

## 침출수를 이용한 미생물 제제의 활성화에 관한 연구

이장훈 · 정준오 · 남명흔  
호서대학교 환경공학과

### Study on the Activation of Microbial Products by Using the Leachate

Jang Hoon Lee, Joon Oh Jung and Myoung Hyeun Nam  
Department of Environmental Engineering, Hoseo University

#### ABSTRACT

Activation bacteria, identified from commercial microbial products, were applied to leachate treatment. Total seven strains of bacteria *Enterobacteriaceae* spp. (5), *Bacillus* sp. (1), *Aeromonas* sp. (1) were seeded in the leachate and cultured in the shaking incubator at 25°C and 250 rpm. While cultured, they were sampled in given time intervals and the removal rates of SS, COD, BOD, T-N, and T-P were measured as indicators of leachate treatment. Through the screening test, four of 7 strains of bacteria were considered to be effective and they were named as "effective group". The capability of leachate treatment was observed on three different groups of bacteria single, effective, and total mixed. The result showed that the removal rates of COD and SS for the total mixed group were 64 and 71% respectively. BOD removal rate was reached nearly 99% by seeding of effective group and removal rates of T-P and T-N were 83 and 82% respectively. However seeding of single strain was less effective than that of any mixed group in leachate treatment.

**Keywords :** Leachate, Microbial products, Identification bacteria, *Enterobacteriaceae* spp, *Bacillus* sp, *Aeromonas* sp.

## I. 서 론

경제발전에 따른 산업활동에 따라 생활하수 및 산업폐수 등이 수질오염의 주범으로 사회적으로 큰 관심이 되고 있다. 수질오염 물질중 특히 자연에 존재하지 않는 합성유해화학물질과 부영양화를 초래하는 질소와 인 등을 함유한 유기물 및 독성물질인 농약, 난분해성 석유화합물 등에 의한 오염이 문제시 되고 있다. 이로 인해 자연생태계에 의한 자정능력이 상실되어가고 있는 실정이다.<sup>1,2)</sup>

오염물질들을 처리하는 방법은 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법 등이 있는데 과거에는 주로 물리·화학적인 처리방법을 사용하였으나 현재는 미생물들의 자정능력을 이용하여 난분해성 물질 및 고농도의 유기물 함유 폐수를 처리하는 생물학적 처리법이 주류를 이루고 있으며 선진국에서는 이미 물리, 화학적 처리에 의한 이차오염방지 및 심각한 지하수 오염의

근원을 처리하기 위해 미생물들이 잘 자랄 수 있는 환경을 조성하여 미생물이 환경에 방출된 후 난분해성 물질과 유해한 물질을 분해하여 무독성화 하는 Bioremediation이라는 기술이 개발되어 사용되어지고 있다.<sup>3,5)</sup> 이런 생물학적 정화기술에는 오염물질로 오염된 장소에 배양된 미생물을 투여해 자연 생분해 속도를 증가시켜주는 Bioaugmentation 기술, 생태계에서 극심한 환경오염물질로 다루어지는 중금속을 처리하는 Biosorption 기술, 미생물 필터를 통해 오염물질을 제거하는 Biofilters 기술, 토양이나 지하수에 존재하는 토착미생물군의 분해활성을 증대시키는 Biostimulation 기술 및 특정용기 또는 생물반응기내에서 오염물질을 생분해하는 Bioreactor 기술과 이밖에 Bioventing, Composting, Land farming 기술 등이 있다.<sup>10,14)</sup>

이러한 기술들은 환경에 존재하는 토착미생물을 이용하여 오염물질 생분해능을 극대화시키는 방법

으로 물리적, 화학적 처리방법보다 비용이 적게 들고 토착미생물을 이용하기 때문에 자연 친화적이고 완전분해가 가능하며 광범위하게 확산된 오염원을 정화하는 경우에 탁월한 효과가 있는 방법들이다. 최근의 오염물질의 생물학적 처리가 주류를 이루자 각종 오염물질 처리장에서는 시판되어지고 있는 미생물제제를 많이 사용하고 있다. 시판되어지고 있는 미생물제제의 대부분은 오염물질처리의 적용에 있어서 사전검증이나 미생물제제의 활성화에 대한 규명이 부족한 실정이다. 일반적으로 제시되어진 미생물제제의 처리특성에 따른 적용범위를 보면 일반 오폐수 처리장의 기능회복제, 산업폐수 및 산성, 당 폐수, 난분해성 처리장의 기능회복제, 호기성, 혐기성처리장의 강력 seeding제, Bacteria의 지속적인 증식 효과제, 오니침강 촉진제 등으로 복합 미생물제제라는 이름으로 시판되어지고 있다. 복합 미생물제제에서의 관여미생물에 대한 활성정도가 뚜렷이 규명되어지지 않고 오염물질에 대한 처리능도 규명 되어있지 않은 제품이 대부분이다.

본 논문에서는 시판되어지고 있는 미생물제제중 5종류를 선택하여 온도별로 미생물들을 분리동정 하였으며, 본 실험에서는 상온인 25°C에서 증식하는 미생물들을 대상으로 관여 미생물 종과 오염물질에 대한 처리능과 활성을 알아보고자 유기물질의 함량이 높은 일반쓰레기 매립지 침출수를 이용하여 수질 오염 측정 기본항목중 SS, COD, BOD, T-N, T-P를 측정하여 성상의 변화를 파악하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험재료

#### 1) 미생물 제제의 선택

본 실험에서는 많은 종류의 미생물제제중 침출수를 대상으로 미생물제제의 활성을 실험하고자 A제, B제, C제, N제, P제의 5종류의 미생물제제를 선택하여 폐수 중에서의 유효균종 분리를 위해 사용하였다.

#### 2) 침출수의 선정

본 실험에 사용된 침출수는 매립년수가 1년 6개월이 된 천안시 백석동 쓰레기 매립장에서 채취한 것으로 실험에 이용된 침출수는 집수조 침출수를 실험에 이용하였으며 사용된 침출수의 성상은 Table 1과 같다

### 2. 실험방법

**Table 1.** Characteristic data of landfill samples

pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TN (ppm)	TP (ppm)
5.7~6.7	5,740	1,435	0.62	230	14.4

#### 1) 미생물 분리동정

5종류의 각각의 시료종균제 1g을 취한 후, 50 ml의 nutrient broth에 현탁 시킨 후 각각 25°C에서 2일간 180 rpm으로 진탕 배양하였다. 이 상등액을 적당한 배율( $10^4 \sim 10^6$ )로 희석한 다음 nutrient agar 평판배지에 100  $\mu$ l를 유리봉으로 균일하게 도말한 후, 25°C에서 24시간 및 48시간 항온 배양한 다음 독립집락의 색, 크기, 외형상의 유사성을 살펴 고 왕성하게 성장한 집락들을 선별하였고, 선별된 균주들을 nutrient agar 사면배지에 접종하여 4°C 냉장고에 보관하였다.

#### (1) 분리균주의 동정

감별염색법인 Gram's stain으로 분류학상 지표가 될 수 있는 그람양성균과 음성균을 확인하였으며 분리 동정된 균을 group화하기 위하여 생화학적 동정 시험을 하였다.<sup>8,9)</sup>

#### 2) 분리균주의 활성도 검사

오염물질 처리에 있어서 혼합균주와 단일균주와의 활성도 차이를 알아보기 위하여 단일균종의 활성도 검사에서 우수하다고 판정된 균종 A-6, C-5, N-3, P-9의 4종의 group과 총 7종의 분리 동정된 균종을 group으로 하여 혼합균종의 활성을 알아보고자 하였으며 각각의 혼합균종이 주입된 침출수 시료를 항온진탕기에서 25°C, 250 rpm으로 연속 배양하면서 연속배양중 0, 24, 48, 72, 168시간대에 sampling하여 pH, BOD, COD, SS, T-N, T-P를 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 미생물 분리동정

각각의 종균제에서 분리 동정된 균종을 Table 2에 나타내었다.

### 2. 분리된 균종의 활성도 조사

#### 1) pH의 변화

미생물은 대체로 강알칼리성이나 강산성의 조건에서는 활성을 보이지 못한다.<sup>20,21)</sup> 강알칼리와 강산성의 미생물은 세포성분이 가수분해되거나 변성

**Table 2.** Identified microorganisms at 25°C

실험명	균주명	A-6	B-2	B-3	C-5	N-3	P-8	P-9
Gram's stain		-	+	+	-	-	-	-
MacConkey		투명	-	-	투명	Pink	투명	pink, 점액성
Litmus Milk		alkaline	acid fer-	alkaline	alkaline	alkaline	alkaline	alkaline
Lactose		-	-	-	-	A	A	A
Dextrose		A	A	A	A	A	A	AG
Motility			+		-	-	+	-
H <sub>2</sub> S		-		-		-	-	Gas, -
NO <sub>3</sub>		-		NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	-	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
Indol		-		-		+	+	-
MR			-	-	-	+	+	+
VP			-	-	-	+	-	+
Citrate		+	-	-	+	+	-	+
Urease		-			-			
Catalase		+	+	+	+	+	+	+
Oxidase		-	-	-	-	-	-	-
Gelatine		-	-	-	-	-	-	-
Starch			-	-	-	+	-	-
O/F		weak F			F/gas	F/gas	F/gas	F/gas
Organism		<i>Enterobac- teriaceae</i>	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Aeromonas</i> spp.	<i>Enterobac- teriaceae</i>	<i>Enterobac- teriaceae</i>	<i>Enterobac- teriaceae</i>	<i>Enterobac- teriaceae</i>

을 일으킬 수 있고 사멸할 수도 있다.<sup>6)</sup> 각종 세균의 증식에는 최소, 최적, 최대로 성장할 수 있는 pH의 범위가 있어. *Escherichia coli*의 경우 최소 pH가 4.0, 최대 9.0까지 증식을 할 수 있으나 최적 pH의 범위는 6.0~7.0 이다. *Thiobacillus thiooxidans*는 최소 pH 1.0에서도 성장을 할 수 있으나 보통 이렇게 극한 상황에서 활성을 보이는 미생물은 자연계에서 극소수이고 보통 세균의 적정한 pH의 범위는 5.8~8.8 내의 범위이다.<sup>9)</sup>

분리된 균종을 투입한 시료와 대조군의 pH가 같은 경향을 보이는 것으로 보아 침출수 자체 내에 포함된 미생물들이 유기물을 분해하는데 관여하고 있음을 추측할 수 있다. pH의 값은 질산화 세균의 비증식속도( $\mu_{max}$ )에 큰 영향을 미친다. Dowing 등에 의하면  $\mu_{max}$  값은 pH 7.2~8.0에서 비교적 안정적이지만 pH 7.2 이하에서는 저하된다고 보고하고 있다.<sup>11)</sup>

본 실험에서의 pH의 변화경향을 보면 48시간을 기준으로 pH 8.0 이상으로 증가하는 경향을 보이는

데 이것은 질산성질소 또는 아질산성질소가 질소가스로 전환됨에 따라 탄산이 중탄산으로 전환되어졌기 때문에 pH가 상승되었다고 보고된 사실과 비교해볼 때 같은 이유로 pH가 상승함을 알 수 있었다.<sup>17)</sup> 대조 군에서도 pH가 점차 상승하는 경향으로 미루어보아 침출수 자체 내에 생존하고 있는 미생물을 분리 동정해 보는 실험이 필요하리라고 생각된다.

우수균종으로 판정된 혼합균종을 주입한 침출수 시료와 분리 동정된 모든균종을 혼합한 침출수 시료에서의 배양시간에 따른 pH의 변화경향을 Fig. 1에 나타내었다. 우수균종을 혼합한 침출수 시료와 모든 균종을 혼합한 침출수 시료의 초기 pH는 7.1~7.8사이로 나타났었다. 위의 세 가지 경우의 혼합균주에 대한 시간에 따른 pH 경향은 점차로 증가하여 168시간에는 pH 9.03~9.63의 값을 나타내어 대조 군보다 약간 높게 증가되었다.

## 2) SS의 변화

생물학적 처리방법에 있어서 분자량 500 이하의

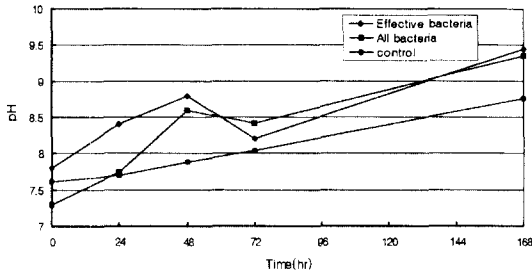


Fig. 1. Change of the pH in the mixed bacteria inoculated leachate with the identification microbial products.

저분자 유기물질은 미생물에 의해 쉽게 분해가 되는 것으로 보고되고 있으며 분자량이 500~10,000인 humic acid, fluvic acid 등과 같은 물질은 생물학적으로 분해되기 어려운 난분해성으로 생물학적 처리로는 다소 어려움이 있다고 보고되어 있다.<sup>12)</sup>

우수균종의 혼합 균을 함유한 침출수 시료와 모든 균종을 함유한 침출수 시료에서의 배양시간에 따른 SS 변화 경향은 Fig. 2에 나타내었다. 우수균종을 함유한 침출수 시료와 모든 균종을 혼합한 침출수 시료에서의 변화 경향을 보면 초기 0시간에서 24시간을 거치면서 계속 감소하는 경향을 보였으며, 72시간대에 초기농도보다 급격히 감소하고 있다. 모든 균종이 혼합된 침출수 시료는 초기 1.51 mg/l에서 168시간에는 0.62 mg/l로 감소하여 약 60%의 제거율로 가장 우수한 SS 제거율을 나타냈다. 이러한 변화 경향을 단일균종의 활성도 검사에서 SS 제거에 가장 우수한 활성을 나타낸 C-5균종과 비교해 볼 때 C-5균종이 초기 0시간 1.76 mg/l에서 72시간까지 계속 증가하다 72시간 이후부터 감소하여 168시간에는 1.04 mg/l로 약 41%의 제거율을 나타낸 것과

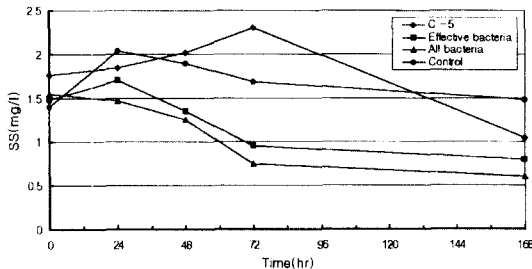


Fig. 2. Change of the SS concentration in the mixed bacteria inoculated leachate with the Identification microbial products.

비교해 볼 때 SS의 제거는 모든 균종을 혼합하였을 경우가 SS 제거에 대하여 가장 우수한 활성을 보였고 우수균종을 혼합한 침출수도 활성이 좋게 나타남을 알 수 있었다.

3) COD의 변화

응집제를 이용한 물리화학적 처리에 관한 연구는 1970년대부터 시작되었는데 연구결과에 의하면 COD의 제거율이 약 40%로 낮은 제거율을 나타내고 있다.<sup>13,14)</sup> 이러한 낮은 효율은 유기물의 분자량, 분포 특성과 밀접한 관계가 있기에 비교적 고분자량의 유기물질이 존재하는 고령화된 침출수의 경우에는 COD 제거율이 50% 이상으로 비교적 높은 유기물의 제거효율을 나타내고 있다.

우수균종을 혼합한 침출수 시료와 모든 균종을 혼합한 침출수 시료에서의 연속배양중 시간에 따른 COD의 변화경향을 Fig. 3에 나타내었다. 혼합균종에 대한 변화경향을 보면 초기 0시간에서 24시간까지 약간의 감소를 나타냈으며 계속적으로 48시간과 72시간까지 안정된 감소의 경향을 보여 새로운 오염물질에 대한 적응력이 뛰어난을 알 수 있었고 COD의 평균 제거율은 64% 나타났고, 이것은 대조군의 제거율 23.6%에 비해 훨씬 우수한 활성이 있음을 판단할 수 있다. 단일균종의 COD 제거에 우수한 활성을 나타낸 A-6 균종은 0시간에서 24시간까지 COD값이 증가하다 이후부터 감소하여 최종적으로 64.2%의 제거율로 우수균종을 모두 혼합한 경우의 COD제거율 56%보다 약간 높게 나타났으나 감소경향의 안정화면에서 우수혼합균종의 경우보다 불안정함을 알 수 있었다.

모든 균종을 혼합한 침출수 시료의 경우 초기 0시간의 COD값 2145 mg/l에서 168시간에는 625 mg/l로 감소해 약 71%의 제거율로 우수한 COD 제거율

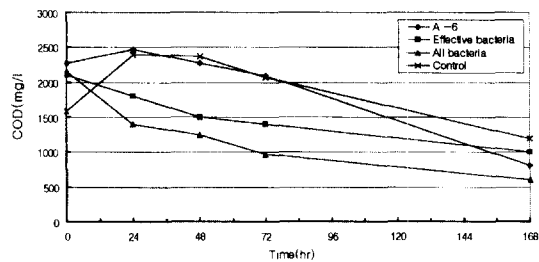


Fig. 3. Change of the COD concentration in the mixed bacteria inoculated leachate with the Identification microbial products.

을 나타내었다. 우수균종으로 판정된 4종의 균종을 혼합한 시료의 경우도 COD 제거율이 56%로 나타났으며 대조군과 비교해 보더라도 우수한 제거율을 나타냄을 알 수 있었다.

4) BOD의 변화

우수균종을 함유한 침출수 시료와 모든균종을 함유한 침출수 시료에서의 시간의 변화에 따른 BOD의 변화경향을 Fig. 4에 나타내었다. 모든균종의 혼합균을 주입한 침출수 시료와 우수균종으로 판정된 A-6, C-5, N-3, P-9 균종의 혼합균을 주입한 침출수 시료의 배양시간에 따른 BOD의 제거 경향은 시간이 지남에 따라 계속 감소하는 경향으로 72시간까지 꾸준한 감소를 나타냈으며 이후 168시간까지는 약간의 감소를 보였다. 특히 BOD에 우수한 활성을 보인 혼합균주는 우수균종을 혼합한 경우로써 초기의 BOD값 3600 mg/l에서 72시간에는 201.34 mg/l로 많은 감소를 했고 최종적으로 168시간에서의 BOD의 제거율이 약 99%로 완전한 처리가 이루어졌다. 이러한 활성은 대조군과 단일균종의 활성도 검사에서 우수한 BOD 제거율을 나타낸 N-3 균종과 비교해 볼 때 안정화된 감소와 BOD 제거율을 나타냄을 알 수 있었다.

5) T-P의 변화

폐수처리의 유기물질 제거에 있어서 질소와 인의 제거는 3차처리가 요구되는 등 처리에 있어서 난점이 되고 있다.<sup>18,19)</sup> 혼합균종에 의한 T-P의 변화경향을 Fig. 5에 나타냈다. T-P 변화경향은 우수균종을 모두 혼합한 침출수시료와, 모든균종을 혼합한 침출수 시료의 배양시간에 따른 T-P 경우 초기 0시간에서 72시간까지 차츰 감소하여 72시간 이후부터 168시간까지는 완만한 감소를 보이고 있다. 대조군의 T-P의 감소경향은 24시간까지 증가하다 48시간 이후부터 안정된 감소를 나타냈다. 혼합균종이 모두

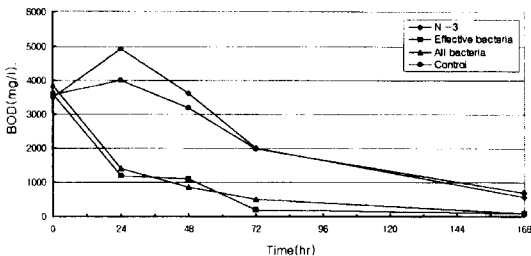


Fig. 4. Change of the BOD concentration in the Mixed bacteria inoculated leachate with the Identification microbial products.

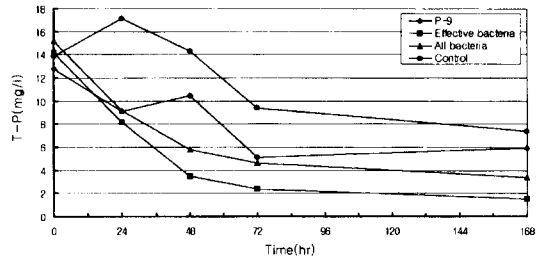


Fig. 5. Change of the T-P concentration in the Mixed bacteria inoculated leachate with the Identification microbial products.

대조군보다 안정된 감소를 나타냈고 가장 우수한 활성을 나타내는 혼합균종은 우수균종을 모두 혼합한 경우로서 초기 16.2 mg/l에서 168시간에는 2.64 mg/l로 약 83%의 제거율을 나타냈다. 대조군과 단일균종의 활성도 검사에서 T-P의 제거에 우수한 활성을 나타낸 P-9 균종의 활성을 비교해 볼 때, 대조군의 경우 46%, P-9 균종은 53%의 제거율로 혼합균종에 의한 T-P의 제거율이 월등히 우수함을 알 수 있었다.

6) T-N의 변화

수계환경오염의 하나인 부영양화를 초래하는 주요한 오염물질은 질소와 인이다. 또한 암모니아성 질소는 수중의 용존산소를 소비하고 어독성이 있다. 보통 질산성 질소의 생물학적 처리메카니즘은 질소 제거시 독립영양미생물인 질산화 세균에 의해 질산성 질소 또는 아질산성 질소로 전환되고 탈질 반응에 의해서 세포합성에 이용되거나 질소가스로 방출되어 제거가 되어진다. 이러한 질소의 제거를 위해서는 독립영양세균의 성장온도, pH, 산화환원전위, 영양물질 등의 조건이 적절하게 유지되어야 한다. 암모니아나 아질산성 질소의 산화에 기여하는 미생물은 유기물을 직접 에너지원으로 이용하지 않고 암모니아나 아질산성 질소의 산화에 의해 에너지를 얻고 탄산가스나 무기성 탄소화합물을 환원·동화하여 증식하는 미생물들이다.<sup>5)</sup> 일반적인 질산화 반응의 최적 pH는 8.0~8.4라고 보고하고 있다.<sup>15,16)</sup> 혼합균종에 의한 활성도 실험에서 우수균종을 혼합 주입한 침출수 시료, 모든 균종을 혼합한 침출수 시료의 배양시간의 변화에 따른 T-N의 변화 경향을 Fig. 6에 나타내었다. 혼합균주에 의한 T-N의 전체적인 변화 경향은 초기 0시간에서 24시간까지 약간의 감소를 하다가 24시간부터 72시간까지 급격히 감소하여 72시간 이후부터는 완만한 감소를 나타내었다. 특히 우수

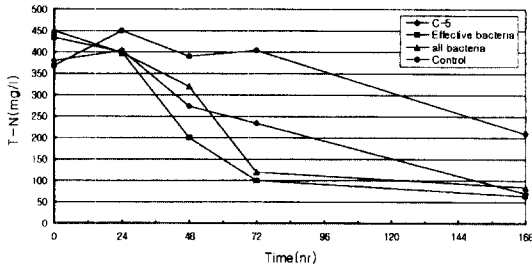


Fig. 6. Change of the T-N concentration in the mixed bacteria inoculated leachate with the Identification microbial products.

균종을 모두 혼합한 침출수 시료의 경우 초기 T-N 값 425 mg/l에서 72시간에는 98 mg/l로 많은 감소를 했고 최종적으로 약 82%의 T-N 제거율을 나타냈으며 대조군과 비교해 볼 때 T-N 제거에 가장 우수한 활성을 나타냈다. 또한 모든 균종을 혼합한 시료의 경우에도 약 75%의 높은 제거율을 나타냈다. 단일균종의 평균 T-N 제거율이 37.5%, 가장 우수한 활성을 나타낸 C-5 균종의 경우 초기 0시간에서 24시간까지 증가하다 차츰 감소하여 약 81%의 높은 제거율을 나타냈으나 변화경향에 있어 혼합균종에 비해 안정화되지 못함을 알 수 있었다.

## V. 결 론

5종의 미생물제제로부터 25°C에서 분리 동정된 환경미생물을 이용하여 매립지 침출수에 대한 SS, BOD, COD, T-N, T-P를 측정하고 결과 분리균의 정화능 및 활성에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 25°C에서 분리 동정된 균종은 *Enterobacteriaceae* spp 5종, *Bacillus* sp 1종, *Aeromonas* sp 1종으로 총 7종의 균종을 분리해 냈다.

2. 분리균종의 활성도 검사에서 SS의 제거율은 분리된 7종의 균종을 혼합한 경우가 약 60%의 제거율을 나타냈으며 COD의 평균 제거율은 64%로 대조군의 제거율 23.6%와 단일균종 C-5와 비교해 볼 때 우수한 분해율을 나타냈고 가장 높은 제거율을 나타낸 것은 7종의 균종을 혼합한 경우로 71%의 제거율을 나타냈다.

3. BOD의 제거율은 4종의 우수균종을 혼합한 경우가 초기 3600 mg/l에서 168시간에는 201 mg/l로 감소해 약 99%의 우수한 제거율을 나타냈다.

4. T-P와 T-N의 제거율은 4종의 우수균종을 혼

합한 경우가 가장 제거율이 우수했으며 각각 83%와 82%의 제거율을 나타냈다.

5. 분리된 균종의 단일균종과 혼합균종에 대한 활성을 알아보기 위하여 실험한 결과 단일균종보다 우수혼합균종과 함께 모든균종을 혼합한 경우가 활성의 상승작용으로 인하여 활성도가 안정적이며 효과적임을 알 수 있었다

## 참고문헌

- 1) 이수영, 박종연 : 개량된 호기성 생물처리공법에 의한 침강성 및 처리효율 향상, 대한환경공학회지, **18**(10), 1195-1208, 1996.
- 2) 고정삼, 고영환, 김권수, 양상호, 강경수 : *Acinetobacter calcoaceticus*에 의한 유지와 탄화수소의 분해, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **20**(4), 477-482, 1992.
- 3) 권기석, 윤병대 : Bioremediation 기술개발과 미생물의 역할, *생물산업*, **9**(3), 17-24, 1966.
- 4) 정경훈, 양영기, 임채영, 최형일, 허윤희 : 곰팡이와 활성슬러지를 이용한 전분 및 당 폐수처리, *한국수질보전학회지*, **12**(1), 81-88, 1966.
- 5) 박우균, 정광용, 신응배 : 변형된 혐기-호기법을 이용한 폐수처리에 관한 연구, I. 유기물 농도 변화에 따른 영향, *한국수질보전학회지*, **12**(4), 409-416, 1966.
- 6) Logan, Terry J. : *Environmental Science and Technology*, Vol. 27/Issue 3, Williams & Wilkins, 1997.
- 7) Christensen, L.H., et al. : *Landfilling of waste : Leachate*, Elsevier Science Publishers, 1992.
- 8) Faddin, F.M. : *Biochemical tests for Identification of medical Bacteria*, Williams & Wilkins, 1980.
- 9) Atlas, R.M. and Bartha, R. : *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications*, 한국학술진흥재단, 1991.
- 10) Young, L.Y. and Carl E. Cerniglia. : *Microbial transformation and degradation of toxic organic chemicals*, Wiley-Liss, Inc, 1995.
- 11) Verstratate, W., et al. : Adaptation to nitrification by activated systems treating highly nitrogenous waters, *JWPCF*, **52**(12), 1604-1608, 1992.
- 12) Christensen, T.H., et al. : Treatability characteristics of landfill leachate, *Applide Science*, 107-115, 1992.
- 13) Robinson, H.D., et al. : The treatment of leachate from waste in landfills-I, *Water Res.*, **17**(11), 1537-1548, 1983.
- 14) Bull, P.S., et al. : Biological technology of the treatment of leachate from sanitary landfills, *Water Res.*, **17**(11), 1473-1983, 1994.
- 15) Mcarty, P.L. : Biological process for nitrogen removal; Theory and application, proceedings 12th Sanitary Engineering conference., 1970.

- 16) Hultman, B. : Biological nitrogen reduction studies as a general Microbiological Engineering process, *Env. Engineering*, edited by Linder, G. *et al.*, **2**(1), 1452-1459, 1993.
- 17) 이장훈 : 실험환경미생물, 동화기술, 291, 1996.
- 18) Pedro, J., J. Alvarez and Timothy M. Vogel. : Substrate Interaction of Benzene, Toluene, and para-Xylene during Microbial Degradation by pure Culture and Mixed Culture Aquifer slurries. *Applied and Environmental Microbiology*, **57**(10), 2981-2985, 1994.
- 19) Shen Hai and Yi-Tin Wang : Simultaneous Chromium Reduction and phenol Degradation in a Co-culture of *Escherichia coli*. ATCC 3456 and *Pseudomonas putida* DMP-1. *Applied and Environmental Microbiology*, **61**(7), 2754-2758 (1991).
- 20) Jimenez, L.F., *et al.* : Mineralization of Linear Alkylbenzene Sulfonate by a Four-Member Aerobic Bacterial Consortium, *Applied and Environmental Microbiology*, **57**(5), 1566-1569, 1990.
- 21) Yang, Ching-Hong *et al.* : Role of Copper Resistance in Competitive Survival of *Pseudomonas fluorescens* in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, **59**(2), 580-584, 1989.