

Polyester 감량폐수 중에 존재하는 Ethylene Glycol과 Terephthalic Acid를 분해하는 Bacteria 균주들의 성장특성과 최적 배양조건

김 정 목 · 김 재 훈 · 조 무 환
영남대학교 공과대학 화학공학과

Growth Characteristics and Optimal Culture Conditions of Bacterial Strains Degrading Ethylene Glycol and Terephthalic Acid in Polyester Weight Loss Wastewater

Jeong Mog Kim, Jae Hoon Kim, and Moo Hwan Cho

Dept. of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyongsan 712-749

ABSTRACT

Strains degrading ethylene glycol(EG) and terephthalic acid(TPA) were isolated from water systems, and identified as *Pseudomonas* sp. They were named as *Pseudomonas* sp. EAW for EG and *Pseudomonas* sp. TS2 for TPA. The optimal culture conditions of temperature, pH and nitrogen source were found to be 35°C, 7.5 and ammonium sulfate, respectively. The growth of strains and removal efficiency was slightly promoted by trace elements such as niacin and biotin in case of EG, and by trace elements such as $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and thiamin in case of TPA. With increasing inoculation size for batch culture, the removal efficiency of EG by the strain EAW was conspicuously increased, while the removal efficiency of TPA by the strain TS2 was not changed as much as that of EG. The growth rate of the strain EAW was much more decreased than that of the strain TS2 in the enrichment medium, as the frequency of repeated-batch culture in the rich-medium increased. In case of real wastewater, growth rate and removal efficiencies of EG and TPA were lower than those in the enrichment medium. COD_m and COD_c removal efficiencies after 48 hrs batch culture in real wastewater were 89% and 93%, respectively. The specific growth rate was inhibited when the initial concentration of EG or TPA was more than 25 g/L.

서 론

Polyester 섬유는 Terephthalic acid(TPA) 또는 Dimethyl terephthalate(DMT)와 Diol(HO-R-OH)의 에스테르가 최소 85%로 구성된 합성고분자로서 이 가운데 Polyester 섬유로 널리 사용되고 있

는 것은 Polyethylene terephthalate(PET)로 만들어진 섬유이다. PET 섬유는 고융점, 고강도, 고 Young-율의 양호한 전기적 성질과 내약품성 등을 가지고 있으나 염색성이 불충분하므로, 염색성을 개량한 많은 Polyester 섬유가 개발되고 있다. 특히 염색가공분야에서는 Polyester 섬유의 딱딱한 촉감을

개선하여 "silk-like"화 하기 위한 alkali 감량가공을 하기에 이르렀으며, 이 가공은 1949년 영국의 특허에서 시작하여 1977년에서 1978년 사이 감량률 15~30% 정도의 "silk-like"화 가공이 일본에서 개발되어 널리 공업화되었다(1). 우리나라에서는 1970년대 후반에 이러한 Polyester 감량기술이 직물류의 고급화 기술로서 보급되어 하나의 직물가공 기술로서 급속도로 정착되어가고 있다.

Alkali에 의해 중량이 감소되는 현상은 Polyester 섬유가 가수분해되어 TPA-2Na염과 Ethylene glycol(EG)이 NaOH와 함께 생성되기 때문이며, 그 속도는 처리액의 온도 및 alkali농도에 따라 변한다. 이와 같은 가수분해는 섬유표면에서부터 순차적으로 진행되며 알칼리 처리에 의한 염색성과 흡습성의 변화는 보이지 않고 단지 유연성만 증가한다고 알려져 있다(2, 3).

그런데 Polyester 감량가공시 발생하는 감량폐수는 고부하, 다변성 악성폐수이며, 특히 EG는 생물학적 난분해성 물질로서 일반적인 방법으로는 그 처리효과율이 낮으며 방류수 기준에 적합한 처리수를 얻기 힘들다.

대부분의 염색공장에서는 감량가공 후 염색가공을 연속적으로 하기 때문에 감량폐수와 염색폐수가 혼합된 상태로 배출되고 있다. 따라서 Polyester 감량폐수만에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 대부분 감량-염색 혼합폐수에 대한 연구가 이루어져 왔다. 특히 대구시 염색공단의 경우 호발폐수, 감량폐수 및 염색폐수가 혼합된 종합폐수가 공단 종합폐수 처리장에 유입되고 있기 때문에 종합폐수에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다(4, 5). 따라서 기존의 처리법은 Polyester 감량폐수, PVA 호발(desizing)폐수 및 그외 염색폐수를 혼합하여 응집침전 후 활성오니법으로 처리하고 있다. 그러나 성상이 다른 여러 폐수가 혼합됨으로 각 성분의 효과적인 처리가 어렵다. 따라서 Polyester 감량폐수의 주성분인 EG와 TPA를 다량 함유한 염색공장의 폐수를 효과적으로 처리하기 위해서는 EG와 TPA를 선택적으로 분해할 수 있는 균주의 분리 및 성장특성의 조사와 이 균주들을 효과적으로 이용할 수 있는 새로운 공정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 Polyester 감량폐수를 호발폐수, 염색폐수 및 기타 폐수와 분리하여 처리하기 위한 기초연구로서 Polyester 감량폐수의 주성분인 EG 및 TPA를 각각 분해할 수 있는 균주를 순수분리하여 성장특성과 최적 배양조건을 조사하였다.

재료 및 방법

분리 및 동정

EG 및 TPA 분해균을 자연계로부터 분리하기 위하여 염색 폐수처리장의 폐수 및 폐수가 방출되는 하천 주위의 물과 토양을 채취하여 시료로 사용하였다. 순수분리용 배지(enrichment medium)는 Jeong 등(6)이 사용한 것과 같으며, EG분해균을 순수하게 분리하기 위하여 탄소원 및 에너지원으로 EG를 넣은 배지를 사용하였다. 또한 TPA분해균의 순수분리시에는 탄소원 및 에너지원으로 TPA를 사용하였으며, 그외의 조성은 동일하게 하였다.

시료를 멸균 증류수로 희석하여 액체배지에 배양한 후 고체배지에 도말하여 형성된 colony를 다시 액체배양하였다. 이와 같은 조작을 여러번 되풀이하여 성장 및 분해율이 우수한 균주를 고체배지상에 단일 colony를 형성하도록 순수분리하였다. 이때 온도는 30℃를 유지하였다.

균주의 동정은 Bergey's Manual(7)에 준하였다.

분석방법

균의 성장은 Spectrophotometer 기기를 사용하여 660nm에서 흡광도로 측정하였다. EG와 TPA의 정량을 위해서 배양액을 10분간 원심분리(RPM=3000)하여 균체를 제거한 후 COD 산성 KMnO₄법과 K₂Cr₂O₇법에 의해 간접적인 방법으로 측정하였으며, 하·폐수분석법(8)과 standard method(9)에 준하였다. EG는 산화제인 KMnO₄와 K₂Cr₂O₇에 의하여 산화되나 TPA는 K₂Cr₂O₇에 의해서만 산화된다.

균체량은 원심분리 후 증류수로 3번 씻은 후 100℃에서 무게가 일정하게 될 때까지 건조하여 건조무게를 측정하였다.

온도 및 pH의 영향

분리한 균이 EG, TPA를 분해하는데 미치는 온도의 영향을 조사하기 위하여 배양온도를 30℃에서 45℃로 조절하면서 분리용 액체배지에서 3일간 배양시킨 후 각 온도에서의 성장과 분해율을 비교 조사하였다.

최적 pH를 결정하기 위하여 30℃에서 pH를 6에서 10까지 단계별로 조절된 순수분리용 배지를 사용하여 성장특성을 조사하였다. 또한 최적 pH에서 EG, TPA의 분해에 따른 배양액의 pH변화를 조사하였다.

질소원 및 미량원소의 영향

질소원의 영향을 조사하기 위하여 분리용 배지에 각종 유, 무기 질소원을 0.1%씩 첨가하여 성장과 분해율을 조사하였으며, 또한, 분리된 균주가 vitamin 등 여러 미량원소가 성장에 중요한 영향을 미치는지를 조사하기 위하여 분리용 배지의 미량원소를 하나씩 제거하여 실험하였다.

접종량의 영향

충분히 성장한 전배양액의 접종농도를 0.1%에서 10%까지 순차별로 각각의 배지에 접종하여 성장과 분해율을 조사하였다.

Rich-medium에 계대배양했을 때 성장과 분해율

최종 분리된 두 균주를 영양이 풍부한 배지(rich-medium)에 각각 여러 번 계대배양한 후 다시 EG, TPA 액체배지에 배양하여 성장과 분해율을 조사하였다. rich-medium으로는 nutrient 배지를 사용하였으며, 그 조성은 beef extract 3 g/L, peptone 5g/L 이며 pH는 7.0~7.5이었다.

혼합배양에 의한 균주의 성장 및 분해능 조사

실제 Polyester 감량패수는 EG와 TPA의 비가 약 3:7(무게비)로 혼합된 상태로 배출되고 있다. 따라서 전배양한 EG 및 TPA 배양액을 부피비로 3:7로 혼합한 후 분리용 배지에 10%를 접종하여 혼합된 균주의 성장 및 분해특성을 조사하였다. 이때 실제 Polyester 감량패수의 조성과 비슷하게 탄소원은 EG와 TPA를 중량비로 3:7 혼합하여 초기 농도를 COD_{Mn} 4,710mg/L, COD_{Cr} 17,600mg/L로 하여 사용하였다.

실제 Polyester 감량패수에서의 성장 및 분해능 조사

최종 분리된 두 균주를 분리용 배지에 혼합배양한 후 실제 감량패수에 10% 접종하여 성장과 분해율을 조사하였다. 실제 Polyester 감량패수는 T염식의 감량패수를 사용하였으며, 질소원으로 Urea를 인원으로는 H₃PO₄를 사용하여 BOD:N:P를 100:5:1로 조정 후 사용하였다. 이때 실제 Polyester 감량패수의 초기농도는 COD_{Mn} 5,100mg/L, COD_{Cr} 18,500mg/L였다. 또한 전배양한 균주의 혼합은 위에서와 동일한 방법으로 하였다.

기질저해

회분배양시 EG, TPA의 초기농도를 200mg/L에서 100,000mg/L까지 단계적으로 변화시켜 분리된 균주의 비증식속도 μ 값을 각각 구하였으며 기질의 농도가 미생물의 성장에 영향을 미치는지를 조사하였다.

결과 및 고찰

분리 및 동정

순수분리 결과 EG분해균 3종류와 TPA분해균 3종류를 각각 얻었으며, 이들 중 성장 및 분해율이 우수한 균주를 선정하여 동정하였다. 이 균주들의 형태학적, 배양학적 특성과 생리학적 특성을 조사하여 (10) Bergey's Manual에 의해 고려해 볼 때 각각 *Pseudomonas* sp.로 동정되어 EG분해균은 *Pseudomonas* sp. EAW, TPA분해균은 *Pseudomonas* sp. TS2로 명명하였다.

온도 및 pH의 영향

Fig. 1, 2는 분리된 균이 EG 및 TPA를 분해하는데 미치는 온도의 영향을 나타내었으며, 접종 3일 후의 결과이다. 두 균주 모두 본 실험의 영역에서 대체로 양호한 성장과 분해율을 나타내고 있으나 35°C에서 가장 우수하였다.

또한, 배양액의 초기 pH를 6에서 10까지 단계적으로 변화시켜 실험한 결과 EG분해균은 7과 8 사이 TPA 분해균은 7과 9 사이에서 대체로 양호한 성장과 분해율을 보였다. 각각의 최적 pH는 7.5로 나타났으며, Fig. 3에 나타내었다. 실제 Polyester 감량패수는 온도가 고온이며 pH 14의 강알칼리이다. 따라서 EG와 TPA분해균주의 최적 성장조건을 위해서는 원패수의 냉각과 중화가 필요하다. 또한 배양액은 EG분해균의 성장과 함께 pH값이 초기 7.5에서 7.0로, TPA는 7.5에서 9.1로 각각 변화하였으며, Fig. 4에 나타내었다. 이와 같이 EG배양액의 pH감소는 EG가 alcohol dehydrogenase에 의하여 산화되어 aldehyde가 되며 다시 산화되어 oxalic acid로 되기 때문인 것으로 사료된다(11). 또한 TPA의 분해에 대한 기작은 아직 잘 알려지지 않았으나 Ribbon 등(12, 13)과 Nakazawa 등(14, 15)에 의하면 o-phthalate의 *Pseudomonads*에 의한 metabolic path는 중간물질인 4,5-dihydroxyphthalate를 거치며 4,5-dihydroxyphthalate(DHP) decarboxylase에 의하여 acetate와 succinate, pyruv-

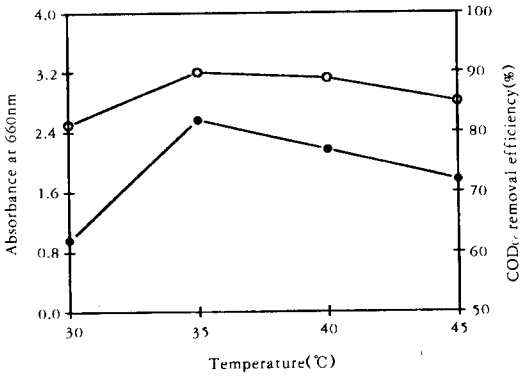


Fig. 1. Effect of temperature on growth and COD_G(EG) removal efficiency by EAW strain after 3 days culture(Initial pH 7.5, Initial COD_G, 6,680 mg/L)(○ : abs., ● : COD_G removal efficiency).

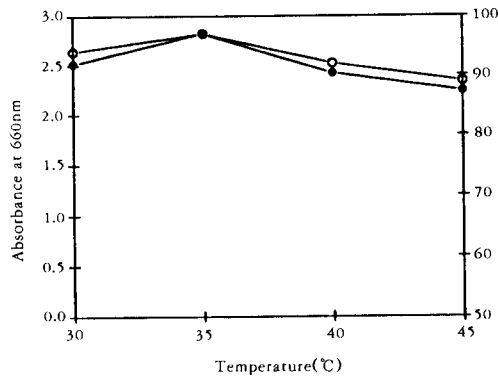


Fig. 2. Effect of temperature on growth and COD_G(TPA) removal efficiency by TS2 strain after 3 days culture(Initial pH 7.5, Initial COD_G, 3,120 mg/L)(○ : COD_G removal efficiency, ● : abs.).

ate와 oxaloacetate로 분해되는 pathway임을 밝힌 바 있으나 TPA(p-phthalate)의 분해 mechanism은 더 많은 연구가 있어야만 배양액의 pH가 높아지는 것을 설명할 수 있을 것으로 사료된다.

질소원 및 미량원소의 영향

분리용 배지에 (NH₄)₂SO₄ 대신 무기 질소원과 유기 질소원을 각각 첨가하여 성장과 분해율을 측정하였으며 Table 1, 2에 나타내었다. 분리용 배지에 사용된 (NH₄)₂SO₄가 최적의 질소원임을 알 수 있다.

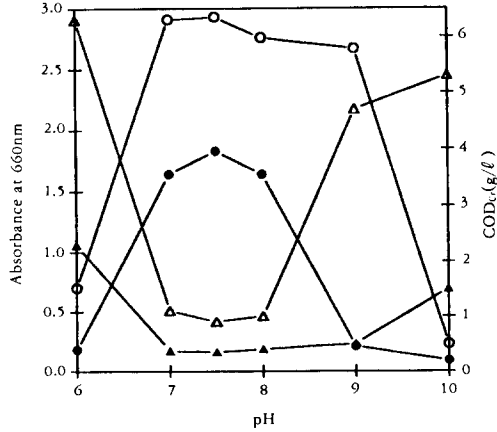


Fig. 3. Effect of initial pH on growth and COD_G removal efficiency for EAW and TS2 strains after 3 days culture(30°C, Initial COD_G(EG) 6,680 mg/L, Initial COD_G(TPA) 2,950mg/L)(○ : abs., for TS2 strain, ● : abs. for EAW strain, △ : remained COD_G for EAW strain, ▲ : remained COD_G for TS2 strain).

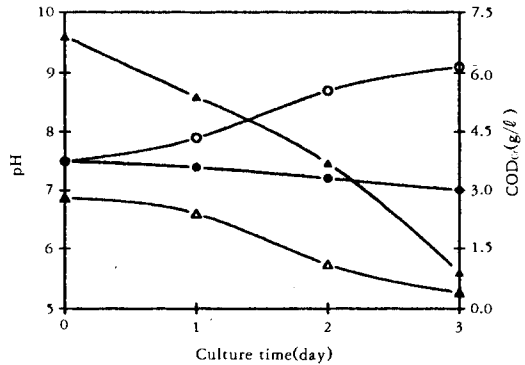


Fig. 4. Profiles of pH and biodegradation of EG and TPA at 30°C(○ : pH of TPA broth, ● : pH of EG broth, △ : COD_G of TPA, ▲ : COD_G of EG).

또한 분리용 배지에 사용된 stock solution의 미량 원소를 하나씩 제거하여 성장과 분해율을 각각 측정하였으며, 결과를 Table 3, 4에 나타내었다.

미량원소를 모두 제거하여도 대체로 양호한 성장을 나타내었으나, Strain EAW 경우 niacin과 biotin, Strain TS2의 경우 Na₂MoO₄ · 2H₂O와 thia-

Table 1. Effect of nitrogen sources on the cell growth and COD removal efficiency(%) by strain EAW after 48 hrs culture.

Nitrogen sources	Growth (abs. $\lambda=660\text{nm}$)	Removal efficiency(%)	
		COD _{Mn}	COD _{Cr}
none	1.108	32	33
NH ₄ NO ₃	1.512	45	50
NaNO ₃	1.828	76	75
KNO ₃	1.838	69	65
(NH ₄) ₂ SO ₄	2.212	82	80
NH ₄ Cl	1.884	71	70
Urea	1.908	77	78
(NH ₄) ₂ PO ₄	0.529	29	25

Table 2. Effect of nitrogen sources on the cell growth and COD removal efficiency(%) by strain TS2 after 48 hrs culture.

Nitrogen sources	Growth (abs. $\lambda=660\text{nm}$)	COD _{Cr}
		Removal efficiency(%)
none	0.379	30
NH ₄ NO ₃	2.543	89
NaNO ₃	2.311	81
KNO ₃	2.407	84
(NH ₄) ₂ SO ₄	2.908	96
NH ₄ Cl	2.884	95
Urea	2.688	83
(NH ₄) ₂ PO ₄	0.217	31

mine 이 각각의 균주의 성장과 분해율에 약간씩 영향을 미치는 것으로 나타났다.

접종량의 영향

EG 및 TPA 액체배지에 충분히 성장한 전배양액을 새로운 배지에 접종할 때 접종량을 0.1%와 10%로 하여 시간에 따른 각 균주의 성장과 분해율을 Fig. 5, 6에 나타내었다. Strain EAW는 접종량이 적을 때 유도기가 상당히 길었으며, 접종량의 증가에 따라서 성장 및 EG의 분해시간이 현저히 감소하였다. 배양 48hr 후 10%와 0.1% 접종시 80%, 28%의 분해율을 각각 나타내었으며, 이와 같은 결과로부터 균체의 농도가 각각의 분해에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

그러나 TPA의 경우는 접종량이 증가하여도 성장 및 분해율이 큰 차이가 없었으며, 이것은 TPA가 분리한 미생물에 의하여 분해가 잘 되기 때문인 것으로 사료된다.

Table 3. Effect of trace elements on the cell growth and COD removal efficiency(%) by strain EAW after 3 days culture.

Eliminated elements	Growth (abs. $\lambda=660\text{nm}$)	Removal efficiency(%)	
		COD _{Mn}	COD _{Cr}
none	2.075	93	90
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	2.075	92	99
Na ₂ WO ₄ · 2H ₂ O	2.075	92	89
MnSO ₄	2.075	90	86
Ca-pantothenate	1.895	90	86
inositol	2.050	91	86
niacin	1.856	85	79
p-aminobenzoate	1.988	88	83
pyridoxine	2.000	89	83
thiamine(vitamineB ₁)	2.000	90	83
biotin	1.847	86	82
vitamine B ₁₂	2.059	89	85
all	1.842	85	80

Table 4. Effect of trace elements the cell growth and COD removal efficiency(%) by strain TS2 after 3 days culture.

Eliminated elements	Growth (abs. $\lambda=660\text{nm}$)	COD _{Cr} Removal efficiency(%)
none	2.986	95
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	2.560	79
Na ₂ WO ₄ · 2H ₂ O	2.582	84
MnSO ₄	2.600	84
Ca-pantothenate	2.985	92
inositol	2.980	94
niacin	2.702	87
p-aminobenzoate	2.620	87
pyridoxine	2.837	91
thiamine(vitamineB ₁)	2.565	80
biotin	2.783	88
vitamine B ₁₂	2.862	93
all	2.510	79

Rich-medium에 계대배양했을 때 성장과 분해를 rich-medium에 계대배양한 균을 다시 EG, TPA 액체배지에 접종하였을 때 각 균주의 성장과 분해율을 Fig. 7, 8에 나타내었다. 계대배양의 회수가 1차, 2차 및 3차로 증가함에 따라 세포의 성장속도와 EG, TPA의 분해율이 감소하였으며, Strain EAW가 Strain TS2보다 성장 및 분해율의 감소가 현저

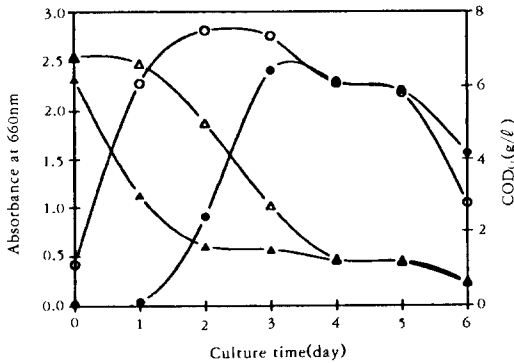


Fig. 5. Effect of inoculation size on growth and biodegradation by the EAW strain(Initial pH 7.5, 30°C)(○ : abs. for 10% inoculation ● : abs. for 0.1% inoculation, △ : COD_{Cr} for 10% inoculation, ▲ : COD_{Cr} for 0.1% inoculation).

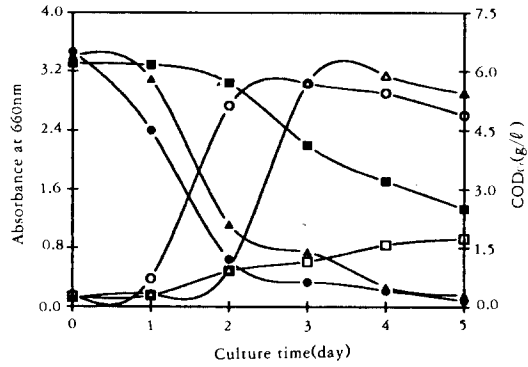


Fig. 7. Effect of frequency of repeated batch culture in rich-medium by EAW strain (Initial pH 7.5, 30°C)(○ : abs. for once, △ : abs. for 2 times, □ : abs. for 3 times, ● : COD_{Cr} for once, ▲ : COD_{Cr} for 2 times, ■ : COD_{Cr} for 3 times).

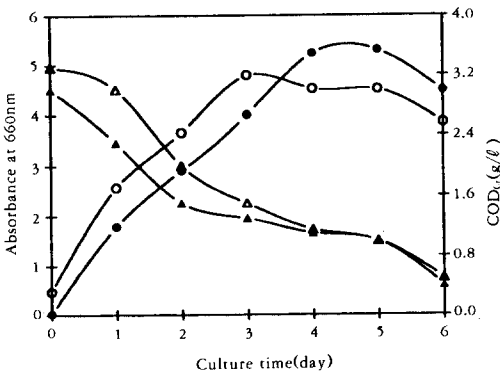


Fig. 6. Effect of inoculation size on growth and biodegradation by the TS2 strain(Initial pH 7.5, 30°C)(○ : abs. for 10% inoculation ● : abs. for 0.1% inoculation, △ : COD_{Cr} for 10% inoculation, ▲ : COD_{Cr} for 0.1% inoculation).

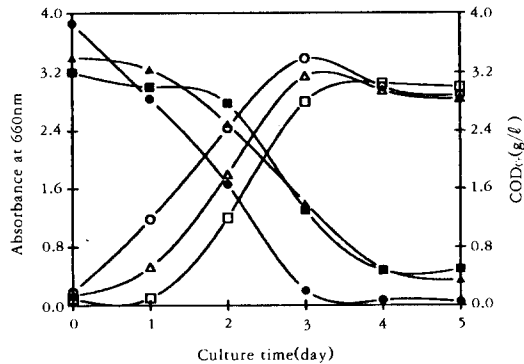


Fig. 8. Effect of frequency of repeated batch culture in rich-medium for TS2 once strain(Initial pH 7.5, 30°C)(○ : abs. for once, △ : abs. for 2 times, □ : abs. for 3 times, ● : COD_{Cr} for once, ▲ : COD_{Cr} for 2 times, ■ : COD_{Cr} for 3 times).

하였다. 이는 Strain TS2는 새로운 배지에 적응이 잘 되고 TPA 분해능력의 복귀가 Strain EAW보다 빠르기 때문인 것으로 사료되며 접종량의 변화 결과와 일치하는 것으로 사료된다.

혼합배양에 의한 균주의 성장 및 분해능 조사

순수분리한 Strains EAW, TS2를 혼합하여 배양하였을 때의 성장 및 분해율을 Fig. 9에 나타내었다. 순수배양의 경우와 같이 성장 및 분해율이 우수

했으며, 48hr 경과 후 COD_{Mn} 400mg/L, COD_{Cr} 900mg/L로 제거율은 각각 92%와 95%를 나타내었다. 이와 같은 결과에서 각각의 분해균은 EG와 TPA를 기질로 이용하고 있음을 알 수 있다.

실제 폐수에서 성장 및 분해율 조사

실제 감량폐수에서 혼합균의 성장 및 분해율을 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 실제폐수에서 성장 및 분해율이 분리용 배지의 경우

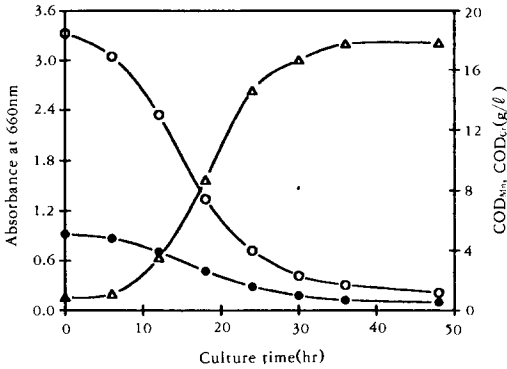


Fig. 9. Growth and biodegradation of the mixed culture of EAW and TS2 strains in the enrichment medium (Initial pH 7.5, 30°C) (● : COD_{Cr} ○ : COD_{Mn}, △ : abs.).

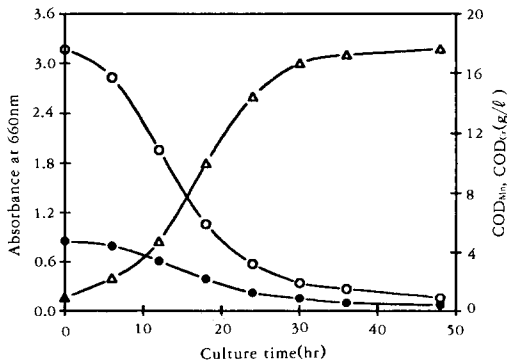


Fig. 10. Growth and biodegradation of the mixed culture of EAW and TS2 strains in the real wastewater (Initial pH 7.5, 30°C) (● : COD_{Cr} ○ : COD_{Mn}, △ : abs.).

보다는 약간 감소하였다. 이와 같은 이유는 미생물의 필수영양소 부족에 기인된 것으로 사료되며 실제 폐수에서도 우수한 결과를 얻을 수 있다. 배양 49hr 후 COD_{Mn} 550mg/L, COD_{Cr} 1,250mg/L로 제거율은 89%와 92%로 각각 나타났다.

기질저해

회분배양시 EG, TPA의 초기 농도변화에 대한 분리한 균주의 비증식속도 μ 값을 구하여 Fig. 11에 나타내었다. 실험결과 EG 및 TPA의 농도가 25g/L 이상에는 비증식속도가 감소하였으며, EG, TPA가 균체의 증식에 저해작용을 하는 것으로 나타났다.

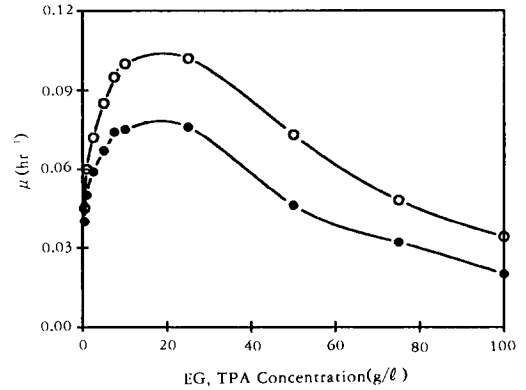


Fig. 11. Plot of μ vs. initial EG or TPA concentration (○ : specific growth rate of the TS2 strain, ● : specific growth rate of the EAW strain).

요 약

Polyester 감량폐수의 주성분인 EG, TPA분해균을 분리하여 각각 *Pseudomonas sp.*로 동정하여 *Pseudomonas sp.* EAW, *Pseudomonas sp.* TS2로 명명하였다.

이 두 균주의 최적 배양조건은 pH 7.5, 온도 35°C 및 질소원은 (NH₄)₂SO₄이며, Strain EAW의 경우 niacin과 biotin, Strain TS2의 경우 Na₂MoO₄ · 2H₂O와 thiamine이 각 균주의 성장과 분해율에 약간씩 영향을 미치는 것으로 나타났다. Strain EAW는 접종량의 증가에 따라서 성장 및 EG의 분해시간이 현저히 감소하였으나 Strain TS2의 경우는 접종량이 증가하여도 성장 및 분해율이 큰 차이가 없었다. 또한 rich-medium에 계대배양한 각 균을 EG, TPA액체배지에 접종하였을 때 계대배양의 회수가 증가함에 따라 Strain EAW가 Strain TS2보다 성장 및 분해율이 현저히 감소하였다.

실제 폐수에서 균들의 성장 및 분해율이 분리용 배지의 경우 보다는 약간 감소하였으며 EG, TPA는 배양 48hr 후 COD_{Mn}, COD_{Cr}의 제거율은 89%와 93%로 각각 나타났다. 회분배양시 EG, TPA의 초기농도가 25g/L 이상에서는 각 균주의 비성장속도가 감소하였다.

감 사

본 연구는 풍국건설(주) 환경사업부의 용역 연구비로 수행되었으며 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. A. A. M. Gorrafa(1980), *Textile Chemist & Colorist*, **12**, 83.
2. Hwan-Kook Yoon, Chang-Nam Choi(1984). *J. Korean Society of Textile Engineers and Chemists* **21**, 13.
3. Suk-Kyu Song, Sang-Yool Kim(1983), *J. Korean Society of Textile Engineers and Chemists*, **20**, 9.
4. Yung Kyu Park, Chul Heui Lee, Jong Dal Rhee, Moo Kang Lee, Byeung Rak Cho(1981), *J. Environmental Research Institute*, Yeungnam University, **1**, 24.
5. Yung Kyu Park, Chul Heui Lee, Moo Kang Lee(1982), *J. Environmental Research Institute*, Yeungnam University, **2**, 25.
6. Seon-Young Jeong, Youl-Lae Jo, Moo Hwan Cho, Jeong Mog Kim(1992), *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **20**, 96.
7. P. H. A. Sneath, N. S. Nair, M. E. Sharpe and J. G. Holt(1986), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, **2**, Williams & Wilkins, Baltimore.
8. 李完求, 金南天(1988), 下·廢水分析, 東和技術.
9. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 15th ed, APHA-AWWA-WPCR(1981).
10. J. M. Kim(1993), *Ph. D. Thesis*, Dept, of Chemical Engineering, Yeungnam Univ., Gyongsan.
11. Lubert Stryer(1981), *Biochemistry*, Second edition, W. H. Freeman and Company, N. Y.
12. D. W. Ribbon and W. C. Evans(1960), *J. Biochem.*, **76**, 310.
13. D. W. Ribbon and W. C. Evans(1962), *J. Biochem.*, **83**, 482.
14. T. Nakazawa and E. Hyashi(1976), *J. Bacteriol.*, **131**, 42.
15. T. Nakazawa and E. Hayashi(1977), *J. Appl. Environ. Microbiol.*, **36**, 264.