한국생물공학회지 제 14권 제 6호
Korean J. Biotechnol. Bioeng.
Vol. 14, No. 6, 731-736(1999)

염색폐수 처리를 위한 미생물 선별 및 염료 탈색

최 광 근 · 이 영 락 · [1]김 의 용 · [2]유 영 제 · [3]김 상 용 · †이 진 원
광운대학교 공과대학 화학공학과, [1]서울시립대학교 공과대학 화학공학과
[2]서울대학교 공과대학 응용화학부, [3]한국생산기술연구원
(접수 : 1999. 12. 2., 게재승인 : 1999. 12. 17.)

Isolation of Dye-degrading Microbes for the Treatment of Dyeing Wastewater and Dye Decoloring

Kwang-Keun Choi, Young-Rak Lee, Eui-Yong Kim[1], Young-Je Yoo[2], Sang-Yong Kim[3], and Jin-Won Lee†
Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
[1]Department of Chemical Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea
[2]School of Chemical Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
[3]Korea Institute of Industrial Technology, Chonan, Chungnam 330-820, Korea
(Received : 1999. 12. 2., Accepted : 1999.12. 17.)

87 microbes were isolated from dyeing wastewater collected at Dongducheon and Banweol industrial complex. Five microbes showed excellent ability of color removal and were identified as *Shewanella putrefaciens, Aeromonas salmonicida* (3 different strains), and *Pseudomonas vesicularis*. Five identified strains had optimal pH and optimal temperature as 7.0 and 30℃ for cultivation, and showed morphological characteristics of Gram negative, oxidase negative, rod shape, and non-motility, but their biochemical characteristics were distinguishable. Each single strain of five microbes were tested in the 500 mL flask to treat dyeing wastewater, and achieved about 35% color removal efficiency in average. When two strains were selected and applied to the treatment at same time, color removal efficiency was increased up to 65%. While three or more associations of each strain did not show the improvement of color removal. Inhibition effects by Mn^{2+} and Fe^{3+} on the dye degradation were tested and resulted in no effect under 70 ppm concentration.

Key Words : isolation, optimization, color removal, dye wastewater

서 론

염색공업이 발달함에 따라 매우 다양한 염료가 생성되어 오염원이 다원화되었고, 분해 및 제거가 어려운 상태로 배출되고 있는 실정이다. 전체 산업 폐수 발생량에서 볼 때 염색공업 관련 업체는 총 폐수 배출업체 중 약 6%를 차지하고 있으며, 폐수배출량은 약 4.5%를 차지하고 있지만, 오염 부하량은 전체의 약 24%를 차지하고 있어 매우 큰 환경 문제를 일으키고 있다(1). 이러한 산업폐수는 과거에는 오염정도가 저농도이면서도 독성이 낮아 간단한 장치들과 일률적인 관리체계만으로도 충분히 처리할 수 있었다. 그러나 현재에는 과거에 비해 폐수에 함유된 물질들이 다양화되고 오염도도 높아 더욱 효율적이면서도 경제적인 방법으로서의 기술개발이 요구되고 있는 실정이다.

† Corresponding Author: Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
Tel : 02-940-5172, Fax : 02-909-0701
E-mail : jwlee@daisy.kwangwoon.ac.kr

산업폐수의 일반적인 처리 방법으로는 생물학적, 화학적, 물리적 방법이 있으나, 1980년도 이후부터는 처리 단가가 비교적 낮으며, 2차 오염물의 발생이 적은 생물학적 처리, 또는 생물학적 처리와 화학적 처리를 병행하는 경향이 두드러지고 있다(2). 생물학적 처리는 생분해 속도가 느리고 주변 환경인자에 의해 커다란 영향을 받지만, 자연현상을 이용하기 때문에 에너지 사용량이 적어 경제적이고, 미생물의 대사작용에 의하여 오염물질이 무해한 기본 원소들로 바뀜으로써 부수적인 2차 오염물질의 발생이 적어 별도의 추가 처리가 필요하지 않는 장점을 지니고 있다(3). 이에 따라 효율적인 산업폐수 처리 방법으로서 생물학적 처리 방법도 다양한 기술개발과 함께 많은 연구들이 지속되고 있는 추세이다(4-7).

이러한 생물학적 처리 방법을 이용하여 염료를 제거하는 연구는 최근에도 많이 수행되어 왔는데, 안승구 등(8)은 균주를 활성슬러지폭기조에서 운용하여 95%의 염료 제거율을 얻었으며, Cripps 등(9)은 *Phanerochaete chrysosporium*을 이용해 아조계 염료의 생분해를 조사하였는데, 혐기적 조건하에서 우수한 염료 제거율을 얻었다고 보고하고 있으며, Pasti 등(10)은 *Streptomyces*

균주를 사용하여 안트라 퀴논계 염료에 대한 실험에서 염료의 분해능은 효소의 활성과 관계가 있다고 보고하고 있다. 또한 Crawford 등(11)은 *Flavobacterium* sp. ATCC 39723 균주를 사용한 분해능 조사에서 세내효소를 분비하여, 아조계 염료를 분해한다고 보고하고 있고, 배재근 등(12)은 *Geotrichum candidum* Deco 11을 이용한 분해능 조사에서 반응성 염료에 대해 활성이 높다고 보고한 바 있다.

이와 같이 생물학적 처리 방법으로써 특정화합물, 난분해성 물질, 중금속 등의 분해 미생물에 대한 연구 및 균주 개발(13-16)은 지난 수십 년간 발전을 거듭해 왔지만, 더 효율적으로 염색폐수를 처리하기 위해 다양한 우수 균주를 분리·선별하고, 각 균주의 분해능을 파악하여 보다 효율적으로 이들 미생물을 관리, 배양, 서식시키는 방법의 개발이 아직도 필요한 실정이다.

본 연구에서는 염색 공장의 폐수에서 염색폐수 분해능이 뛰어난 균주를 선별한 후, 선별된 균주의 특성을 규명하여 최적 배양 조건을 확립함으로서 우수 균주를 확보하고자 하였다. 선별된 단일균주 및 각 단일균주의 조합을 통한 효율적인 염색폐수 처리조건을 파악하여 염색폐수의 분해 효율을 높일 수 있는 방법을 연구하였다.

재료 및 방법

균주의 선별 및 동정

본 실험에 사용된 균주는 동두천 및 반월공단의 염색단지에서 채취한 염색폐수를 균원시료로 하여 멸균된 증류수로 희석한 후 희석액을 염료가 포함된 고체상태의 완전배지에 도말하여 고체배지의 투명한 지역에서 분리 및 선별하였다. 균주 동정 시 많이 이용되고 있는 방법으로는 세균의 분류방식인 Bergey식과 구소련 및 동구지역에서 이용되는 Krassilinikov의 분류법, 그리고 프랑스를 비롯한 유럽 및 아프리카의 일부 등지에서 쓰이고 있는 Prèvot분류법 등이 있다. 현재 우리 나라에서는 Bergey의 분류방식에 많이 따르고 있으므로, 본 연구에서 선별된 균주를 Bergy's manual(17)과 Medical bacteria manual(18)에 따라 동정하였다. 선별된 5종의 균주에 대해 동정을 실시하였으며, api 20 NE kit를 사용하였다. kit를 사용하기 전에 균주의 형태 및 생화학적 특성을 조사하기 위해 Gram stain과 oxidase test를 시행한 후 kit에 적용하여 24시간 경과 후 실험 결과를 분석하였다.

균주의 보관

미생물의 장기보관은 0.5 mL의 살균된 glycerol과 0.5 mL의 최대 활성을 지니는 시점까지 배양시킨 배양액을 혼합해 -15℃에서 냉동 보관하였다. 단기보관용으로는 미생물이 번식하고 있는 상기의 배지를 1억배로 희석한 용액 1 mL를 한천배지에 골고루 도말하여 군집이 보일때까지 배양한 후 4℃에서 냉장 보관하였다. 실험을 준비할 때에는 살균한 루프(loop)를 사용해 저장된 미생물을 1백금이씩 취하여 균체를 증식시킬 배지에 접종시켰다.

배지조성 및 배양방법

본 연구에서 사용한 균주의 분리와 보관을 위한 액체배지는 사상균 종류를 분리하기 위해 potatodextrose 배지를, 일반 박테리아류를 분리하기 위해 nutrient broth를 사용하였다. Potatodextrose 배지는 potato infusion 200 g과 bacto-dextrose 20 g에 증류수를 가하여 1 L가 되게 하였고, nutrient broth는 peptone 5 g과 meat extract 3 g에 증류수를 가하여 1 L가 되게 첨가하였다. 고체 배지는 상기 조성에 아가(1.5%, w/w)를 첨가하여 사용하였다. 각 배지를 사용할 때에는 121℃, 1.5기압으로 20분간 살균한 후 사용하였다. 균주의 예비배양은 500 mL 진탕배양용 삼각플라스크를 사용하였으며 30℃, 150 rpm 조건하에서 진탕배양기(shaking Incubator SI-900R, Jeio Tech Co. Korea)에서 배양하여 실험에 사용하였다.

선별된 균의 pH 및 온도에 대한 균체증식 영향 실험

배양시간, 초기 pH 및 온도에 따른 균체증식의 영향에 대하여 각각 조사하였다. 초기 pH의 균체증식에 대한 영향은 pH 3~pH 10까지 pH를 1씩 변화시켜 가면서 30℃에서 배양하여 조사하였고, 초기 pH의 조절은 살균된 1 N NaOH와 1 N HCl을 사용하였다. 온도가 균체증식에 미치는 영향은 20~40℃까지 10℃간격으로 pH 7에서 배양하여 조사하였다. 균체증식의 측정은 선별균이 최대활성을 지닐 때의 광학밀도(optical density, OD)를 UV spectrophotometer (CECIL 3000 series, England)로 측정하였으며, 미생물 검출파장은 600 nm를 사용하였다. 미생물 검출 시, 미생물 검출파장과 염료 검출파장이 비슷하여, 이 오차를 제거하기 위해 원심분리 전과 후의 광학밀도 차이를 이용하여 미생물의 농도를 측정하였다.

폐수 처리를 위한 실험

염색폐수 처리 실험은 합성폐수를 만들어 수행하였다. 합성폐수는 염료와 미생물 배양 배지를 섞어 제조하였다. 사용된 염료는 오영산업(주)에서 구입하였으며, 염료명은 suncron navy blue S-SF이었고, 아조계 분산성인 염료를 사용하였다. 염료의 최대흡수파장을 구하여 염료 탈색 측정시 기준으로 사용하였다. 염료 검출 파장 및 미생물 검출 파장이 유사하여 실험 시 원심분리를 통해 미생물을 제거하고 상등액을 취한 후 염료의 최대 흡수 파장에서 탈색 정도를 구하였다. 폐수처리 실험환경은 교반속도 150 rpm, 온도 30℃, 호기조건 하에서 수행하였다.

위에서 선별된 5가지의 균주를 합성폐수에 각각 접종시켜 염료 탈색율을 측정하였고, 5가지 균주의 여러 조합을 만들어 합성폐수에 각각 접종시켰을 때의 염료 탈색율을 측정하였다. 조합은 균주 2종, 균주 3종, 균주 4종, 균주 5종을 선택하여 동시에 합성폐수에 접종하여 실험하였다. 전배양을 통해 최대의 활성시점까지 배양한 균주를 합성폐수 부피의 1%양을 접종하였다.

미생물의 활성도에 대한 중금속의 영향

합성폐수 내에서 미생물에 의한 염료 탈색 처리시 중금속이 미생물의 활성에 저해를 주는 정도를 파악하기 위해, Fe^{3+}, Mn^{2+}을 선정하였다. 중금속을 농도별로 주입한 후 1시간 동안 중금속이 미생물의 활성에 미치는 영향을 광학밀도를 측정함으로서 조사하였다. 각각의 중금속 농도는 50, 70, 100, 300 ppm으로 하여 측정하였다.

결과 및 고찰

균주 분리 및 동정

삼원색 염료와 배지를 사용하여 제조한 고체배지 상에서 87가지 균주를 분리하였으며, 염료 탈색 정도를 기준으로 계속된 분

리 실험을 통해 우수 균주 5종을 선별하였다. 선별된 5종의 균주들에 대해 동정 전에는 임의로 명명을 하여 실험에 사용하였으며, 동정을 실시한 후 정확한 이름으로 수정하였다.

분리한 87가지 균주 중 탈색율이 우수한 균주를 선별하기 위해 염료 탈색 정도를 실험하였다. 분리한 균주 중 우수한 탈색을 보이는 5종의 균주를 최종 선별하여 염료 탈색을 측정하였으며, 폐수처리 실험에 적용하였다.

우수 균주로 선별된 5가지 균주에 대해 api 20NE kit를 사용하여 동정하였다. 동정 전에 형태학적 특성을 파악하기 위해 Gram stain과 oxidase test를 선행하였다. 동정한 5가지의 균주는 모두 Gram negative, 비장내 세균이었고, oxidase test에서는 음성을 보였으며, 모양은 짧은 rod형, 운동성은 없는 균주였고, pH 7.0, 30℃에서 최적 성장을 보였다. 동정한 후 각 균주에 대해 정확한 명명을 하였는데, NBR3A는 *Shewanella putrefaciens*, NAY1A는 *Aeromonas salmonicida*, NAR1A는 *Pseudomonas vesicularis*, NBY1A는 *Aeromonas salmonicida*, NBY3A는 *Aeromonas salmonicida*로 각각 동정되었다. 동정한 결과를 Table 1에 보였다.

선별 균주의 초기 pH 및 온도에 따른 영향 탐색

초기 pH 및 온도에 따른 균체 증식에 관하여 각각 조사하였다. 초기 pH에 따른 균체증식의 영향은 pH 3~pH 10까지 pH를 1씩 변화시켜가면서 30℃에서 배양하여 조사하였고, 초기 pH의 조절은 살균된 1 N NaOH와 1 N HCl을 사용하였다. NAY1A는 pH 7, 8에서 성장이 양호하였으나, pH 3, 4, 10에서는 전혀 성장이 없었다. NAY1A에 대한 pH의 영향을 Figure 1에 보였다. NAR1A는 pH 7에서 최적을 보였고, pH 3, 4, 10을 제외한 넓은 범위의 pH에서 성장이 양호하였다. NBY1A는 pH 8에서 최적을 보였고, pH 3, 4, 10에서는 성장을 보이지 않았다. 결과적으로 중성 부근(pH 6~pH 8)에서는 성장이 양호하였으며, 강산 및 강염기성 부근에서는 균체에 미치는 영향이 현저하게 작용하여 균체 성장에 많은 영향을 준다고 할 수 있다. 그러나 조합을 통한 실험에서 NAR1A+NBY3A 조합을 염기성 염색폐수(반월 염색공단 폐수, pH 10.6)에 접종했을 때 하루만에 pH 8.8로 되었다. 이것은 조합을 함으로써 2종의 균주가 서로에게 영향을 끼쳐, 단일 균주로서는 pH 10에서 전혀 성장을 보이지 않았으나, 조합을 함으로써 pH 10.6에서 성장을 보였고, 하루 경과 후 pH 8.8이 된 것으로 사료된다. 따라서 단일 균주만으로는 중성 염색폐수 처리에는 무난하나, 강산 및 강염기성 염색폐수의 처리에는 문제점이 있어, pH 조정 등의 전처리가 필요하지만, 조합을 통해 강염기성 염색폐수에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1. Morphological and biochemical characteristics of the isolated strains.

Character	NBR3A : *Shewanella putrefaciens*	NAY1A : *Aeromonas salmonicida*	NAR1A : *Pseudomonas vesicularis*	NBY1A : *Aeromonas salmonicida*	NBY3A : *Aeromonas salmonicida*
Gram reaction	negative	negative	negative	negative	negative
Cell shape	rods	rods	rods	rods	rods
Motility	negative	negative	negative	negative	negative
Optimum temperature	30℃	30℃	30℃	30℃	30℃
Optimum pH	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Oxidase test	non-enteric bacteria	non-enteric bacteria	non-enteric bacteria	non-enteric bacteria	non-enteric bacteria
Reduction of nitrates to nitrites	+	+	-	+	+
Indole production	-	-	-	-	-
Glucose acidification	-	-	-	-	-
Arginine dihydrolase	-	-	+	-	-
Urease test	-	-	-	-	-
Esculin hydrolysis	+	+	+	+	+
Gelatine hydrolysis	+	+	-	+	+
β-galactosidase	-	-	-	-	-
Glucose test	-	+	+	+	+
Arabinose test	-	-	-	-	-
Mannose test	-	-	-	-	-
N-acetyl-glucosamine	-	+	-	-	-
Maltose test	-	+	-	+	+
Gluconate test	-	+	-	+	+
Caprate test	-	+	-	+	+
Adipate test	-	-	+	-	-
Malate test	-	-	-	-	-
Citrate test	+	-	+	-	-
Phenyl-acetate test	+	+	+	+	+
Cytochrome oxidase test	-	-	+	-	-

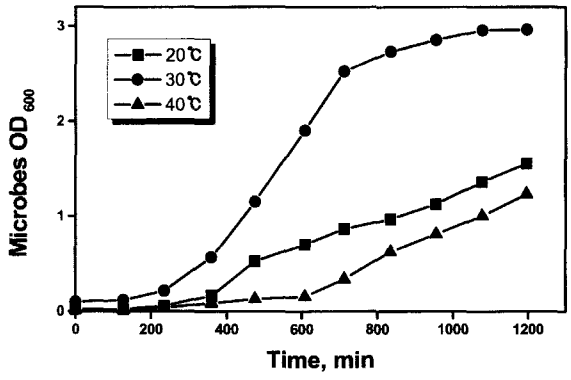

Figure 1. Effect of temperature on NAY1A microbe growth.

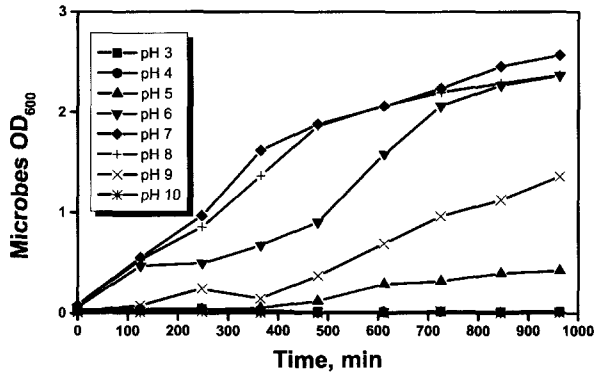

Figure 2. Effect of pH on NAY1A microbe growth.

온도에 따른 균체증식의 영향은 20~40℃까지 10℃간격으로 pH 7에서 배양하여 조사하였다. NBR3A는 30℃에서 성장이 양호하였고 20, 40℃에서는 성장이 저조하였다. NAR1A는 30℃에서 성장이 양호하였으며, 20, 40℃에서는 성장이 저조하였으나, 시간이 흐를수록 40℃에서의 균체 성장이 좋아짐을 알 수 있었다. NBY1A, NBY3A 또한 30℃에서 최적 성장을 보였으나 시간이 경과할수록 20, 40℃에서도 성장이 양호하였다. NAY1A에 대한 온도의 영향을 Figure 2에 보였다. 결과적으로 30℃에서 양호한 성장을 보였으며, 20, 40℃에서는 저조한 성장을 보였으나, NBY1A와 NBY3A와 같은 균주는 약 20시간 경과 후 양호한 성장을 보이고 있다. 이러한 결과를 종합해보면 중성(pH 6~pH 8), 온도 30℃에서 최적 성장을 보였다. 염색폐수는 여름철 온도가 40℃ 정도의 높은 온도까지 올라가는 데, NAR1A, NBY1A, NBY3A와 같은 균주를 적용하면 좋은 처리 효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

단일균주와 단일균주들의 조합을 통한 염료 탈색

선별된 단일균주의 염료 탈색과 단일균주의 조합을 이용하여 합성폐수를 처리하였을 경우를 비교하였다. 실험 조건은 호기상태, pH 7.0, 온도 30℃, 150 rpm에서 수행하였다. 비교 항목으로서는 멸균된 합성폐수에 ① 단일균주만을 접종한 경우, ② 2조합을 접종한 경우, ③ 3조합 접종한 경우, ④ 4조합을 접종한 경우, ⑤ 5조합을 접종한 경우에 대해 각각 실험하였다. 실험 결과를 살펴보면, 멸균 합성폐수에 단일균주만을 접종한 경우 약 35%정도의 탈색율을 보였으며, 5종의 균주 중 NBR3A를 Figure 3에 나타내었다. Figure 4에는 단일균주 2종을 조합하여 실험한 염료 탈색정도를, Figure 5에는 단일균주 3종을 조합하여 실험한 염료 탈색 정도를 나타내었다. 2조합, 3조합을 접종했을 때 탈색율은 단일균주만을 사용하였을 때보다 약 30%정도 염료 탈색율이 향상되었는데, 그 정확한 이유는 밝혀내지 못했으나, 성장곡

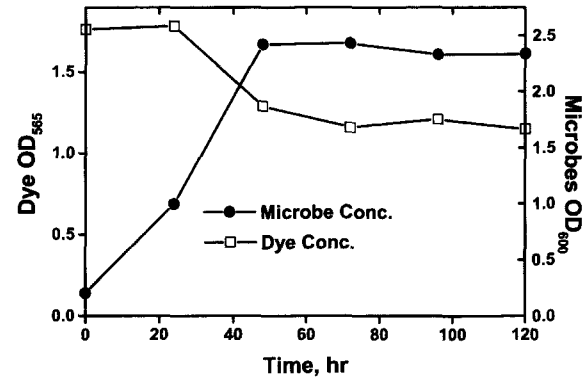

Figure 3. Time course of dye-decoloring by single (NBR3A) strain. ●— : microbe(NBR3A) concentration, —□— : dye concentration

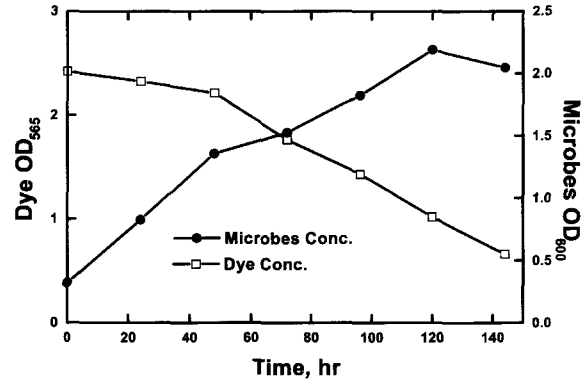

Figure 4. Time course of dye-decoloring by 2 (NBR3A + NBY1A) strains association. ●— : microbes(NBR3A + NBY1A) concentration, —□— : dye conecentration

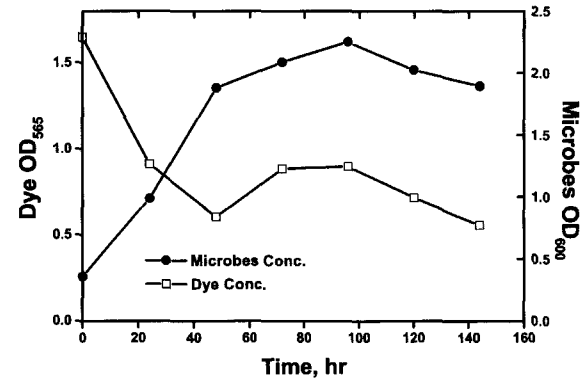

Figure 5. Time course of dye-decoloring by 3 (NAY1A+NAR1A+NBY1A) strains association. ●— : microbes(NAY1A + NAR1A + NBY1A) concentration, —□— : dye conecentration

Table 2. Decolorization rate used single strain and their associations.

Strains	Decolorization rate(%)
NBR3A	35
NAR1A	34
NBY1A	36
NBR3A + NBY1A	63
NAR1A + NBY1A	63
NAR1A + NBY3A	65
NBR3A + NAR1A + NBY1A	35
NAR1A + NBY1A + NAY1A	60
NBR3A + NAY1A + NAR1A + NBY1A	55
NBR3A + NAR1A + NBY1A + NBY1A	54
NBR3A + NAY1A + NAR1A + NBY1A + NBY3A	42

여기서,

*NBR3A : *Shewanella putrefaciens*
NAY1A : *Aeromonas salmonicida*
NAR1A : *Pseudomonas vesicularis*
NBY1A : *Aeromonas salmonicida*
NBY3A : *Aeromonas salmonicida*

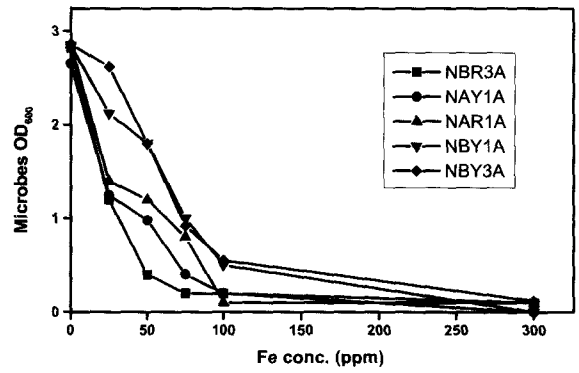

Figure 6. Effect of inhibitor(Fe^{3+}) on the growth of isolated microbes.
■ : NBR3A conc., ● : NAY1A conc., ▲ : NAR1A conc.
▼ : NBY1A conc., ◆ : NBY3A conc.

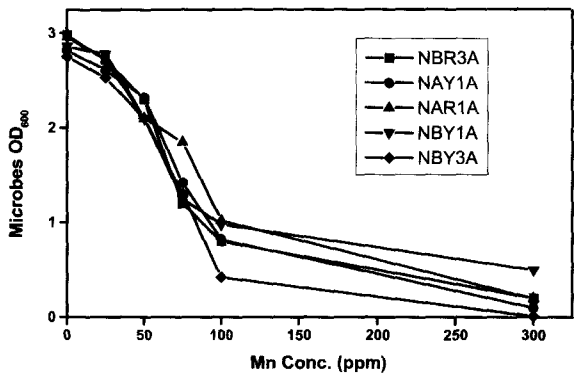

Figure 7. Effect of inhibitor(Mn^{2+}) on the growth of isolated microbes.
■ : NBR3A conc., ● : NAY1A conc., ▲ : NAR1A conc.
▼ : NBY1A conc., ◆ : NBY3A conc.

선 및 pH 변화를 통해 알아보면, 단일균주만의 성장보다 오랜 시간 성장하며 중성 부근으로 배지가 변화하는 것으로 보아서 조합된 균주끼리 서로 공생관계를 유지하며 탈색에 도움을 주는 것으로 사료된다. 단일균주 2종을 조합한 조합에서 염료 탈색율이 좋았음을 확인한 후 더 많은 조합에서 더 좋은 결과를 예측하였으나, Figure 5에서 볼 수 있듯이 그 효율은 단일균주 2종을 사용한 조합을 사용했을 때보다 오히려 최고 30% 정도까지 낮은 탈색율을 보였다. 이러한 현상은 2종의 균주를 조합했을 때보다 성장 시간이 짧아진 것(단일균주만의 성장 시간보다는 김)으로 보아 서로에게 공생 관계는 지속되나, 2종의 균주를 조합했을 때보다는 공생관계가 그리 원활하지 않는 것으로 사료된다. 물론 성장시간과 탈색율이 정확히 비례관계를 나타내는 것은 아니므로 다른 비교 조건을 계속 탐색하고 있다. 계속되어진 4균주 조합 및 5균주 조합 실험에서는 2균주 조합, 3균주 조합보다 더욱 좋지 않은 탈색율을 보였다. 결론적으로 종합해보면, 염료 탈색율은 단일균주 2종을 조합한 조합을 사용했을 경우가 가장 우수한 효율(63~65%)을 보였고, 3균주 조합(35~60%), 4균주 조합(54~55%), 5균주 조합(42%), 단일균주(35~36%) 순으로 염료 탈색율이 좋은 것을 알 수 있었다. 또한 단일균주 단독으로보다는 공생관계로 사료되는 2균주 조합에서 탈색율이 좋아 실제 염색폐수 처리시 2균주 조합을 사용하여 처리하면 더 좋은 효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 염료 탈색율 실험 자료를 종합하여 Table 2에 나타내었다.

미생물 활성도에 대한 중금속의 영향

합성폐수 내에서 미생물에 의한 염료 탈색 처리시 미생물의 활성에 중금속이 주는 영향을 파악하기 위해, 폐수처리시 갑작스럽게 유입될 수 있는 Fe^{3+}, Mn^{2+}을 선정하여 실험하였다. Figure 6에는 선별 미생물 성장에 대한 Fe^{3+}의 영향을 나타내었는데, Figure 6에서 보는 바와 같이 Fe^{3+} 주입 시부터 미생물의 성장에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. Figure 7에는 선별 미생물 성장에 대한 Mn^{2+}의 영향을 나타내었는데, Fe^{3+}과는 달리 50 ppm 이하의 농도에서는 미생물의 성장이 원활한 것을 볼 수 있으며, 100 ppm 이상에서는 미생물의 활성이 저하되거나 현저하게 낮음을 볼 수 있다. 따라서 전처리를 통해 염색폐수 내의 저해물질을 흡착 등을 통해 제거 한 후 염색폐수를 처리하면 좋은 효율을 얻을 것이며, 기본적으로 저해물질 70 ppm 농도 이하에서 폐수 처리를 실시하면 우수한 처리율을 볼 수 있을 것이다.

요 약

동두천과 반월공단에서 87가지의 균주를 분리하였다. 그 중 5가지 균주가 색도 제거율이 우수함을 보였으며, 동정을 통해 *Shewanella putrefaciens, Aeromonas salmonicida*(서로 다른 3종), *Pseudomonas vesicularis*로 각각 동정되었다. 동정된 5종의 미생물들은 성장에 최적인 pH와 온도는 각각 7.0과 30℃이었으며, Gram negative, catalase negative, rod shape, 그리고 비운동성을 보였다. 500 mL 플라스크에서 분리된 균주 중 단일균주를 사용하여 염색폐수를 처리한 경우 약 35%의 색도 제거율을 보였다. 2균주를 조합하여 적용하였을 때는, 색도 제거율이 65%까지 증가한 반면, 3균주 조합 혹은 그 이상의 균주 조합에서는 2균주 조합보다 더 좋은 효율은 보이지 않았다. 염색폐수 분해시 Mn^{2+},

Fe^{3+}와 같은 중금속의 영향을 조사하였는데, 70 ppm 이하의 농도에서는 별로 영향을 주지 않았다.

감 사

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비(생물화학공학연구)에 의하여 지원되었으므로 감사드립니다.

REFERENCES

1. Ministry of Environment, Korea (1998), Environment Report, 111-121.
2. Chevalier, P. and J. de la Noüe (1985), "Efficiency of immobilized hyperconcentrated algae for ammonium and orthophosphate removal from wastewaters", *Biotechnol. Lett.*, **7**, 395-400.
3. Ray, B. T. (1995), Environmental engineering, PWS, ITP.
4. Mahler, I., H. S. Levinson, Y. Wang, and H. O. Halvorson (1986), Cadmium and mercury resistant Bacillus strains form a salt Marsh and from Boston Harbor, *Appl. Environ. Microbiol.*, **52**, 1293-1298.
5. Hallas, LE., WJ Adams and MA Heitkamp (1992) Glyphosate degradation by immobilized bacteria: field studies with industrial wastewater effluent, *Appl. Environ. Microbiol.*, **58**, 1215-1219.
6. Hiraishi, A., Yoko Ueda and Junko Ishihara (1998), Quinone profiling of bacterial communities in natural and synthetic sewage activated sludge for enhanced phosphate removal, *Appl. Environ. Microbiol.*, **64**, 992-998.
7. Snaidr, J., R. Amann, I. Huber, W. Ludwing and Schleifer (1998), Phylogenetic analysis and in situ identification of bacteria in activated sludge, *Appl. Environ. Microbiol.*, **63**, 2884-2896.
8. Seung-Ku, An, (1986), The review of Waterwork Development laboratory research, **12**, 155.
9. Pasti, M. B. and Crawford D. L., (1991), Can. J. Microbiol., **37**, 902.
10. Cripps, C., Bumpus, J. A., Aust, S. D., (1990) Biodegradation of Azo and Heterocyclic Dyes by *Phanerochaete chrysosporium*, *Appl. Environ. Microbiol*, **56**, 1114-1118.
11. Crawford, D. L., Gertel, G, (1993), Characterization of an Extracellular Lignin Peroxidase of the Lignocellulolytic Actinomycete Streptomyces viridosporus, **54**, 3057-3063.
12. Chae-Gun Phae, Hae-Kyoung Kim, (1996), Decolourization of Dye Wastewater by Fungus, *Geotrichum Candidum* Deco 11, *J. of KSEE*, **18**, 1103-1114.
13. Feng, Y., K. D. Racke and J. Bollag (1997), Isolation and characterization of a chlorinated-pyridinol-degrading bacterium, *Appl. Environ. Microbiol.*, **63**, 4096-4098.
14. Li, X. and P. Gao (1996), Isolation and partial characterization of cellulose-degrading strain of *Streptomyces* sp. LX from soil, *Lett. Appl. Microbiol.*, **22**, 209-213.
15. Lee, H. K., W. C. Bae, W. Jin, W. J. Jung, S. P. Lee and B. C. Jeong (1998), Heavy metal adsorption capacity of *Zoogloea ramigera* 115 and *Zoogloea ramigera* 115SLR, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **26**, 83-88.
16. Oh, M. Oh., J. H. Kang, C. H. Lee, C. H. Park, S. K. Ahn, B. D. Yoon and Y. H. Kho (1994), Isolation and characterization of a naphthalene-degrading strain, *Alcaligenes* sp. A111, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **22**, 423-429.
17. John, G. H., R. K. Noel, H. A. S. Peter, T. S. James and T. W. Stanley (1994), Bergy's Manual of Determinative Bacteriology, 9th ed. Williams & Wilkins, Baltimore.
18. Cowan, N. R. and K. J. Steel (1974), Manual for identification of medical bacteria, 2nd ed. Cambridge University Press, London.