

Phanerochaete chrysosporium PSBL-1을 이용한 축산폐수와 하수의 연계처리

이순영^{†*} · 조홍식 · 원찬희

*전북지역환경기술개발센터 · 전북대학교 환경공학과

(2005년 7월 7일 접수, 2006년 2월 22일 채택)

Combined Treatment of Livestock Wastewater with Sewage Using Phanerochaete chrysosporium PSBL-1

Soon-Young Lee^{†*} · Hong-Sik Cho · Chan-Hee Won

*Chonbuk Regional Environmental Technology Development Center · Environmental Engineering, Chonbuk University

ABSTRACT : We studied possibility of mixing treatment of livestock wastewater and sewage using *Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1. Our study showed that 97.6% of SS and 95% of T-P removal efficiency was achieved when 2 mL BF02(a coagulant) and 100 mL C-210EL (a cationic polymer) were added to the mixture(2:1, v/v) of livestock wastewater and sewage. We studied treatment characteristic of *Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1, after were mixed pretreated wastewater and sewage by dilution ten times about livestock wastewater. The removal efficiency of NBDCOD(non-biodegradable COD), NH₃-N and T-N was increased according to increase of pH. That is, T-N concentration of effluent was satisfied 60 mg/L by drain water waterquality standard of livestock wastewater public treatment facilities with 35 mg/L from a lapse of five days at pH 6.7, 51 mg/L from a lapse of three days at pH 8 and 33 mg/L from a lapse of one day at pH 10. Moreover COD_{Mn} concentration of effluent was satisfied 40 mg/L by drain water waterquality standard of livestock wastewater public treatment facilities after a laps of one day at all pH. Organics and nitrogen concentrations of effluent were higher case with addition of V.A. (veratryl alcohol) than case without addition of V.A.(veratryl alcohol). COD_{Mn} concentration of effluent satisfied drain water quility standard of livestock wastewater public treatment facilities from a lapse of one day, when C/N rate(3:1) of influent was not controled, T-N satisfied that from a lapse of two days, when C/N rate was controled with 4~6.

Key Words : *Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1, Livestock Wastewater, Sewage, NBDCOD

요약 : 본 연구에서는 축산폐수와 하수의 연계처리 가능성을 연구하였다. 축산폐수와 하수를 2:1로 혼합하고 응집제인 BF02와 응집보조제인 양이온 polymer인 C-210EL를 각각 2 mL, 100 mL씩 주입시 SS 97.6%, T-P 95%로 최적 제거효율을 보였다. *Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1의 처리 특성을 살펴보기 위해서 전처리수를 축산폐수 원수에 대해 10배 희석되도록 하수와 혼합(=전처리수 : 하수 = 3 : 17)하였다. 이렇게 혼합된 폐수의 NBDCOD, NH₃-N, T-N의 제거율은 pH가 증가할수록 증가하였다. 즉, T-N 농도는 pH 6.7(5일 경과시), pH 8.0(3일 경과시), pH 10.0(1일 경과시)에서 각각 35 mg/L, 51 mg/L, 33 mg/L으로 축산폐수공공처리시설의 방류수허용기준 60 mg/L을 만족하였다. 또한 모든 pH(1일 경과시)에서 COD_{Mn}의 방류수허용기준 40 mg/L을 만족했다. V.A.(veratryl alcohol) 첨가시 V.A.를 첨가하지 않은 조건보다 유출수의 유기물 및 질소농도가 높게 측정되었다. COD_{Mn}은 C/N비(3:1)를 조절하지 않은 경우 1일 이후, T-N은 C/N비를 4~6으로 조절한 경우 2일 후에 축산폐수공공처리시설 방류수수질기준을 만족하였다.

주제어 : *Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1, 축산폐수, 하수, NBDCOD

1. 서론

1990년대 초부터 축산폐수에 의한 환경오염 부하를 줄이기 위해 여러 가지 대책이 제시되고 있다. 특히 가축분뇨 처리 문제를 해결하기 위해 지난 1991년부터 1999년까지 총 1조 767억원에 달하는 자금이 투입되는 등 상당한 정책자금 지원에도 불구하고 축산환경은 크게 개선되지 못하고 있어 정책당국은 축산의 환경오염부하를 줄이기 위한 보다 효과적인 제도적 장치 마련에 부심하고 있다.¹⁾ 양축가의 입장에

서는 1999년 2월 「오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률」 및 동법 시행령의 개정으로 경영규모에 관계없이 분뇨처리가 의무화되고 법 규제가 강화되고 있어 가축분뇨처리 문제는 지속적 축산업 발전을 위해 선결되어야 할 중요한 과제로 부각되고 있다.¹⁾ 현재 운영되고 있는 축산폐수공공처리시설은 대부분 유기물 제거를 위해 혐기·호기성소화법 및 활성슬러지법에 단위공정을 추가하여 질소와 인을 제거하고 있으며, 그 외에도 A₂O, B3 Process,²⁾ 혐기성처리법, 혐기여상법, 액상부식법 등이 적용되고 있는 실정이다.³⁾ 이러한 생물학적 처리방법의 효율을 향상시키기 위하여 전처리로 부유물질을 제거하기 위한 물리·화학적 처리방법을 적용하고 있다.⁴⁾ 또한 생물학적 처리 후 방류수 수질기준을 만족하지

[†] Corresponding author

E-mail: doolli2@dreamwiz.com

Tel: 063-270-2446

Fax: 063-270-2449

못하는 경우 고도처리로 생물학적 질소·인 제거, 막분리 그리고 고도산화 등의 화학적 처리방법이 병행되고 있으나, 처리공정의 불확실성과 관리부실로 인하여 대부분이 목적하는 효과를 얻지 못하는 등 지역환경용량을 초과하고 있는 실정이다.

백색부후균의 여러 가지 화학구조가 다른 물질을 아주 낮은 농도에서부터 고농도까지 분해 할 수 있으며 불용성의 물질도 분해 할 수 있다. 또한, 질소원이 아주 적은 목재등을 영양기질로서 이용할 수 있는 능력이 있으며 오염물질에 대한 순양이 필요 없다. 특히 백색부후균 *Phanerochaete chrysosporium*은 광범위한 난분해성 오염물을 무기화하는 것으로 알려져 있고, 새로운 bioremediation의 기법으로 주목되고 있다.⁵⁾

따라서 본 연구에서는 시설비용과 운전비용이 저렴하고, 유지관리가 용이한 축산폐수처리공정을 개발하는데 있으며, 또한 백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1을 이용하여 축산폐수내 고농도의 암모니아성 질소 및 난분해성 물질을 제거하여 축산폐수공공처리시설의 규제기준을 만족할 수 있는지의 가능성을 검토하고, 기존의 축산폐수 공공처리시설의 개선 및 하수처리시설과의 연계처리 가능성을 연구하는데 있다.

2. 실험방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 대상시료

본 실험에 사용된 시료로 축산폐수는 "W" 군에 위치한 축산폐수처리장의 저류조내 폐수를, 하수는 J시 하수처리장의 초침 후 월류수를 실험대상으로 하였으며 폐수의 특성은 Table 1과 같다.

2.1.2. 사용균주

본 연구에 사용된 미생물은 백색부후균의 일종인 *Phanerochaete chrysosporium* PSBL-1로 한국생명공학연구원 유전자은행에서 분양을 받아 YMPG 고체배지⁶⁾에 15일에 한번씩 계대배양 하였으며, 액체배지에 배양하여 농축한 후 사용하였다. 배양온도는 37~39℃로 하였다.

Table 1. Characteristics of livestock wastewater

Item	Livestock wastewater concentration(mg/L)	Sewage concentration(mg/L)
pH	6.7~8.0	6.5~7.5
SS	10,270~11,633	19.6~25.1
BOD ₅	11,349~12,675	42.6~50.1
BOD ₂₀	15,888~17,111	67~81
COD _{Mn}	5,790~5,898	45.6~58.7
COD _{Cr}	19,950~26,150	80~101
T-N	2,451~2,494	17.3~24.5
NH ₃ -N	2,225~2,280	12.4~20.4
T-P	298~307	2.1~3.4
PO ₄ -P	288~299	1.8~2.4
NBDCOD	4,062~9,039	13~20

2.2. 실험방법

2.2.1. 수질분석

분석항목 중 T-N은 수질오염공정시험법, 그 외 분석항목은 Standard Methods에 준하여 분석하였다. 분석항목 및 분석방법은 Table 2와 같다.

2.2.2. 응집제를 이용한 전처리

축산폐수중의 고형물은 중력에 의해 침전이 쉽게 되지 않으므로 응집제를 이용한 응집에 의해 전처리 실험을 하였다. 응집반응은 실험실에서 여러 반응조건을 달리하여 동시에 비교실험을 할 수 있는 Jar-tester(JISICO Model J-6S)를 사용하였다. W군의 축산폐수와 하수를 2:1로 혼합하여 예비실험결과 적절한 응집제로 선정된 응집제인 BF02와 응집보조제인 C-210EL(양이온 polymer)의 적정 주입량을 결정하기 위해 각각 첨가량을 변화시키면서 폐수의 처리효율을 비교 실험하여 최적조건을 선정하였다.

2.2.3. 백색부후균 처리특성

폐수는 상기 최적 응집조건(BF02와 C-210EL의 최적주입량 2 mL, 100 mL)에서 처리된 전처리수를 축산폐수 원수에 대해 10배 희석되도록 하수와 혼합(=전처리수:하수=3:17)하여 사용하였으며 폐수특성은 Table 3과 같다.

Table 2. Methods for wastewater quality analysis

Items	Analytical methods
BOD ₂₀	5210 B. 20-Day BOD Test
COD _{Cr}	5220 C Closed Reflux, Titrimetric Method
T-N	Colorimetric Method
NH ₃ -N	4500 NH ₃ C. Nesslerization Method
T-P	4500-P C. Vanadomolybdophosphoric acid Colorimetric Method

Table 3. The characteristics of wastewater applying to *P. chrysosporium* PSBL-1

Item	Livestock wastewater (mg/L)	* Mixed wastewater (mg/L)	Pretreatment wastewater		** Dilluted wastewater
			Conc (mg/L)	Removal efficiency(%)	
COD _{Cr}	26,150	17,400	13,451	23	1,600
COD _{Mn}	5,898	3,687	1,208	67	181.4
BOD ₅	12,676	8,450	6,162	41	670
BOD ₂₀	17,111	11,300	8,316	26	945
SS	11,633	7,910	187.5	97.6	38
T-N	2,494	1,806	1,530	15	239
NH ₃ -N	2,280	1,742	1,350	23	228
PO ₄ -P	299	196	9	95	3
T-P	307	201	11	95	4
NBDCOD	9,039	6,100	5,135	16	613

* Livestock wastewater : Sewage = 2 : 1

** pretreatment wastewater : Sewage = 3 : 17

1) pH의 영향

백색부후균 *P. chrysosporium* PSBL-1을 이용한 LiP(lignin peroxidase)의 생산은 산성의 조건에서 활발하다고 알려져 있다.⁶⁾ pH에 따른 축산폐수 제거율이 변화할 것으로 사료되어 초기 pH를 2.5~10로 변화시키면서 폐수처리특성을 조사하였다.

2) Veratryl alcohol 농도의 영향

일반적으로 *P. chrysosporium* PSBL-1에서 LiP의 생산을 유도하기 위해서는 적당한 유도물질을 투입해야 한다. LiP 유도물질로 잘 알려진 veratryl alcohol을 0~0.8 mM로 농도를 달리하여 첨가시킨 후 폐수처리특성 조사하였다.

3) C/N비에 영향

본 연구에 사용된 *P. chrysosporium* PSBL-1에 의한 유기물 분해시 C/N비의 영향을 살펴보기 위해 탄소원으로 glucose를 첨가하여 C/N비 3~8로 변화시키면서 분해율의 차이를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 응집제를 이용한 전처리

W군의 축산폐수처리시설의 저류조내에 있는 원수에 하수를 2:1로 혼합하여 응집제인 BF02와 양이온 응집보조제인 C-210EL의 적정 주입량을 결정하기 위해 각각 첨가량을 변화시켜 가면서 최적조건을 확립하였다. BF02 주입량이 5 mL이고, C-210EL 주입량이 75 mL일 때 제거율 99%로 가장 좋았으나, 경제성을 고려하여 BF02 주입량이 2 mL이고, C-210EL 주입량이 100 mL일 때 SS 97.6%, T-P 95%의 제거율로 가장 적절한 조건으로 선정하였다.

3.2. 백색부후균 처리특성

백색부후균을 이용한 실험은 회분식으로 수행하였으며 폐수내 DO농도를 6~7 mg/L로 유지하기 위해 교반기의 교반속도를 150 rpm으로 유지하였다. 미생물 농도는 4,000 mg/L로 조정하여 운전하였다.

3.2.1. pH의 영향

COD_{Cr} 제거율은 5일 경과후 pH 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.7, 8, 10에서 각각 1,025 mg/L(35.9%), 542 mg/L(66.1%), 299 mg/L(81.3%), 367 mg/L(77.1%), 398 mg/L(75.1%), 377 mg/L(76.4%), 367 mg/L(77.1%)를 나타냈다(Fig. 1). NBDCOD의 경우 5일 경과후 pH 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.7, 8, 10에서 각각 594.4 mg/L(3%), 484 mg/L(21.1%), 273 mg/L(55.5%), 350.8 mg/L(42.8%), 321.1 mg/L(47.6%), 188 mg/L(69.3%), 180.7 mg/L(70.5%)로 전체적으로 pH가 증가할수록 제거율도 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 또한 pH 6.7, 8, 10의 경우 1~3일 동안 일정한 제거율을 나타내다가 4~5일 경과후 제거율이 약 20% 증가 경향을 나타냈다. 이는 미생물 대비 NBDCOD가 초기 1일 동안에 흡착된 후, 1~3일 동안 성장

한 미생물에 4일 경과후 추가 흡착되어 제거율이 상승된 것으로 판단된다. 반면에 pH 4.5와 5.5의 경우 1일~4일 동안 현저하게 증가하다가 5일 경과후 일정한 경향을 나타내고 있는데, 이는 분비된 LiP나 MnP 등에 의해 폐수내 NBDCOD 물질이 접촉시간에 따라서 서서히 제거되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 NBDCOD 제거율이 pH 4.5, 5.5보다 pH 8, 10이 높은 것은 미생물 흡착과 동시에 탈기에 의해 폐수내 휘발성 유기물이 휘발되었기 때문인 것으로 판단된다.

NH₃-N 제거율은 5일 경과 후 pH 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.7, 8, 10에서 각각 215 mg/L(5.5%), 199 mg/L(12.5%), 89 mg/L(60.9%), 76 mg/L(66.6%), 25 mg/L(89%), 9.7 mg/L(95.7%), 5.4 mg/L(97.6%)로 역시 pH 3.5이하에서는 암모니아성 질소의 제거가 미미하였다(Fig. 3). pH가 증가할수록 제거율도 증가하는 경향을 보였다. 이는 pH 8이상에서는 암모늄형태의 질소가 암모니아로 전환되어 탈기에 의한 영향이 있기 때문에 제거율이 상승한 것으로 판단된다.

T-N의 제거율은 pH 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.7, 8, 10에서 5일 경과후 각각 227 mg/L(5%), 213 mg/L(109%), 93 mg/L(61.1%), 87 mg/L(63.6%), 35 mg/L(85.4%), 21 mg/L(91.2%), 15.2 mg/L(93.6%)로 5일 경과 후 pH가 증가할수록 제거율도 같이 증가하는 경향으로, NH₃-N의 제거율과 같은 경향을 보였다(Fig. 3). pH 6.7의 경우 5일 경과후 35 mg/L, pH 8의 경우 3일 경과후 51 mg/L, pH 10의 경우 1일 경과후 33 mg/L로 하수종말처리시설의 방류수허용농도 60 mg/L를 만족하였다.

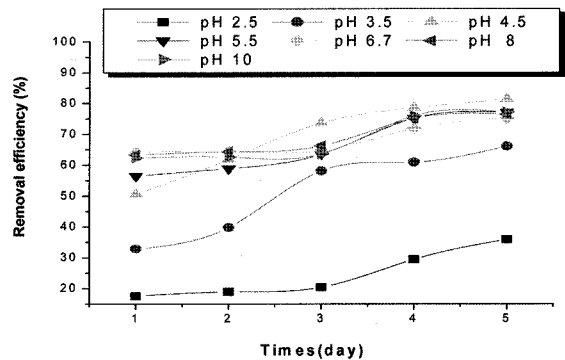


Fig. 1. Removal efficiency of COD_{Cr} in various range of pH.

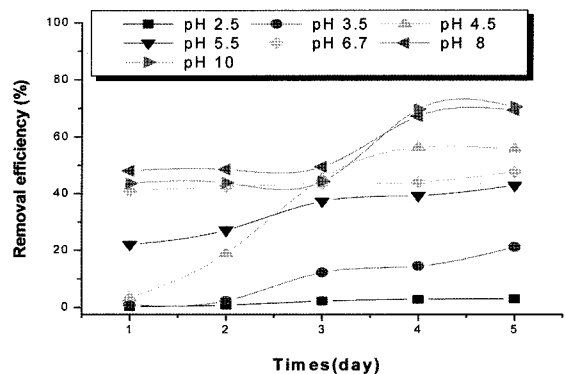


Fig. 2. Removal efficiency of NBDCOD in various range of pH.

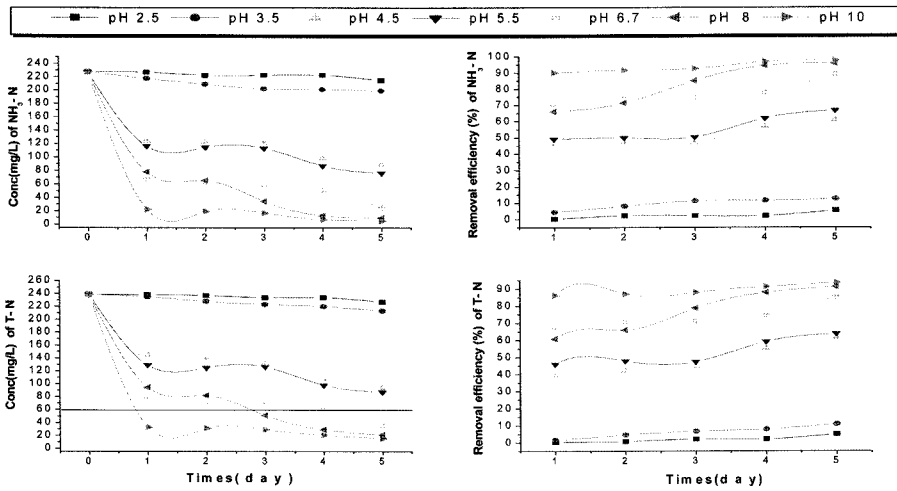


Fig. 3. Removal efficiency of T-N and NH₃-N in various range of pH.

3.2.2. Veratryl alcohol 농도의 영향

COD_{Cr}의 경우 5일 후 V.A.(veratryl alcohol)를 첨가하지 않은 경우 398 mg/L(75.1%)과 V.A.를 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 mM 첨가한 경우 698 mg/L(69.7%), 755 mg/L(74.9%), 1,124 mg/L(71.9%), 1,899 mg/L(67.3%)로 나타났다(Fig. 4). V.A.를 첨가한 경우 유출수 농도가 훨씬 높게 나타났는데 이는 첨가된 V.A.로 인해 COD_{Cr}을 유발하기 때문인 것으로 판단된다. NBDCOD의 경우 5일 후 V.A 무첨가, 0.1 mM, 0.2 mM, 0.4 mM, 0.6 mM첨가시 각각 321.1 mg/L(47.6%), 288 mg/L(79.2%), 387 mg/L(81.5%), 881 mg/L(71.5%), 1,644 mg/L

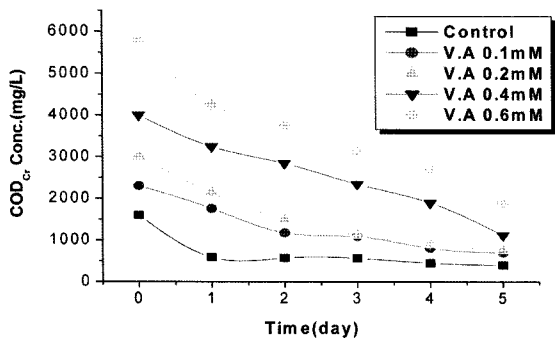


Fig. 4. Removal efficiency of COD_{Cr} in various concentration of V.A..

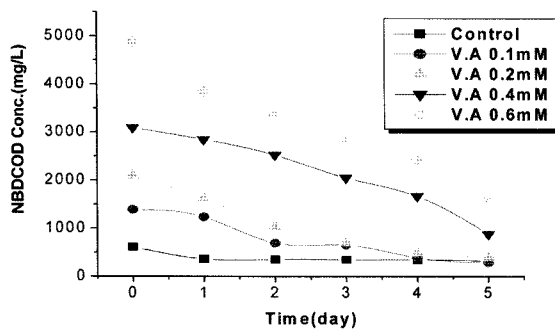


Fig. 5. Removal efficiency of NBDCOD in various concentration of V.A..

(66.3%)로 V.A.를 0.1 mM 첨가했을 경우 유출수 농도가 가장 낮게 나타났다(Fig. 5). 이는 분비된 Lip에 의한 NBDCOD 제거에 의한 영향으로 판단된다. 그러나 유입수의 NBDCOD에서 5일 후에 제거된 NBDCOD를 보면 V.A.를 0.6 mM 첨가했을 때 제거량은 3,222 mg/L로 많았으나 V.A.가 NBDCOD를 유발하기 때문에 유출수 농도도 높아진 것으로 판단된다. 따라서 적정 V.A.를 0.1 mM 첨가시 농도와 제거율 측면에서 가장 적절한 조건으로 판단된다.

NH₃-N의 경우 5일 후 V.A. 무첨가, 0.1 mM, 0.2 mM, 0.4 mM, 0.6 mM에서 각각 제거율이 25 mg/L(89%), 21 mg/L(90.8%), 65 mg/L(71.4%), 62.5 mg/L(72.5%), 72.5 mg/L(68.1%)로 V.A.를 0.2 mM 이상 첨가한 경우보다 첨가하지 않은 경우와 V.A. 0.1 mM를 첨가하여 처리한 경우 비슷한 경향으로 가장 좋았다. TN의 경우 NH₃-N과 같은 경향을 나타내고 있다(Fig. 6). 유⁵⁾의 연구결과에 의하면 질소제한 조건(0.02% 내외)에서 적정농도 이상으로 첨가된 V.A.에 의해 Lip 생산이 감소된다는 결과를 바탕으로, 0.2~0.6 mM

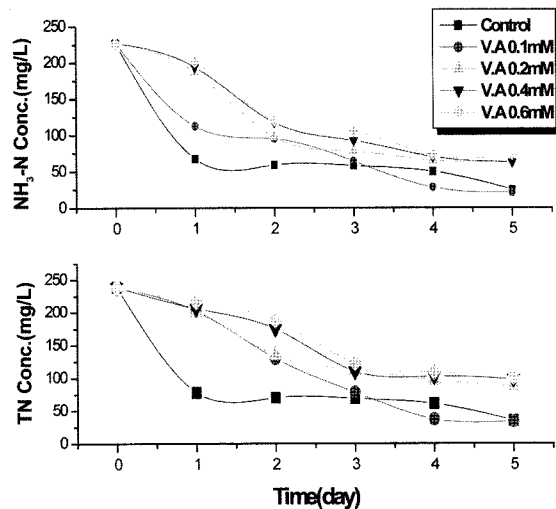


Fig. 6. Removal efficiency of T-N and NH₃-N in various concentration of V.A..

V.A. 주입시 질소제거율 감소는 Lip 생산과 미생물 성장에 필요한 질소소모량을 고려했을 때 미생물 성장에 필요한 질소만 소모되었기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.3. C/N비의 영향

전처리수의 C/N비는 약 3을 나타냈으며, glucose를 첨가하여 4~6이 되도록 조절하여 C/N비에 따른 처리특성을 조사하였다.

COD_{Cr}의 경우 C/N비 3, 4, 5, 6에서 1일 경과시 각각 유출수 농도가 589 mg/L(29.6%), 1,102 mg/L(41.5%), 1,502 mg/L(67.2%), 1,523 mg/L(77.3%)로 C/N비 3에서 가장 우수하였다(Fig. 7). 5일 경과시 각각 389 mg/L(75.1%), 645 mg/L(65.8%), 547 mg/L(74.4%), 634 mg/L(73.1%)로 역시 C/N비 3에서 가장 좋았다. NBDCOD의 경우 5일 후 유출수 농도가 각각 321 mg/L(47.6%), 361.5 mg/L(45.5%), 351.3 mg/L(53.2%), 489 mg/L(26.7%)로 나타났다(Fig. 8). C/N비(3)를 조절하지 않은 경우 제거되는 NBDCOD는 초기에 급격히 감소되어 경과일수에 따라서 완만한 증가하였으나, C/N

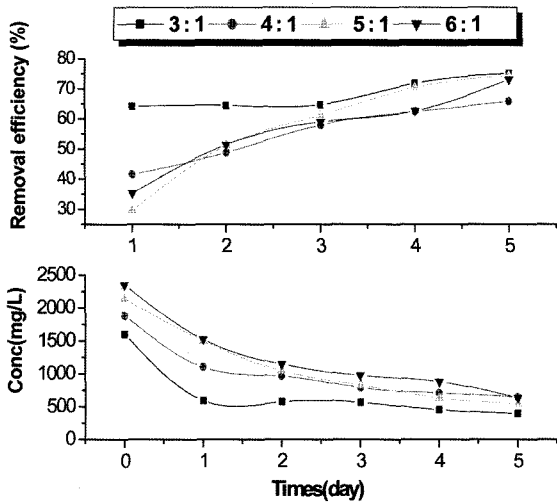


Fig. 7. Removal efficiency of COD_{Cr} in various ratio of C/N.

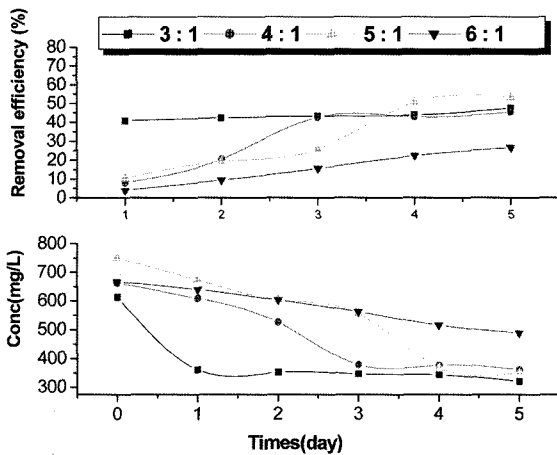


Fig. 8. Removal efficiency of NBDCOD in various ratio of C/N.

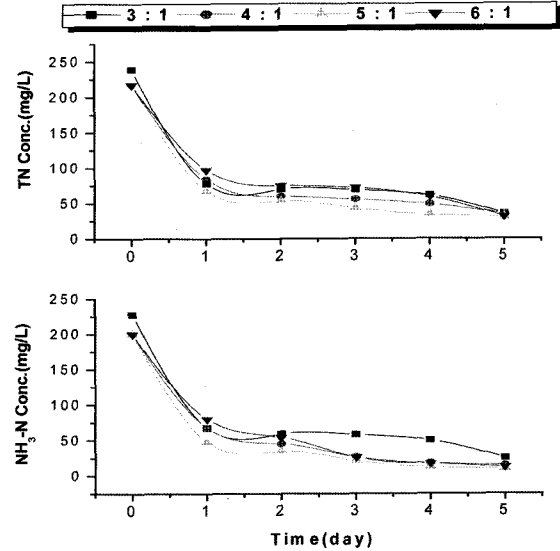


Fig. 9. Removal efficiency of T-N and NH₃-N in various ratio of C/N.

비를 4~6으로 조절한 경우 경과일수가 증가 할수록 NBDCOD 제거율은 급격히 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 5일 후 제거율을 비교했을 때 첨가하지 않은 경우가 더 좋은 결과를 보이고 있다. NH₃-N의 경우 C/N비 3, 4, 5, 6에서 5일 경과시 각각 67.4 mg/L(89%), 14.6 mg/L(92.7%), 9.8 mg/L(95.1%), 12.3 mg/L(93.9%)로 C/N비를 4~6으로 증가시킬 경우 암모니아성 질소 제거율은 상승하였다. T-N의 경우 5일 경과시 유출수 농도가 각각 35 mg/L(85.4%), 34.8 mg/L(84%), 30.1 mg/L(86.2%), 31 mg/L(85.7%)로 C/N비를 4~6으로 조절한 제거율이 약간 상승하는 효과를 나타냈다(Fig. 9).

4. 결론

축산폐수와 하수의 연계처리 가능성을 연구하기 위해 화학적 처리와 생물학적처리를 병용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) pH에 따른 처리특성을 조사한 결과 유기물의 경우 pH 8, 10이 가장 좋았으며 다음으로 pH 4.5가 좋게 나타났다. 질소의 경우 pH가 증가할수록 제거율도 증가하는 경향으로 TN은 pH 6.7에서 5일 후 35 mg/L, pH 8에서 3일 후 51 mg/L, pH 10에서 1일 후 33 mg/L로 축산폐수공공처리시설 방류수수질기준 60 mg/L를 만족하였다.
- 2) V.A. 첨가에 따른 영향을 조사한 결과 V.A. 첨가시 V.A.를 첨가하지 않은 조건보다 유기물 및 질소의 유출수 농도가 높게 측정되었다. 이는 첨가된 V.A.가 COD_{Cr} 및 NBDCOD를 유발하므로 V.A.를 첨가하지 않은 조건에서 처리하는 것이 오히려 효율적일 것으로 판단된다.
- 3) C/N비에 따른 영향을 조사한 결과 유기물은 C/N비를 상향 조절하지 않은 경우에 처리효율이 좋았으며 질소의 경

우는 C/N비를 높여주는 것이 처리효율이 좋았다. C/N비(3)를 조절하지 않은 경우 COD_{Cr}과 T-N은 5일 이후 C/N비를 4~6으로 변화시킨 조건과 비슷하거나 더 좋은 처리 효율을 나타냈다.

사 사

본 연구는 전북대학교 부설 공학연구원 도시 및 환경연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김창길, "환경친화적 축산업발전을 위한 가축분뇨 관리정책 방향," 축산폐수 문제 해결을 위한 기술 및 정책 심포지엄, (사)한국환경기술단체연합회, 고려대학교 부설 환경기술·정책연구소, 서울, pp. 137~152(2001).
2. 최용수, 홍석원, 박용배, 정일호, 김승준, "B3공법을 이용한 축산폐수의 탈질·탈인기술," 축산폐수 문제 해결을 위한 기술 및 정책 심포지엄, (사)한국환경기술단체연합회, 고려대학교 부설 환경기술·정책연구소, 서울, pp. 5~13(2001).
3. 박완철, "축산폐수의 합리적인 처리방안 및 처리기술 현황," 축산폐수 문제 해결을 위한 기술 및 정책 심포지엄, (사)한국환경기술단체연합회, 고려대학교 부설 환경기술·정책연구소, 서울, pp. 125~135(2001).
4. 어성욱, 최호준, "고농도 축산폐수의 전처리공정으로서의 Acid Fermentation과 Hydrolysis 공정의 비교 연구," 축산폐수 문제 해결을 위한 기술 및 정책 심포지엄, (사)한국환경기술단체연합회, 고려대학교 부설 환경기술·정책연구소, 서울, pp. 15~24(2001).
5. Andersson, B. E. and Henrysson, T., "Accumulation and degradation of dead-end metabolite during treatment of soil contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbon with five strains of white-rot fungi," *Appl. Microbiol.*, **46**, 647~652(1996).
6. 유원율, "백색부후균에 의한 Ligninase의 생산 및 Xenobiotics의 분해 특성에 관한 연구," 영남대학교 박사학위논문.