

MLE type MBBR을 이용한 페놀화합물 함유폐수의 처리특성

Characteristics of Phenolic Wastewater Treatment using Moving Bed Biofilm Reactor in the MLE Process

김문호 · 오성모 · 배운선 · 박철휘*

Moon Ho Kim · Sung Mo Oh · Yoon Sun Bae · Chul Hwi Park*

서울시립대학교

(2007년 3월 23일 논문 접수: 2007년 10월 12일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Nutrient removal from synthetic wastewater was investigated using a MLE (Modified-Ludzack Ettinger) type MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), with different phenol (C_6H_5OH) concentrations, in order to determine the inhibition effects of phenol on biological nutrient removal and the biodegradation of phenolic wastewater.

The wastewater was prepared by mixing a solution of molasses with known amounts of phenol and nutrients. The experiments were conducted in a lab-scale MLE type MBBR, operated with four different phenol concentrations (0, 67, 100 and 168mg/L) in the synthetic feed. Throughout the experiments, the ratio of the phenolic COD concentration to the total COD was varied from 0 to 1. Throughout batch test, the SNR (Specific Nitrification Rate) and SDNR (Specific Denitrification Rate) were significantly influenced by changes of the phenol concentration. Phenol was inhibitory to the nitrification/denitrification process, and showed greater inhibition with higher initial phenol concentrations. The SNR observed with 0, 67, 100 and 168mg phenol/L were very different like 10.12, 6.95, 1.51 and 0.35mg $NH_3-N/gMLVSS$ hr, respectively. Similarly, the SDNR observed at 0, 67, 100 and 168mg phenol/L were different like 0.322, 0.143, 0.049 and 0.006mgN/gMLVSS day, respectively.

Key words: Phenol, Moving bed biofilm, Nitrification, Denitrification, Inhibition, media

주제어: 페놀, 유동성 생물막, 질산화, 탈질화, 저해영향, 담체

1. 서 론

산업구조의 고도화에 따라 산업체 및 화학공장에

서 배출되는 오염물질도 종류가 다양해지고 난분해성, 독성 방향족 탄화수소와 그 유도체들을 포함한 유기화합물의 배출량도 날이 증가되고 있다. 이중 난분해성 유기물은 생물학적 분해속도가 매우 느리

*Corresponding author Tel: +82-2-2210-2176, FAX: +82-2-2244-2245, E-mail: chpark@uos.ac.kr (Park, C.H.)

Table 2.1. Composition of synthetic wastewater

Component	Concentration (mg/L)	Remarks	Component conc. (mg/L)
Acetic acid	153.75	Organics	COD _{Cr} ≈ 400 T-N ≈ 80 T-P ≈ 10
Propionic acid	44.93		
Ethyl alcohol	15.33		
Glutamic acid	69.42		
Glucose	63.75		
KH ₂ PO ₄	13.16	Phosphorus	
K ₂ HPO ₄	39.29		
NH ₄ Cl	191.07	Nitrogen	
MgSO ₄ · 7H ₂ O	90	Minerals	
CaCl ₂ · 2H ₂ O	70		

고, 독성이 높아 생태계에 심각한 영향을 미칠 우려가 있다. 특히 페놀류의 대표적인 화합물인 페놀(phenol)은 자연계에서 리그닌(lignin) 및 탄닌(tannin)과 같은 방향체로서 존재할 뿐만 아니라 아스팔트 포장도로에 흐르는 빗물이나, 페놀을 원료로 사용하는 화학공장·원유정제공장, 석탄을 다량 사용하는 제철 및 제강공장·석탄가스 공장 등의 배수와 펄프 제작소, 제련소, 목재보존공장, 고분자수지 제조공장 등 인위적인 오염원으로부터 발생된다. 미처리된 페놀화합물이 하천수에 유입될 경우 공공 수역의 수질을 오염시켜 생태계파괴를 야기하고 수계 이용가능성을 현저히 저하시켜 이미 선진국에서는 배출을 규제해왔으며, 우리나라에서도 그 법적규제가 점차 강화되고 있는 실정이다. 페놀화합물 함유폐수는 질소성분을 다량 포함하고 있어 그 처리에 어려움이 있으며 따라서 페놀화합물 뿐 만 아니라 질소를 동시에 제거할 수 있는 처리방법이 요구된다.

이에 본 연구에서는 페놀과 질소성분을 동시에 처리하기 위하여 MLE(Modified-Ludzack Ettinger) type MBBR(Moving Bed Biofilm Reactor) 공정을 선택하였다. MLE 공정은 유기물 제거와 질산화반응이 일어나는 호기구역과 탈질반응이 일어나는 무산소구역으로 구분되며 탈질반응을 위하여 호기구역에서 질산화된 혼합액을 무산소구역으로 내부반송을 포함하여 설계된 공정이다.

본 연구에서 적용된 MLE type MBBR 공정은 MLE 공정의 호기조와 무산소조에 생물막 담체를 추가한 것으로 부유성장(suspended growth) 미생물만을 이용하여 오염물을 처리하는 공정에 비하여 media에 안정

적으로 고농도의 부착성장(attached growth) 미생물을 통하여 탈질율을 높이고 효율적으로 오염물질을 처리할 수 있도록 하였다. 이에 따라 biofilm 형태의 반응조에서 페놀의 농도에 따라 생물학적 처리의 가능성 여부를 판단하고자 lab-scale 반응기를 연속운전하였으며, 질산화와 탈질화에 미치는 영향에 대하여 조사하고자 batch test를 수행하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 유입원수

본 연구에 사용된 유입수는 조제하여 사용하였으며 페놀 농도에 따라 대조구(control)와 3개의 실험구(experiment)로 구분하여 실험하였다. 대조구의 유입수 조성은 **Table 2.1**과 같다. 대조구와 3개의 실험구의 유입수는 페놀농도만 다를 뿐 총 유기물(COD_{total}) 농도와 pH(pH 7), 온도 등 모든 조건을 동일하게 하였다. 유입수는 페놀과 기타유기물에 의한 COD_{total}(Total COD)를 일정하게 유지하고, 단계별로 COD_{total} 내에서 페놀에 의한 COD(COD_{phenol})를 높여 유입수로 사용했다. COD_{total}는 COD_{phenol}를 포함하여 계산되어지며 COD_{total} = COD_{phenol} + COD_{organics}로 표현된다. 대조구의 페놀농도는 0mg/L이며 실험구 1, 2, 3의 페놀농도는 COD_{total}에 대해 40%, 60%, 100%인 67, 100, 168mg/L이다.

2.2. Lab-scale 반응조

실험에 사용된 MLE type MBBR 반응조는 plexiglas로 제작하였으며, 3L의 무산소조와 9L의 호기조로

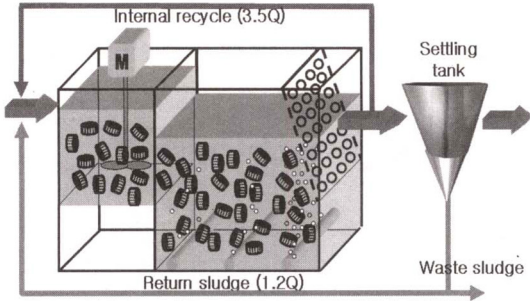


Fig. 2.1. Diagram of MLE type MBBR.

구성하여 각각 media를 50%(V/V)로 충전하였으며 무산소조는 120rpm으로 교반하고, 무산소조의 media가 호기조로 유실되지 않도록 설계하였다. 호기조 뒤쪽에 다공판과 산기판을 설치하여 media의 유동을 원활하게 하였으며, 호기조 후단에는 원형 침전조를 설치하였다. 반응조의 구성을 Fig. 2.1에 나타내었다. 본 연구에서 사용된 담체(biofilm carrier)는 노르웨이 KMT사의 K1을 사용하였다. Fig. 2.2에 미생물 부착 전/후의 생물막 담체 사진을 나타내었다. 단위부피당 큰 표면적을 가지고 공기의 공급 및 물과 오염물질의 접촉을 원활하게 하고 막힘 현상을 방지하기 위해 원통형 내부에 십자형태, 외부에는 길이방향의 핀을 가진 구조로 만들어 물에서 담체의 원활한 순환과 미생물배양 및 보호를 위한 좋은 조건을 가지고 있다. 담체의 규격은 지름 10mm, 높이 7mm이다. 미생물이 부착될 수 있는 비표면적은 500m²/m³이다. 미생물 성장은 주로 담체내부에서 이루어지므로 실질적인 비표면적은 약 350m²/m³이라고 할 수 있다. 담체의 비중은 물 속에서 부유하면서 유동하기 위해서 물보다 약간 작은 0.92~0.96kg/m³의 Polyethylene이 선택되었고 또한 적당한 내곡성을 주어 다른 담체 및 반응조와 마찰을 최소화하여 담체외부의 미생물막을 보호하는 한편 담체의 마모를 최소화해 담체가 영구적인 수명을 지니는 특징이 있다.

유입수는 평균 30.9L/day, 외부반송은 1.2Q, 내부반송은 3.5Q로 운영하였다. 반응조는 항온실에서 20°C로 유지되었으며 공정의 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT) 및 미생물 체류시간(Sludge Retention Time, SRT)은 각각 9hr 및 12day로 운영하였다. SRT 조절을 위하여 잉여슬러지는 간헐적으로 인발하였고 실험기간 동안 유입수는 연속

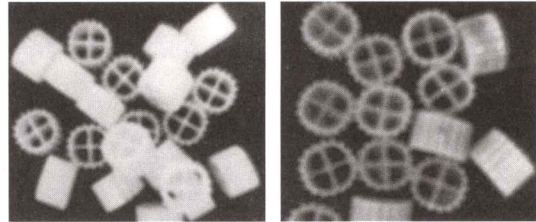


Fig. 2.2 Before attached growth microorganism (left) and after attached growth microorganism (right).

주입하였다.

2.3. Batch test

평균 3L의 반응조에 여과한 합성폐수와 MLE type MBBR의 외부반송 슬러지를 일정비율로 혼합하여 AUR(Ammonium Uptake Rate) batch test를 실행하였다. 부유성장 미생물만의 AUR batch test를 위해 폐놀농도가 0mg/L인 상태에서 media를 충전하지 않고 실험하였고, 나머지는 MLE type MBBR 반응조와 같은 주기로 대조구, 실험구 1, 2, 3에 대해 호기조의 media를 50%(V/V)로 충전하여 실험하였다.

3L의 반응조에 여과한 합성폐수와 MLE type MBBR의 무산소조 슬러지를 일정비율로 혼합하고 KNO₃를 주입하여 NUR(Nitrate Uptake Rate) batch test를 실행하였다. AUR batch test와 마찬가지로 부유성장 미생물만의 NUR batch test를 위해 폐놀농도가 0mg/L인 상태에서 media를 충전하지 않고 실험하였고, 나머지는 MLE type MBBR 반응조와 같은 주기로 대조구, 실험구 1, 2, 3에 대해 무산소조의 media를 50%(V/V)로 충전하여 실험하였다. AUR과 NUR batch test 모두 시료는 30분 간격으로 채취하여 실험하였다.

생물학적 탈질은 RBCOD(Readily biodegradable COD), SBCOD(Slowly biodegradable COD) 및 내생 호흡에 의해 수행되며, 3구간의 탈질과정을 구분하기 위해 식 (1)~(3)의 해석과정이 필요하다. 그러나 인공폐수의 경우 RBCOD에 대한 탈질과 내생탈질만 고려되기 때문에 식 (2)와 (3)을 사용하며, 2개의 직선 구간으로만 나눌 수 있다.

$$\Gamma_{D1} = \Gamma_{D,RBCOD} + \Gamma_{D,SBCOD} + \Gamma_{D,endo} \quad (1)$$

$$\Gamma_{D2} = \Gamma_{D,RBCOD} + \Gamma_{D,endo} \quad (2)$$

$$r_{D3} = r_{D,endo} \quad (3)$$

$r_{D,RBCOD}$: RBCOD에 의한 탈질

$r_{D,SBCOD}$: SBCOD에 의한 탈질

$r_{D,endo}$: 내생호흡에 의한 탈질

본 연구에서 질산성 질소와 아질산성 질소의 경우는 IC(Ion Chromatography, HIC 20A)를 이용하여 측정하였고 유기물과 TKN, SKN은 Standard Method에 의해 측정하였다. 페놀농도는 4-아미노 안티피린 법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 페놀농도에 따른 유기물 제거특성

Lab-scale의 MLE type MBBR을 이용하여 페놀농도에 따른 유기물제거 특성을 연구하였다. TCOD와 SCOD의 유입농도 및 유출농도, 제거효율을 대조구와 실험구 1, 2, 3으로 구분하여 Fig. 3.1에 나타내었다. 대조구 실험에서 TCOD의 유출수 농도는 평균 31.9mg/L로 92.0%의 제거효율을 나타내었고 SCOD의 유출수 평균농도는 20.4mg/L로 94.2%의 제거효율을 보였다. 실험구 1에서 TCOD의 유출수 농도는 평균 26.1mg/L로 93.1%의 제거효율을 보이며, SCOD의 유출수 농도는 9.2mg/L로 97.0%의 제거효율을 나타냈다. 실험구 1의 67mg/L의 페놀은 97.4% 이상 제거되었다. 유입수에 67mg/L의 페놀이 포함되었을 때 COD 제거율이 페놀이 포함되지 않은 대조구보다 높게 나타났기 때문에 67mg/L의 페놀농도에서는 Heterotrophs에게 저해영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 실험구 1에 이어 페놀농도 100mg/L를 함유한 인공폐수를 연속적으로 유입시킨 실험구 2에서 TCOD의 유출수 농도는 평균 39.3mg/L로 90.2%의 제거효율을 보이며, SCOD는 15.7mg/L의 유출수 농도를 나타내어 95.7%의 제거효율을 나타내었다. 실험구 2에서 페놀은 98.2%의 제거효율을 보였다. 탄소원으로 페놀만 사용한 실험구 3은 유입수의 페놀농도가 168mg/L이다. 실험구 3에서 TCOD의 유출수 농도는 26.6mg/L를 나타내었고 제거효율은 93.9%를 나타내었다. 유출수의 SCOD 농도는 13.8mg/L를 나타내어 96.7%의 제거효율을 보였다.

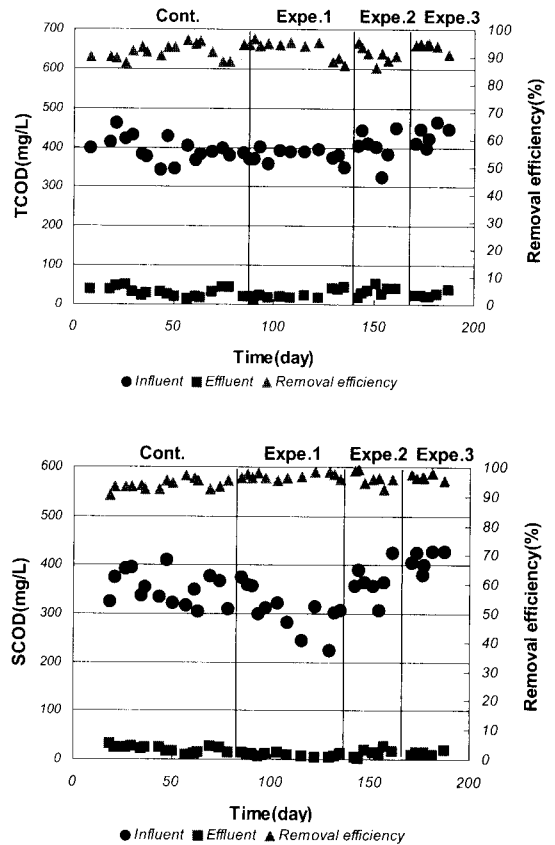


Fig. 3.1. Characteristics of TCOD, SCOD.

TCOD와 SCOD는 페놀농도별 제거효율의 차이를 보이고 있지 않다. 이는 168mg/L 이하의 페놀농도는 Heterotrophs에 저해영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 168mg/L의 페놀은 완전히 분해되며, Heterotrophs의 기질로써 충분히 활용된 것으로 사료된다.

3.2. 페놀농도에 따른 질소제거 특성

MLE type MBBR이 운전되는 동안 질소제거 특성을 파악하기 위하여 유입수 및 유출수 농도와 제거효율을 분석항목에 따라 Fig. 3.2에 나타내었다. 대조구의 TKN(Total Kjeldahl Nitrogen)과 SKN(Soluble Kjeldahl Nitrogen)의 평균 유출수 농도는 각각 6.5, 5.3mg/L이고 평균 제거효율은 각각 91.9, 93.3%를 보였다. NH_3-N 의 평균 유출수 농도는 0.62mg/L로 평균 제거율은 98.8%로 나타났고, 페놀 67mg/L를 함유한 인공폐수를 연속적으로 유입시킨 실험구 1의

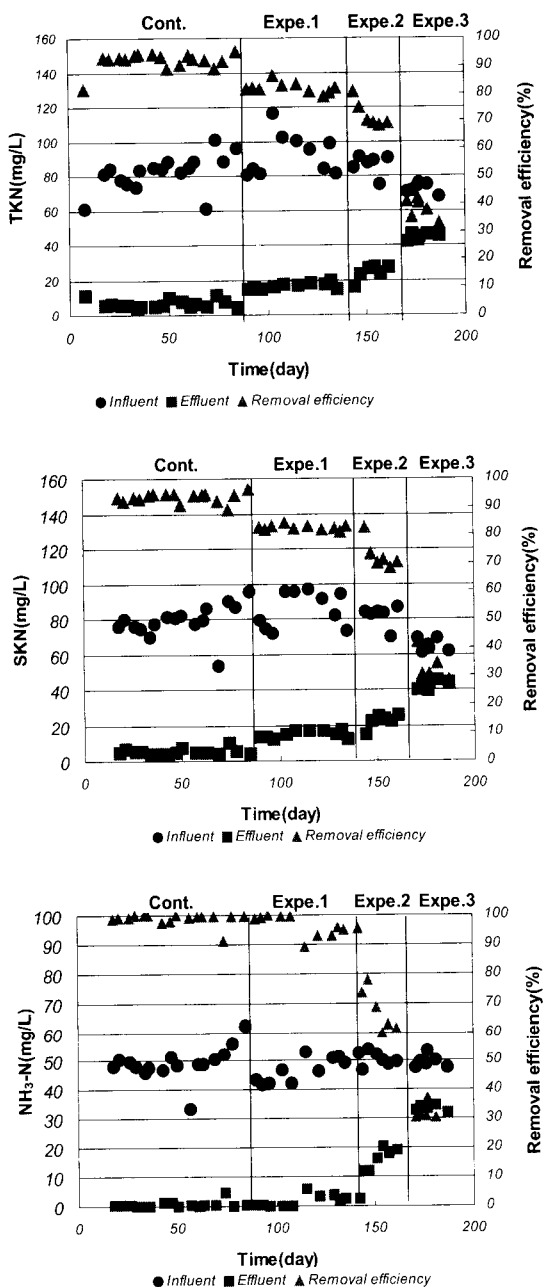


Fig. 3.2. Characteristics of TKN, SKN, NH₃-N.

TKN과 SKN의 평균 유출수 농도는 16.6, 15.0mg/L 이고 평균 제거효율은 각각 82.0, 82.5%로 나타났다. NH₃-N의 평균 유출수 농도는 1.93mg/L로 평균 제거효율은 96.2%로 나타났다.

TKN과 SKN은 67mg/L의 폐놀농도에서도 저해영

향을 보였다. 그러나 NH₃-N은 67mg/L의 폐놀농도에서 저해영향을 보이지 않았다. 실험구 1에 이어 실험구 2와 3에서 TKN과 SKN은 일정비율로 제거효율의 감소를 보였다. 실험구 2에서 TKN 유출수 농도는 24.1mg/L로 72.1%의 제거효율을 나타냈으며, 실험구3에서는 22.3mg/L의 유출수 농도로 72.6%의 제거효율을 나타내었다. SKN의 경우에는 실험구 2에서 유출수 농도가 22.3mg/L이고 제거효율이 72.6%였다. 실험구3에서는 유출수 농도가 42.4mg/L였고 제거효율이 34.3%로 큰 감소를 보였다. NH₃-N의 경우도 이와 유사한 결과를 보였으나, TKN과 SKN의 경향과 다르게 실험구1에서도 NH₃-N의 제거효율은 대조구와 차이가 없었다. 대조구부터 실험구 3까지 폐놀 농도별 NH₃-N의 유출수 농도를 보면 각각 0.62, 1.93, 16.38, 33.73mg/L를 나타내었다. 폐놀 농도별 제거효율은 98.8, 96.2, 67.4, 32.1%로 나타났다.

3.3. AUR batch test

MLE type MBBR에서 질산화를 평가하기 위해서 AUR batch test를 수행하였다. 질산화는 NH₃-N의 전환율로 측정하였으며 5가지 조건(group)을 가지고 실험을 하였다. A조건은 부유성장 미생물만 가지고 폐놀농도가 0mg/L인 상태에서 질산화를 평가하였다. B조건은 폐놀농도 0mg/L인 상태에서 부유성장 미생물과 부착성장 미생물을 가지고 질산화를 평가하였다. C조건과 D조건, E조건은 폐놀농도를 증가시켜 부유성장과 부착성장 미생물로 실험을 하였다.

A조건의 경우 3구간(phase)으로 나누어서 SNR을 산정하였다. 구간 1에서는 2.29mgNH₃-N/gMLVSS hr의 값이 나왔으며, 구간 2와 구간 3에서는 각각 7.79, 5.18mgNH₃-N/gMLVSS hr의 값을 산출하였다. 3개의 구간 중에 구간 2의 값이 높은 이유는 초기 SCOD로 인해 Heterotrophs가 성장을 하기 때문에 Auto-trophs가 성장할 여건이 이루어지지 않았다. SCOD가 40mg/L 이하로 감소하였을 때 Auto-trophs는 급격한 성장을 보였다. SCOD가 40mg/L 이하로 감소하였을 때 SNR도 가장 높았다. 구간 3에서는 NH₃-N의 전환율이 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이는 NH₃-N의 양이 절대적으로 줄었기 때문인 것으로 사료된다. NO₃-N의 생성률 또한 NH₃-N의 감소와 같은 경향을 나타내었다. 조건 B는 부유성장 미생

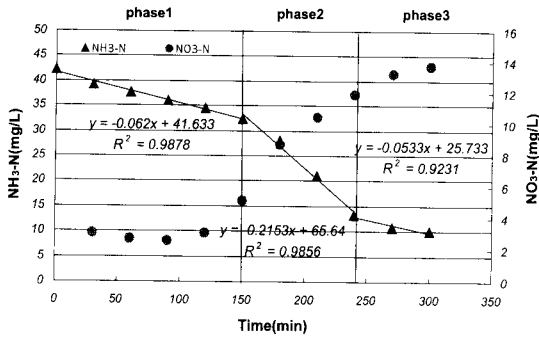


Fig. 3.3. Results of AUR batch test (group A).

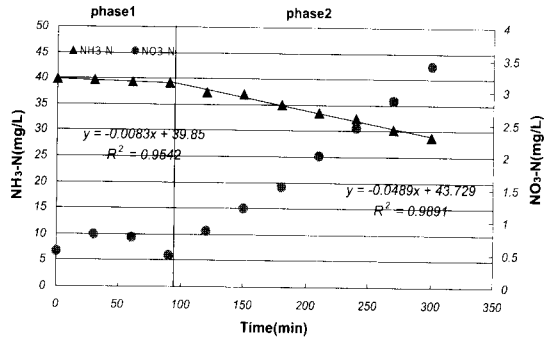


Fig. 3.6. Results of AUR batch test (group D).

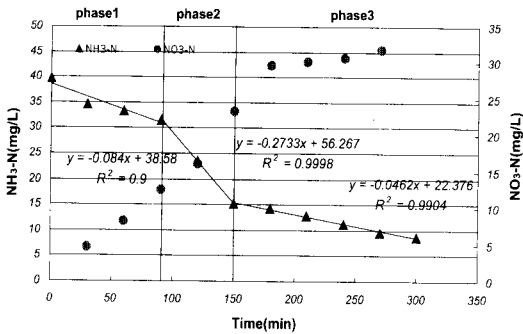


Fig. 3.4. Results of AUR batch test (group B).

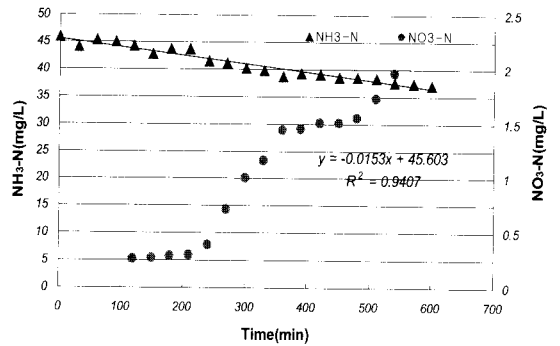


Fig. 3.7. Results of AUR batch test (group E).

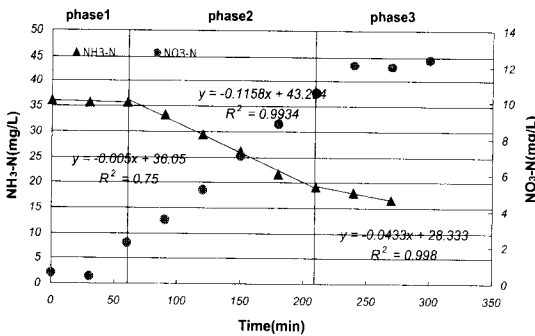


Fig. 3.5. Results of AUR batch test (group C).

물과 부착성장 미생물을 가지고 SNR을 산정하였다. 조건 A와 B의 비교로 부착성장 미생물은 질산화율의 증가에 기여한다고 할 수 있다. 이는 담체에 질산화 미생물이 고농도로 존재함을 입증한다.

조건 C와 D는 폐놀농도를 각각 67mg/L와 100mg/L로 증가시켜 부유성장 미생물과 부착성장 미생물로 질산화율을 평가하였다. 폐놀농도가 증가할 때 SNR은 감소하였다. 폐놀 0mg/L인 조건 B에서 구

간 2의 SNR은 10.12mgNH₃-N/gMLVSS hr였으나 폐놀농도가 67mg/L일 때는 6.95mgNH₃-N/gMLVSS hr로 감소하였고 폐놀 100mg/L인 조건 D에서는 1.51mgNH₃-N/gMLVSS hr로 조건 C보다 더 감소하였다. 조건 D에서는 구간 3이 나타나지 않았는데 이는 300min 이상의 시간이 필요한 것으로 사료된다.

탄소원으로 폐놀만을 함유한 조건 E에서는 다른 조건들과 다르게 구간이 구별되지 않았다. 이는 높은 폐놀농도로 인하여 질산화가 거의 이루어지지 않았음을 의미한다. 이때의 SNR은 0.35mgNH₃-N/gMLVSS hr로 모든 조건, 모든 구간을 통틀어 가장 낮은 수치이다. 폐놀 168mg/L의 농도는 완벽하게 질산화를 저해하였으며 NO₃-N의 생성률 또한 다른 조건에 비하여 월등히 낮은 생성률을 보였다. 조건 E에서의 AUR batch test 결과를 Fig. 3.7에 나타내었다.

3.4. NUR batch test

탈질율은 NO₃-N의 감소율로 측정하였으며 AUR batch test와 같이 5가지 조건(group)을 가지고 실험을

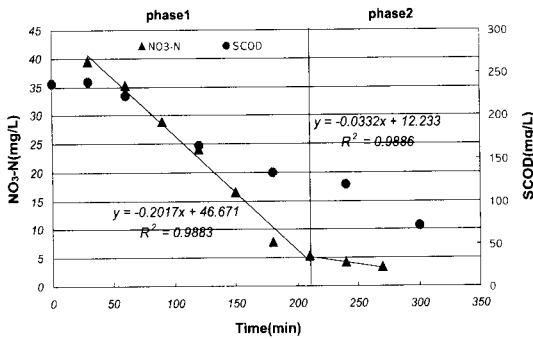


Fig. 3.8. Results of NUR batch test (group F).

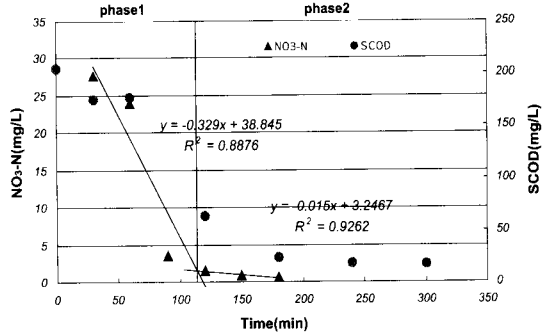


Fig. 3.9. Results of NUR batch test (group G).

하였다.

F 조건은 부유성장 미생물만 가지고 폐놀농도가 0mg/L인 상태에서 탈질율을 평가하였다. G 조건은 폐놀농도 0mg/L인 상태에서 부유성장 미생물과 부착성장 미생물을 가지고 탈질율을 평가하였다. H 조건과 I 조건, J 조건은 폐놀농도를 증가시켜 부유성장 미생물과 부착성장 미생물로 실험을 하였다. 탈질에 사용되는 유기물질의 성분에 따라 구간 1과 2로 나눌 수 있다. 구간 1은 RBCOD와 내생호흡에 의한 탈질이며, 구간 2는 내생호흡에 의한 탈질이다. F 조건의 경우 2구간(phase)으로 나누어서 SDNR을 산정하였다. 구간 1에서는 0.198mgN/gMLVSS day의 값이 나왔으며, 구간 2에서는 0.032mgN/gMLVSS day의 값을 산출하였다. NO₃-N의 감소는 SCOD의 감소와 같은 경향을 나타낸다. 조건 F의 NUR batch test를 실험한 결과를 Fig. 3.8에 나타내었다.

조건 G는 부유성장 미생물과 부착성장 미생물을 이용하여 폐놀농도 0mg/L인 상태에서 SDNR을 산정하였다. 조건 F와 비교하였을 때 조건 G의 SDNR은 증가하였음을 알 수 있다. 이는 AUR batch test와 같은 결과로 부착성장 미생물에는 탈질미생물이 포함되어 있음을 의미한다. 조건 G에서 구간 1의 SDNR은 0.322mgN/gMLVSS day로 나타났으며 조건 G의 결과를 Fig. 3.9에 나타내었다.

폐놀 농도를 67mg/L에서 168mg/L로 점차 증가하여 NUR batch test를 수행하였다. 폐놀농도에 따른 SDNR은 폐놀농도가 증가할수록 감소하였다. 168mg/L의 폐놀농도인 조건 J는 탈질이 거의 이루어지지 않은 것으로 판단되며 구간의 구별도 나타나지 않았다. 조건 H와 I의 구간 1에서의 SDNR은 각각

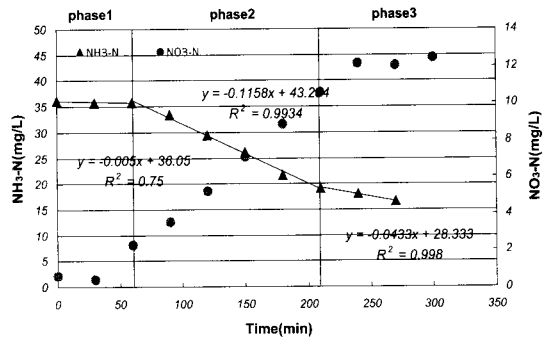


Fig. 3.10. Results of NUR batch test (group H).

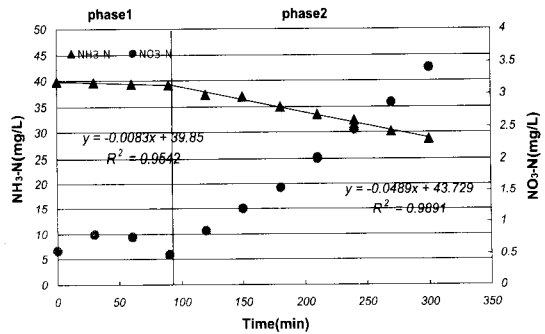


Fig. 3.11. Results of NUR batch test (group I).

0.143과 0.049mgN/gMLVSS day로 산출되었다. 조건 J의 SDNR은 구간의 구별없이 0.006mgN/gMLVSS day로 나타나 모든 조건과 구간을 통틀어 가장 낮은 SDNR을 나타내었다. 이 결과로 폐놀은 탈질미생물이 탄소원으로 사용되지 못하는 것을 의미하며 폐놀에 의해 저해영향을 받는 것으로 사료된다. SCOD 감소율은 탈질미생물이 탄소원으로 폐놀을 이용하지 못하는 것을 증명한다. 조건 H와 I, J의 NUR batch

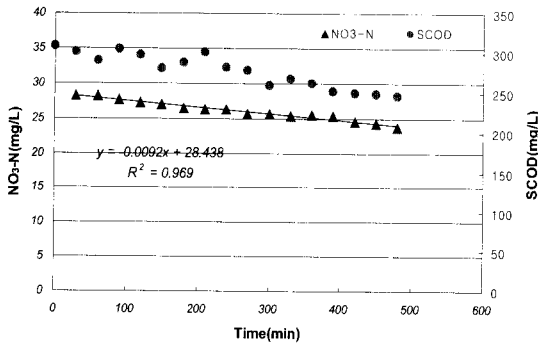


Fig. 3.12. Results of NUR batch test (group J).

test의 결과를 Fig. 3.10~3.12에 나타내었다.

모든 조건의 NUR batch test에서 NH₃-N과 SKN의 농도는 일정하였다.

4. 결론

MLE type MBBR은 전탈질 공정으로 A/O계열을 대표하는 MLE 공정에 부유 및 부착 미생물을 동시에 활용하는 MBBR을 이용한 공정으로 페놀함유폐수를 처리함에 있어 유기물과 질소의 제거 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 유기물 제거특성

페놀함유폐수의 처리에 있어 유기물 제거효율은 91% 이상의 처리효율을 보였다. 페놀이 함유되지 않은 폐수와 페놀이 함유된 폐수를 비교하였을 때 유기물 제거 시에는 페놀의 영향이 거의 나타나지 않았다. 168mg/L의 페놀농도를 나타내는 실험에서도 페놀은 기질로써 이용되었고 모든 실험에서 페놀은 97%(phenol mg/L) 이상의 제거효율을 보였다.

2) 질소 제거특성

유기물제거와는 다르게 질소제거 측면에서는 저해작용이 크게 나타났다. NH₃-N는 100mg/L의 페놀농도에서 저해영향을 나타내기 시작했으며 168mg/L의 페놀농도를 나타내는 실험에서는 32.1%까지 제거효율의 감소가 나타났다. 그러나 67mg/L의 페놀농도에서는 저해영향을 나타내지 않았다. 질산화 미생물에 TKN과 SKN은 페놀농도의 증가에 따라 일정하게 제거효율의 감소를 나타냈으며, 168mg/L의 페놀농도

에서 제거효율은 38.2%와 34.3%까지 감소하였다.

Nitrosomonas 속 미생물은 67mg/L의 페놀농도에서 저해영향을 받지 않으나 100mg/L의 페놀농도에서는 저해영향을 받기 시작함을 알 수 있다. 반면, *Nitrobacter* 등은 페놀에 더 민감하여 67mg/L의 페놀농도에서도 저해영향을 받기 시작하여 100mg/L의 페놀농도에서는 거의 활동하지 못하는 것으로 판단할 수 있다.

3) AUR batch test

AUR batch test를 통한 SNR 산정 실험에서 페놀농도에 따른 값의 변화를 비교하였다. 페놀농도 67mg/L에서 시간에 따른 SNR은 0.12, 6.95, 1.05 mgNH₃-N/gMLVSS hr로 나타났고, 페놀농도 100mg/L에서는 시간에 따라 0.26, 1.51mgNH₃-N/gMLVSS hr로 나타났다. 페놀농도 168mg/L에서는 0.35mgNH₃-N/gMLVSS hr로 나타났다. 페놀은 낮은 농도에서도 질산화에 저해영향을 미치며 페놀농도가 높아질수록 질산화율은 감소하고, 100mg/L 이상의 페놀농도에서는 질산화가 거의 이루어지지 않음을 알 수 있다.

4) NUR batch test

탈질율을 평가하기 위하여 NUR batch test를 수행하였다. 탈질반응시 이용되는 기질에 따라 구간을 구분할 수 있다. RBCOD와 내생호흡에 의한 탈질만을 비교한다면, 대조구가 0.322, 실험구 1이 0.143, 실험구 2가 0.049, 실험구 3이 0.006mgN/gMLVSS day로 나타났다. Batch test 결과를 연속식 실험결과와 연계하여 분석한다면, 페놀은 분해되어 중간 생성물이 되고 이 중간 생성물에 의해 탈질반응이 저해 되는 것으로 사료된다.

따라서, 페놀은 Heterotrophs에게는 기질로써 이용될 수 있으나 탈질미생물에게는 기질로써 전혀 이용될 수 없음을 의미한다.

참고문헌

1. 김용환, 조재현, 김무훈, 이용우 (1997) 생물막 담체를 이용한 질산화 반응 특성 연구, *대한환경공학회지*, 19(3), pp. 415-424.

2. 류홍덕, 이상일 (2006) 온도가 MLE 및 M-Dephanox 공정의 유기물, 질소 및 인 제거 효율에 미치는 영향, *Journal of Korea Society on water Quality*, **22**(1), pp. 7-16.
3. 박운지, 이해승, 이찬기, 김성근 (2004) 기존 활성슬러지 공정의 MBBR 공정 적용가능성 평가, *한국물환경학회지*, **20**(5), pp. 457-465.
4. 박희동, 임봉수, 김현용 (2003) 부유성 플라스틱 담체를 이용한 MLE공정의 하수고도처리 성능평가, *대한토목학회논문집*, **23**(5B), pp. 463-470.
5. Amor, L., Eiroa, M., Kennes, C. and Veiga, M.C. (2005) Phenol biodegradation and its effect on the nitrification process, *Water Research*, **39**, pp. 2915-2920.
6. Bjorn Rusten, Bfornar Eikebrokk, Yngve Ulgenes and Eivind Lygren (2005) Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors, *Aquacultural Engineering*.
7. E. Ubay Cokgor, S. Sozen, D. Orhon, M Henze (1999) Respirometric analysis of activated sludge behaviour-1. assessment of the readily biodegradable substrate, *Wat. Res.* **32**(2), pp. 461-475.
8. Hossein, S.H. and Borghei, S.M. (2005) The treatment of phenolic wastewater using a moving bed bio-reactor, *Process Biochemistry*, **40**, pp. 1027-1031.
9. M. Rodgers, M.G. Healy, J. Prendergast (2006) Nitrification in a vertically moving biofilm system, *Journal of Environmental Management*, **79**, pp. 242-246.
10. Michael Rodgers, Xin-Min zhan, (2004) Biological nitrogen removal using a vertically moving biofilm system, *Bioresorce Technology* **93**, pp. 313-319.
11. UBAY COKGOR, E., SOZEN S., ORHON, D., and HENZE, M. (1998) Respirometric analysis of activated sludge behaviour-1. assessment of the readily biodegradable substrate, *Water Research*, **32**(2), pp. 461-475.