



## 간헐폭기 생물활성탄 유동상에 의한 매립지침출수 처리

김규연<sup>†</sup>, 이동훈\*

국립환경과학원 환경진단연구부, 서울시립대학교 환경공학부\*

(2005년 12월 5일 접수, 2005년 12월 19일 채택)

## Leachate Treatment using Intermittently Aerated BAC-Fluidizing Bed

Kyu Yeon Kim<sup>†</sup>, Dong Hoon Lee\*

Environmental Assessment Research Dept., National Institute of Environmental Research, Dept. of Environmental Engineering,  
The University of Seoul\*

### ABSTRACT

Leachate from landfill sites contains high organics, chloride and ammonium nitrogen in concentration which might be potentially major pollutants to surface and groundwater environment. Most of landfill leachate treatment plants in Korea consist of biological processes to remove BOD and nitrogen. However, the efficiencies of refractory organics removal, nitrification and denitrification have not met frequently the national effluent regulation of wastewater treatment facility, especially in winter season. Simultaneous removal of organics and nitrogen from leachate is strongly necessitated to meet the national regulation on effluents from leachate treatment facilities.

The intermittently aerated biological activated carbon fluidized bed(IABACFB) process was applied to treat real landfill leachates containing refractory organics and high concentration of ammonium nitrogen. The IABACFB reactor consisted of a single bed in which BAC fluidizing and an aerating column. The fluidized bed is intermittently aerated through the blower located at the aerating column. Experiments were performed to evaluate the applicability of Intermittently Aerated BACFB for simultaneous removal of refractory organic carbon and ammonium nitrogen of leachate. Organics and ammonia nitrogen( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) are oxidized during the aerobic stage, and nitrite-nitrate nitrogen( $\text{NO}_x^- - \text{N}$ ) are removed to nitrogen gas through denitrification reaction during anoxic state.

The IABACFB reactor condition reached a steady state within 40 days since the reactors had been operated. The blowing mode of 60 min.-On/60 min.-OFF is more compatible to remove

<sup>†</sup>Corresponding author (qykim@korea.com)

TOC and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  operated. The blowing mode of 60 min.-On/60 min.-OFF is more compatible to remove TOC and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  simultaneously than the mode of 30 min.-On/90 min.-OFF. The average removal efficiencies of TOC, the refractory organic carbon, and the average efficiencies of nitrification and denitrification were 90%, 75%, 80%, 95%, respectively.

Keywords : Leachate, Intermittent Aeration, BAC, Fluidized Bed, ORP

## 초 록

난분해성 유기물과 암모니아성 질소의 동시제거를 위해 간헐폭기 생물활성탄 유동상법을 이용하여 고농도 유기물 함유 침출수에 대하여 실험을 수행하였다. 간헐폭기시 고려되어야 하는 폭기 시간과 비폭기 시간에 대하여 실험적 검토를 수행하였고 자동컴퓨터제어 가능성에 대하여 고찰하여 보았다.

그 결과 생물활성탄 유동상 반응조에 충전한 활성탄의 물리적 흡착능은 초기의 처리효율에 크게 기여하였으며 간헐폭기 생물활성탄 유동상에 의한 침출수 처리시 정상상태에 도달하는 시간은 40일 정도이었고 TOC와 암모니아성 질소 처리시 양호한 프로세스임을 알 수 있었다. 폭기 및 비폭기시간은 60분 폭기/60분 비폭기의 조건이 30분 폭기/90분 비폭기에 비해 처리효율이 양호하게 나타났고 고농도 유기물 함유 침출수 처리실험에서 간헐폭기 생물활성탄 유동상에 의한 처리방법은 높은 TOC 제거율, 질산화율 및 탈질율, 난분해성 유기탄소 제거율을 확인할 수 있었다. 또한 간헐폭기시 ORP 곡선의 변화에서 나타나는 굴곡점은 무산소상태의 종결점을 나타내는 파라미터로 이용가능하며 이를 간헐폭기 반응조의 최적 운전모드를 설정하는데 응용할 경우 소규모 자동화가 가능할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 침출수, 간헐폭기, 생물활성탄, 유동상, 산화환원전위

## 1. 서론

높은 흡착성과 촉매성을 지니고 있는 활성탄은 분리, 정제, 촉매회수의 각 프로세스, 의약품공업, 정수처리, 폐수처리등에서 널리 이용되고 있다. 활성탄의 이용은 1925년 체코슬로바키아의 Adler가 정수처리과정에서 사용한 것이 최초로 알려지고 있으며 1927년에는 시카고에서 수도 원수중에 혼입된 페놀과 소독용염소가 반응하여 생성된 클로로페놀의 이취미를 제거하기 위해 PAC (Powdered Activated Carbon)을 사용한 이래 미국, 유럽등지에서 널리 수처리과정에서 이용되고 있다<sup>1)</sup>. 특히 정수처리등에서의 활성탄처리는 고도정수처리법의 하나로 자리잡았고 생물활성탄 (Biological Activated Carbon, BAC)이라는 단어는 본래의 활성탄흡착작용에 더하여 활성탄에

부착 증식하는 미생물의 생물학적 처리능력을 도모하면서부터 주목받기 시작하였다. 폐수처리분야에서는 활성오니법의 폭기조에 분말활성탄의 첨가, 생물막법의 생물부착담체, 고도처리등에 이용되고 있다<sup>2)</sup>.

유동상반응조는 암석, 용융슬래그, 세라믹, 플라스틱담체, 활성탄등의 여재가 반응조내에 충전되어 공기 또는 물의 상향류에 의해 반응조내에서 여재가 분산·유동한다. 여재에 대한 초기미생물 부착속도에 대한 연구로는 Bhamidimarri등<sup>3)</sup>, Kindzierski등<sup>4)</sup>이 있다. Bhamidimarri등은 Anthracite, GAC, 활성쇄석, 모래를 담체로 한 40분간의 단기부착실험에서 GAC가 가장 높은 부착량을 나타낸 것으로 보고하였다.

한편 질산화 및 탈질반응에 기초하여 많은 질소 제거 프로세스가 발표되었는데 질소제거를 위한

고도처리방법으로 Ludzack Ettinger 수정프로세스는 유입폐수의 BOD<sub>5</sub>를 탈질화반응의 탄소원으로 하고 있으며 Wuhrmann 프로세스는 사멸된 세포물질, 그리고 Bardenpho 프로세스는 유입폐수의 BOD<sub>5</sub>와 사멸된 세포물질을 탄소원으로 하고 있다. 이외에도 이들 연구와 흐름을 같이하는 방법으로 Packed Bed Denitrification Reactor, Oxidation Ditch 등이 있으며 활성오니 공법을 변형시킨 이들 방법들 외에도 인의 제거기능을 보완한 A/O, A<sup>2</sup>/O, UCT, VIP, Phostrip, P/L 등 여러 방법들이 발표되었다<sup>5)</sup>. 이들 프로세스의 반응조별 기능을 하나의 반응조내에서 수행시키는 SBR은 1900년대초에 사용되기 시작한 방법이나 70년대 말부터 80년대에 이르러서 각종 자동화장치의 개발과 더불어 사용되는 예가 증가한 방법이다.

이 방법은 반응조를 혐기상태와 호기상태로 변경이 가능하기 때문에 질소 및 인의 제거가 가능하고 운전상에 변화가 용이하여 특히 소규모처리시설로 효과적 인 것으로 알려져 있는데 하나의 반응조내에서 유입수의 유입후 교반, 폭기, 침전, 오니제거 및 방류의 공정을 침전지없이 진행시켜 처리시설 규모를 최소화할 수 있는 공정이다.

이런 혐기/호기 결합프로세스에서 생물학적 질소, 인 제거에 관여하는 미생물은 유기물제거를 주로 하는 통상의 활성오니미생물과 질산균(아질산균, 질산균), 탈질균, 인제거균(poly인산 축적균) 등 다양하고, 각각의 기능을 발휘시키기 위한 최적의 생육조건도 다르다. 그러므로 양호한 처리효율을 위해서는 처리프로세스에 혐기·무산소·호기 시간의 적절한 제어가 필요하다. 일반 도시하수 처리장의 경우 최초침전지 이후의 생물학적 공정(보통 활성슬러지법)에서 하수(유기물)가 더욱 안정한 산화물로 되기 위해서는 산화환원반응이 일어나게 된다. 비록 하수내에서는 무수한 산화환원물과 또한 반응에 있어서도 가역, 비가역반응이 동시에 또는 차례로 일어날 수 있기 때문에 ORP가 시스템의 동적인 변화를 충분히 반영한다고 단언할 수는 없지만 실험적 연구에 의해서 ORP의 적용가능성이 보고되었고 또한 실제로 그것을 이용한 폭기량조절 등의 자동화시스템으로 처리장을 운전하

는 사례도 있다<sup>6,7)</sup>.

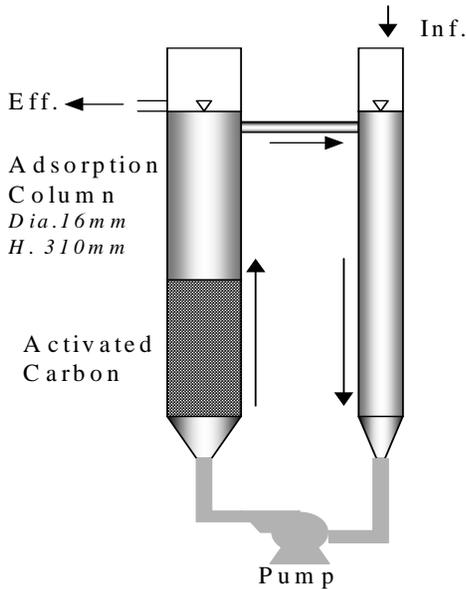
1988년 Peddie등<sup>6)</sup>은 연속회분식 반응조를 이용하여 호기-무산소 오니소화법에 따른 ORP변화에서 특징적인 두 개의 굴곡점이 나타남을 알았으며, Koch와 Oldham<sup>7)</sup>은 이런 현상이 생물학인 호흡에서 비호흡(발효)으로의 전환에 따른 현상이라고 밝혔다. 그리고 사사키등은 이런 현상을 이용하여 2조식 간헐폭기법으로 질소와 인의 동시제거에 관한 연구를 수행한 바 있는데 제1조 및 제2조에서 공히 유기물제거 및 질산화·탈질을 유도하고, 인에 대하여는 제1조에 인을 방출을 유도하고 제2조에서 인의 과잉섭취에 따른 인제거효과를 알아본 결과 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P의 제거율이 각각 98%, 80%, 89%의 우수한 제거효율이 있음을 발표하였다<sup>8,9)</sup>.

우리나라는 여전히 많은 양의 폐기물을 매립처분하고 있고 대부분의 매립지 침출수 처리시설이 난분해성 유기물과 암모니아성 질소의 질산화 및 탈질에 어려움을 겪고 있다. 본 연구는 매립지 침출수에 함유되어 있는 고농도의 난분해성 유기물을 제거함과 동시에 고농도의 암모니아성 질소의 질산화 및 탈질을 효과적으로 수행하고, 처리시설을 최소화하는데 연구의 목적을 두고 있으며, 이를 위해 하나의 반응조를 간헐적으로 폭기함으로써 반응조내의 분위기를 주기적으로 혐기와 호기상태로 변화시켜, 폭기시 유기물과 암모니아성 질소의 산화를 피하고 비폭기시 탈질을 유도하고자 하였다. 또한 난분해성 유기물의 처리효율을 제고하기 위하여 흡착성이 뛰어난 활성탄을 충전·유동시켜 생물활성탄 유동반응조(Biological Activated Carbon Fluidized Bed ; BACFB)로 운전함으로써 반응조내 미생물과 기질의 원활한 혼합을 꾀하였다. 연속주입방식을 택하여 반응조의 운전모드를 단순화하였고 별도의 침전조는 두지 않은 단일 반응조 간헐폭기 생물활성탄 유동상에 의한 물리적 흡착능 실험과 고농도 유기물함유 침출수 처리 실험을 수행하였다.

## 2. 활성탄의 물리적 흡착능

2.1 재료 및 방법

본 실험에서 매체로 사용한 입상활성탄은 일본 武田약품공업(주)의 석탄재질로 구형이며 공극 및 비표면적은 각각 10Å 및 1,000m<sup>2</sup>/g이다. 평균입경은 0.73mm 로 체분리(0.500~0.850 mm)한 후 탈이온수로 씻어 분말과 기름을 제거하고 105℃에서 24시간 건조시킨 후 용기에 넣고 진공펌프로 감압(600mmHg, 20분)하여 활성탄의 미세공극에 있는 공기를 제거한 후 4.13g을 취하여 [Fig. 1]



[Fig. 1] Schematic diagram of Fluidized Bed for adsorption experiment.

의 반응조에 충전하여 유동시켰다. 활성탄의 물리적 흡착능을 알아보기 위한 실험 조건을 위해 두 종류의 유입원수를 준비하였다. 하나는 K매립지의 침출수를 여과하여 사용하였고 다른 하나는 인공 폐수로 KHP (Potassium Hydrogen phthalate) 와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N을 이용하여 조제하였다. 유입원수의 수질 및 반응조의 조건은 [Table 1]과 같다.

유입원수는 상부로부터 미량펌프로 주입하였으며 흡착컬럼의 활성탄 팽창율은 약 50%로 설정하였고 이를 위해 순환용펌프를 부착하였다. 초기에 유입원수로 반응조를 채우고 순환펌프의 가동과 동시에 유입수를 주입하였다. 경과시간에 따라 유출유량 및 TOC, UV<sub>254</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 농도를 Shimadzu TOC Analyzer 5000 및 UV Spectrometer를 이용하여 측정하였다. 순환되는 수량이 유입수량에 비해 훨씬 크기 때문에 완전혼합반응조로 가정하였다<sup>10)</sup>.

2.2 결과 및 고찰

유입원수에 대한 유출수의 오염물질 비율(C/Co) 변화는 주입시작 2~5일 이내에 C/Co가 안정적인 곡선을 그리며 파과점에 도달하여 대부분의 물리적 흡착이 종결되는 것을 알 수 있었으며 각 물질의 활성탄 1g 당 흡착된 양은 [Table 2]에 나타난 바와 같다. 인공조제액의 경우가 성분별 흡착능이 훨씬 큰 것으로 나타났는데 이는 주입농도에 의한 원인과 침출수중 다른 많은 성분들에 의한 경쟁 흡착때문인 것으로 판단된다. 활성탄 1g당 KHP의

[Table 1] Experimental Condition for Adsorption Capacity of Activated Carbon

Influent	Leachate	Synthetic soln.
AC (g)	4.13	4.13
V (ml)	38.936	38.936
Q (ml/hr)	18.85	15.25
HRT (hr-1)	2.066	2.553
TOC (mg/l)	260.2	1725.8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/l)	1752	2648.5
UV <sub>254</sub> (cm-1)	7.864	35.3

[Table2] Equilibrium Concentration and Adsorption Capacity

Equilibrium Conc. (mg/L,cm-1)	Influent	TOC	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	UV <sub>254</sub>
	Leachate	215	1,636	7.812
	Synthetic Soln	1,718	2,093	1,952
Adsorption Capacity (mg/g-AC)	Influent	TOC	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	KHP
	Leachate	170	1,511	24.1
	Synthetic Soln	1,494	6,559	467

흡착능에 대한 자료는 Standard Method에서 제시하고 있는 방법<sup>11)</sup>에 따라 UV<sub>254</sub> (253.7nm에서 측정)의 농도와 KHP와의 관계식을 찾아 환산하였으며 본 실험의 UV<sub>254</sub>와 KHP와의 관계식은 아래와 같이 나타났다.

$$UV_{254} = -0.001143 + 0.0178KHP$$

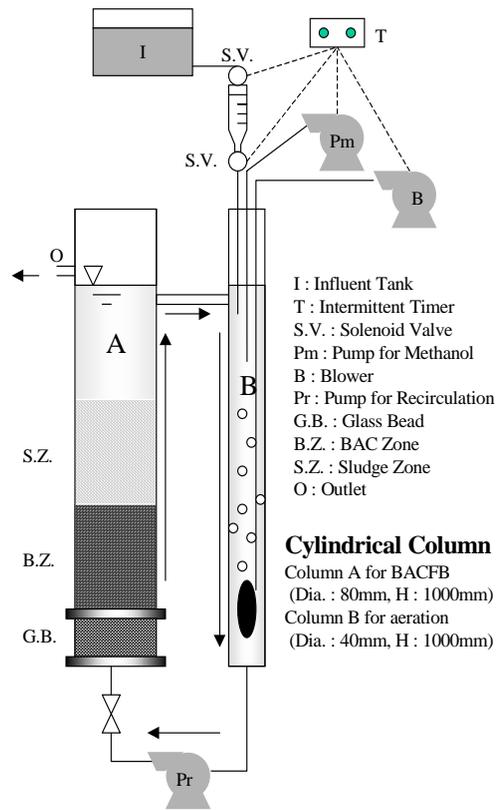
UV<sub>254</sub>는 수중의 TOC 성분중 난분해성의 비율을 나타내는 간접적인 지표로 일본의 경우는 E<sub>260</sub> (260nm에서 측정)이라는 수질측정항목으로 채택하고 있으며, 맛, 냄새, 색도등의 유발물질과 THMs 및 소독부산물(DBP)의 전구물질 양에 대한 지표로 활용되고 있다.

### 3. 간헐폭기 운전모드 실험

#### 3.1 재료 및 방법

적정 간헐폭기주기를 알아보기 위하여 [Fig. 2]의 반응조 2개를 제작하여 [Table 3]의 조건에서 운전하였다. 활성탄은 컬럼의 하부에서 상부로 펌프에 의한 순환수에 의해 유동되었고 순환율은 1.5L/min로 완전 혼합반응조이었다. 약 300g의 입상활성탄(직경 0.73mm)이 각 반응조에 충전되었으며 유동층의 부피는 1L이었다. 각 반응조는 침출수처리장의 RBC반응조의 잉여슬러지로 식충되었으며 유입량은 1.5L/day 이었다. 공기브로와는 타이머로 자동제어하였다.

본 연구에 사용된 침출수는 생활폐기물과 산업폐기물 매립지에서 채취하였으며 수질은 [Table 4]와 같다. 비폭기시간 동안 탈질반응의 전자공여체로 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도의 약 3배에 해당하는 메탄올을



[Fig. 2] Schematic diagram of Intermittently Aerated Biological Activated Carbon Fluidized Bed.

일정한 속도로 공급하였으며 인(as KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)을 침출수 1 리터당 8 mg주입하였다.

#### 3.2 결과 및 고찰

각 반응조의 유입수 및 유출수의 TOC,

[Table3] Operating Conditions of Reactors

Run	1	2
Aeration On/Off (min.)	60/60	30/90
Packed GAC (g)	300	300

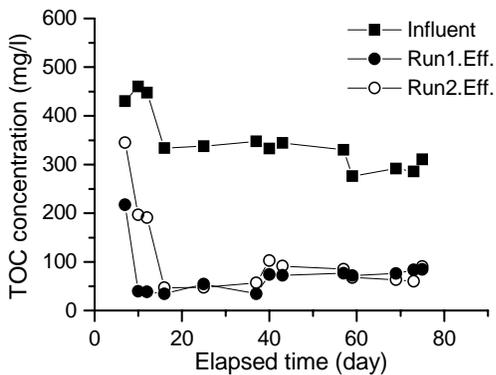
[Table4] Characteristics of Leachate

Parameter	Minimum	Maximum
TOC (mg/l)	276	460
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	417	439
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	93	106
T-N (mg/l)	445	575
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/l)	380	564
T-P (mg/l)	2.2	2.3
pH (-)	8.1	8.4

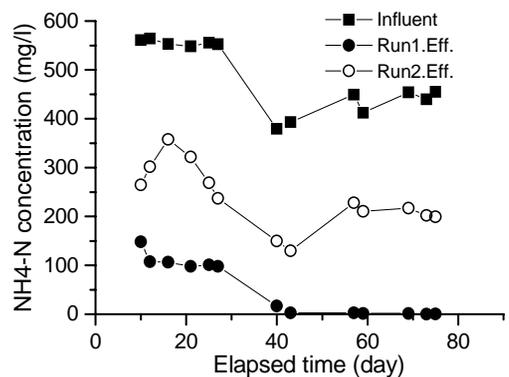
NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도를 [Fig. 3]~[Fig. 5]에 나타내었다. [Fig. 4]에서 보는 바와 같이 Run 1의 유출수 중 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 제거효율이 Run 2에 비해 높게 나타났으며, [Fig. 5]에서 보는 바와 같이 운전시작 16~28일 동안 NO<sub>x</sub><sup>-</sup>-N의 농도가 높은 이유는 탈질을 위한 메탄올을 주입하지 않았기 때문이다.

각 반응조의 TOC, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 제거효율을 [Fig. 6]에 나타내었다. 정상상태에서

각 반응조의 유입수중 TOC의 제거효율은 약 75%였으며 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 질산화율은 Run1에서 99%, Run 2에서 55%이었다. 또한 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 탈질율은 Run1에서 88%, Run2에서 47%이었다. 이로써 60분 폭기/60분 비폭기의 운전조건인 Run 1이 30분 폭기/90분 비폭기의 Run2에 비해 침출수중 TOC와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 제거를 위한 운전모드에 적합함을 알 수 있었다.



[Fig. 3] TOC variations of Run 1 and Run 2.



[Fig. 4] NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N variations of Run 1 and Run 2.

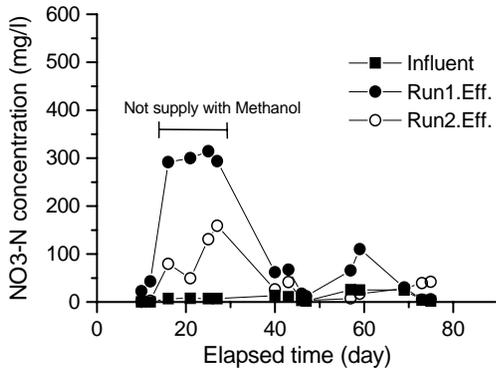
#### 4. 충전 활성탄의 양 변화

##### 4.1 재료 및 방법

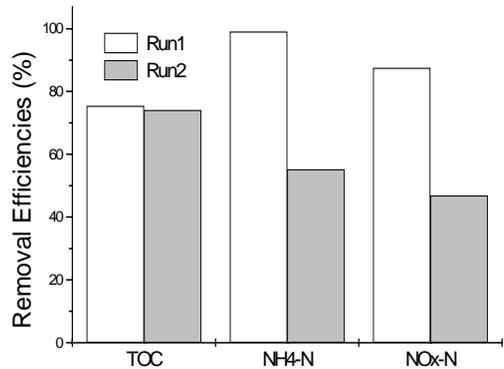
[Fig. 2]와 같은 반응조 3개에 60분 폭기/60분 비폭기의 운전조건으로 충전 활성탄의 양을 [Table 5]에 나타낸 바와 같이 Run 1에 300g, Run 2에 500g, Run 3에 700g을 충전하여 실험하

였다. 앞의 실험과 마찬가지로 순환율은 1.5L/min로 완전혼합반응조이었다. 실험에 사용된 침출수는 K매립지의 침출수로 수질은 [Table 6]과 같으며 유입량은 1.5L/day이었고 다른 조건은 앞의 실험과 동일하였다.

##### 4.2 결과 및 고찰



[Fig. 5] NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N variations of Run 1 and Run 2.



[Fig. 6] Removal efficiencies of Run 1 and Run 2.

[Table5] Operating Condition of the Reactors on High Concentration of Leachate

Run	1	2	3
Aeration On/Off (min.)	60/60	60/60	60/60
Packed GAC (g)	300	500	700

[Table6] Characteristics of the Experimented Leachate

Parameter	Minimum	Maximum
TOC (mg/l)	1,031	1,289
COD <sub>Cr</sub> (mg/l)	4,240	5,470
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	1,584	2,690
T-N (mg/l)	1,407	1,998
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/l)	1,355	1,738
T-P (mg/l)	3.85	5.59
pH (-)	7.8	8

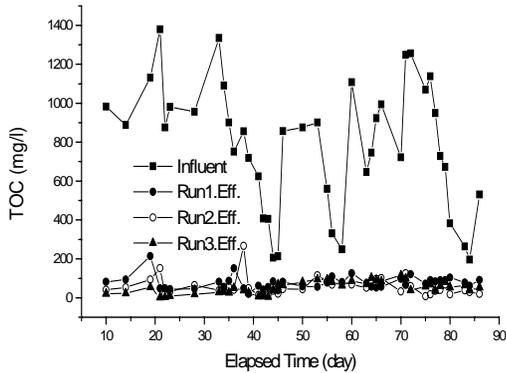
각 반응조의 유입수 및 유출수의 TOC, UV<sub>254</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 농도 변화를 [Fig. 7][Fig. 9]에 나타내었다.

반응조별 TOC, 이분해성유기탄소(EBOC ; Easy Biogradable Organic Carbon), 난분해성유기탄소(RBOC;Refractory Biogradable Organic Carbon), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 제거효율을 [Fig. 11]과 [Fig. 12]에 나타내었다. 정상상태에서 각 반응조건 제거효율의 큰 차이는 보이지 않았으며, TOC, EBOC, RBOC, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 제거효율은 각각 90%, 75%, 95%, 70%, 95%이었다. [Table 7]에는 본 반응조의 처리가 CFSTR의 1차 반응식을 따른다고 가정할 경

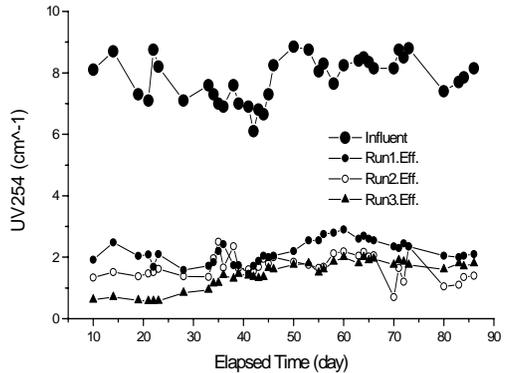
우의 TOC와 RBOC의 제거효율과 질산화율 및 탈 질산화율을 나타내었다. Run 3의 제거효율이 다른 반응조에 비해 높게 나타났으며 난분해성 유기탄소 제거효율은 충전된 활성탄의 양에 비례하였다.

[Fig. 12]는 반응조내 생물활성탄의 전자현미경 사진으로 활성탄에 구형의 미생물이 부착·증식함으로써 형성된 양호한 생물막의 모습을 볼 수 있다.

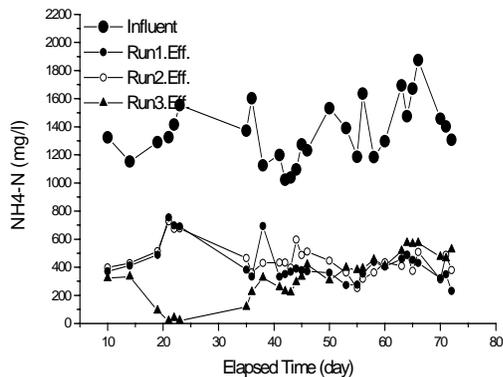
[Fig. 13]은 Run 3의 1회 운전모드동안의 산화 환원전위(ORP)의 변화에 따른 오염물질의 농도변화를 보여주고 있으며 [Fig. 14]는 ORP변화에 따른 반응조내의 상태를 나타낸 것이다. 폭기가 시작되면 DO와 ORP는 급격히 상승하고 폭기가 중



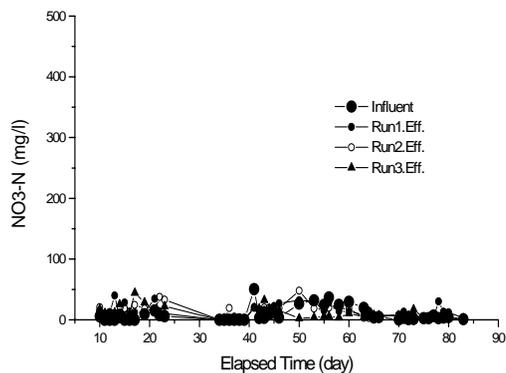
[Fig. 7] TOC variations of Run 1, Run 2 and Run 3 on high concentration leachate.

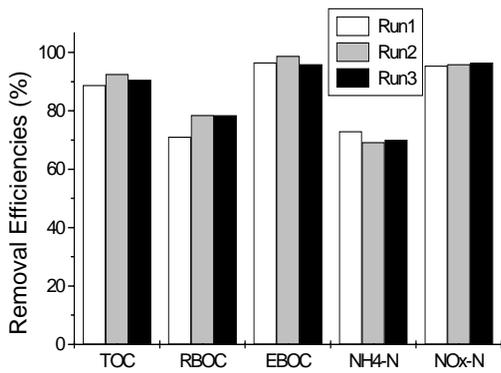


[Fig. 8] UV<sub>254</sub> variations of Run 1, Run 2 and Run 3 on high concentration leachate.

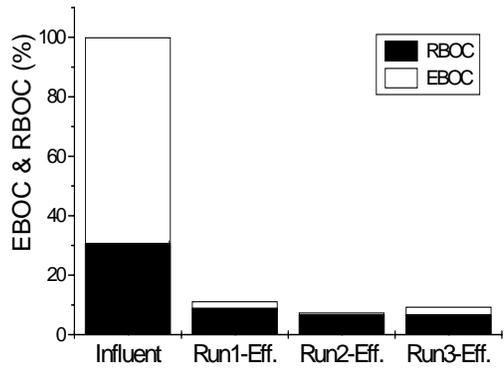


[Fig. 9] NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N variations of Run 1, Run 2 and Run 3 on high concentration of leachate.

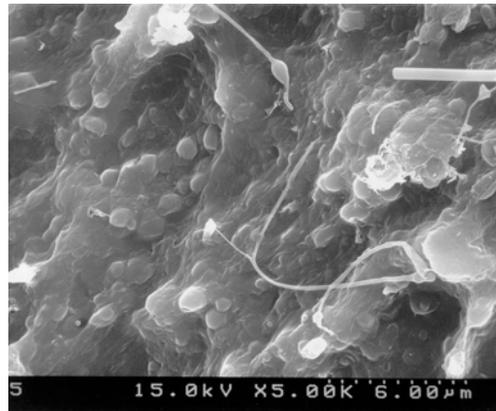
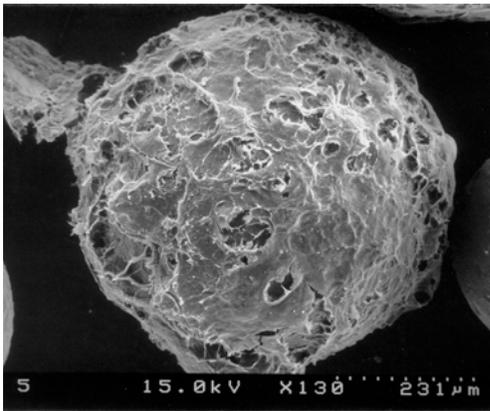




[Fig. 10] Removal efficiencies of TOC, RBOC, EBOC, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N.



[Fig. 11] Comparison of organic carbon ratios of the effluents and the influent.



[Fig. 12] SEM photographs of BAC in the reactors : (above)×130, (below)×5,000.

[Table 7] Reaction Rate Coefficients and Removal rate of TOC, RBOC, Nitrification and Denitrification

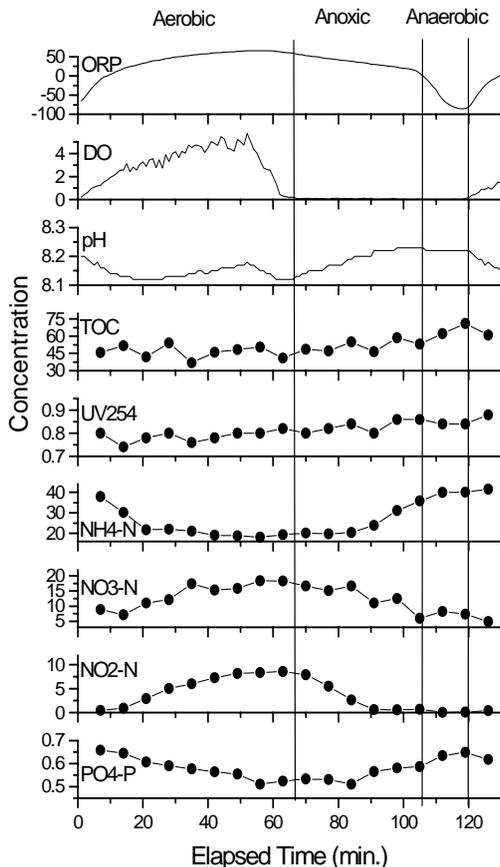
Classi.	Items	Run1	Run2	Run3
Reaction Rate Coef. (day <sup>-1</sup> )	KTOC	1.08	1.91	1.69
	KRBOC	0.34	0.56	0.64
	KN	0.74	0.69	0.82
	KDN	5.72	7.21	9.59
Removal Rate (kg/m <sup>3</sup> -day)	TOC	0.083	0.097	0.109
	RBOC	0.063	0.072	0.08
	Nitrification	0.136	0.145	0.168
	Denitrificatn.	0.13	0.146	0.162

단되면 DO가 급격히 떨어지는 반면 ORP는 서서히 감소하게 된다. 이 때 하락하는 ORP는 순간적으로 급격히 떨어지며 굴곡점(P2)을 나타내는데 이는 미생물에 의한 생화학적 반응으로 대사과정 중 전자의 이동현상에서 기인하는 것으로 판단된다. 문헌에 의하면<sup>12)</sup> 이점을 중심으로 무산소상태가 끝나고 혐기성상태가 되는데 이런 현상은 본 실험에서도 확인된 것으로 [Fig. 13]의 항목별 농도변화 추이를 통해 알 수 있다.

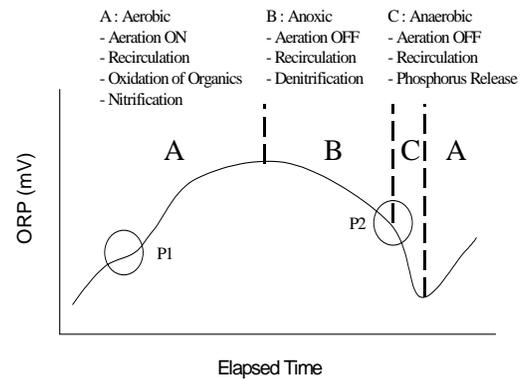
본 실험에 따르면 폭기가 시작되면 유기물의 농도 및 암모니아성 질소 그리고 인산염인의 농도는 떨어지고 아질산성 질소와 질산성 질소는 상승하게 된다. 이는 호기성 미생물의 활동에 의한 현상이며 폭기가 중단되면 유기물의 농도 및 암모니아

성 질소는 차츰 상승하고 아질산성 질소와 질산성 질소는 하락하게 된다. 한편 인산염인은 변화하지 않다가 굴곡점 부근에서부터 상승하는 현상을 보이게 되는데 이 점이 무산소의 종결점이라 판단할 수 있다.

ORP는 간헐폭기 반응조 운전시 무산소 상태의 파악을 통해 질소성분의 처리가 주목적이 되는 침출수 반응조의 운전과라메타로서 활용될 수 있을 것으로 판단되며 One Cycle 에서 운전모드를 ORP 를 이용하여 결정할 경우 폭기시간과 적절한 무산소 상태의 유지가 가능해져 불필요한 시간 및 에너지의 소모를 절약할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 적용한 컴퓨터 프로그램을 만들어 활용하면 자동화가 가능할 것으로 판단된다.



[Fig. 13] Variation of pollutant concentration compared with ORP in Run 3 during the one cycle



[Fig. 14] Change in the inner condition of reactor compared with ORP profile.

## 5. 결론

본 연구는 폐기물매립지 침출수의 난분해성 유기물과 암모니아성 질소의 동시제거를 위해 간헐폭기 생물활성탄 유동상법을 이용하여 처리특성과 처리효율을 알아 보고자 수행하였으며 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 생물활성탄 유동상 반응조에 충전한 활성탄의 물리적 흡착능은 초기의 처리효율에 크게 기여함을 알 수 있었다.

- 2) 간헐폭기 생물활성탄 유동상에 의한 침출수 처리시 정상상태에 도달하는 시간은 40일 정도임을 알 수 있었고 75%의 TOC 처리효율과 99%의 암모니아성 질소 처리효율을 보여 암모니아성 질소 처리에 양호한 프로세스임을 알 수 있었다.
- 3) 간헐폭기 생물활성탄 유동상에 의한 침출수 처리시 폭기 및 비폭기시간은 60분 폭기/60분 비폭기의 조건이 30분 폭기/90분 비폭기에 비해 처리효율이 양호하게 나타나 질소제거에 보다 적합한 조건임을 알 수 있었다.
- 4) 고농도 유기물함유 침출수 처리실험에서 간헐폭기 생물활성탄 유동상에 의한 침출수 처리시 90%의 TOC 처리효율과 80%의 질산화율, 메탄을 주입시 95%의 탈질율, 75%의 난분해성 유기탄소의 처리효율을 얻을 수 있어 유기물 및 질소성분의 처리를 목표로 하는 경우 간헐폭기 생물활성탄 유동상법이 유용한 침출수처리방법의 하나가 될 수 있음을 알 수 있었다.
- 5) 침출수중 난분해성 유기물의 처리효율은 충전된 활성탄의 양에 비례함을 알 수 있었다.
- 6) 간헐폭기시 ORP 곡선의 굴곡점은 무산소상태의 종결점을 나타내는 파라메터로 이용가능하며 이를 간헐폭기 반응조의 최적 운전모드를 설정하는데 응용할 경우 소규모 자동화가 가능할 것으로 판단되었다.

### 참고문헌

1. 日本炭素材料學會, 活性炭の基礎と應用, 講談社 (1975).
2. Committee Report, An Assessment of Microbial Activity on GAC, Journal AWWA, 73, pp. 447~454 (1981).
3. Bhamidimarri, P. F. Greenfield and P. R. F. Bell, Oxidation of Refractory Organics in Attached Growth Systems: Initial Bacterial Adsorption, J.Ferment. Technol., 65(4), pp. 449~456 (1987).
4. Kindziarski, M.R.Gray, P. M. Fedorak

- and S. E. hrudey, Activated Carbon and Synthetic Resins as Support Material for Methanogenic Phenol - Degrading Consortia - Comparison of Surface Characteristics and Initial Colonization, Water Environ. Res., 64(6), pp. 766~775 (1992).
5. 이상은, 오·폐수의 질소·인 고도처리 기술, 첨단환경기술,1, pp. 10~25 (1995).
6. Peddie, C.C., Koch, F.A., Jenkins, C.J., and Mavinic, D.S., ORP as a tool for monitoring and control of SBR systems for aerobic sludge digestion, Proc., Joint ASCE/CSCE Envir. Engrg., CSCE, Canada, pp. 171~178 (1988).
7. F. A. Koch, W. K. Oldham, Oxidation Reduction Potential-A Tool for monitoring, Control and Optimization of Biological Nutrient Removal Systems, Was. Sci. Tech., 17, pp. 259~281 (1985).
8. 佐々木康成 外5人, DOおよびORP屈曲点制御による2槽式間歇曝氣の窒素リン同時除去,用水と廢水,36(11), pp. 937~943 (1994).
9. 佐々木康成 外3人. 素・リン同時除去を目的とした2槽式間歇曝氣活性汚泥法の原理と處理性能について, 下水道協會誌, 32(385), pp. 49~58 (1995).
10. A. Imai, N. Iwami, Y. Inamori, R. Sudo, Treatment of landfill leachate with the microorganism attached activated carbon fluidized bed process, Intern. J. Environ. Studies, 41, pp. 51~63 (1993).
11. American Public Health Association, UV-Absorbing Organic Constituents, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition, Washington, pp. 5. 60~62 (1992).

12. David. G. Wareham, Kenneth J. Hall, Donald S. Mavinic, Real Time Control of Aerobic-Anoxic Sludge Digestion Using ORP, Journal of Environmental Engineering, 119(1), pp. 120~136 (1993). 