공정 전체에서 1gm/L의 NH₃-N을 산화시키는데 약 6.2mg/L(as CaCO₃)의 alkalinity가 소비되는 것으로 산출되었다.

감사의 글 :

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비의 “지역 개발연구”과제로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Antonie, R.L. Fixed Biological Surface - Wastewater Treatment, CRC Press, 1975.
2. Chun, T.L, and Huoo, T.C. : Treatment of Starch Industrial Waste by RBC, Proc.2nd International Conference of Fixed - Film Biological Process, Vol.2, pp. 960-989, 1982.
3. APHA, AWWA, WEF. : Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 18th Ed, 1992.
4. 임병조, 김영수. : 토질시험법, 형설출판사, 1989.
5. Olezkiewicz, J.A., and Koziarski, S. : Management and Treatment of Waste from Large Piggeries, Agricultural Waste, 10, pp. 123-144, 1981.
6. Piccinini, S., and Cortellini, L. : Solid-Liquid Separation of Animal Slurry, Agricultural Waste Management and Environmental Protection, Vol. 1, pp.208-231, 1987.
7. 金玄烈 : 生物接觸酸化法による汚濁原水の處理特性に關する研究, 東北大學校博士學位論文, 1991.
8. Hoehn, R.c. and Ray, W.R. : Effects of Thickness on Bacterial Film, JWPCF, Vol. 45, No. 11, pp. 2302 - 2320, 1973.
9. Huang Ju Chang, et al. : Biofilm Growth with Sucrose as Substrate, J. Environ. Eng. Div., ASCE, Vol. 111, No. 3, pp 353-363, 1985.
10. M. Fruhen et al. : Significance of Spatial Distribution of Microbial Species in Mixed Culture Biofilms, Wat. Sci. Tech., Vol. 23, 1365-1374, 1991.
11. Huang, J.C., et al. : Biofilm growth with Sucrose as Substrate, J. Environ. Eng. Div., ASCE, Vol. 111, No. 3, pp. 353-363, 1985.
12. 임재명, 권재혁, 이정환. : 망상형 고정층을 이용한 돈 사폐수 처리시 생물막부착특성, J. KSWQ, p 41-48, 1994.
13. 中山, 有賀. : 最近の回傳圓板法のテ"-タ, 用水と廢水, Vol. 19, No. 9, pp. 842-864, 1977.
14. Huang, J.C., et al. : Biofilm growth with Sucrose as Substrate, J. Environ. Eng. Div., ASCE, Vol. 111, No. 3, pp. 353-363, 1985.
15. Bjorn Rusten. : Wastewater Treatment with Aerated Submerged Biological Filter, JWPCF, Vol. 56, No. 4, pp424-431, 1984.
16. Ralph, L. E., et al. : RBC for BOD and Ammonia Nitrogen Removals at Princeton Wastewater Treatment Plant, Proc. 1st Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process, Vol. 2,, pp. 590-616, 1982.
17. Manual Nitrogen Control, V.S.E.P.A. /625/R-93/0/0, 1993.
18. Randolph, G.D., and Ta Shon, Y. : Assessments of Kinetics Performance of a Rotating Biological Contactor System, Proc. 1st Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process, Vol. 1, pp. 233-260, 1982.