

Polyvinyl Alcohol 분해 공생 균주에 의한 염색 폐수 중의 PVA 제거

김철기[†] · 최용진* · 이철우¹ · 임연택¹ · 류재근¹

고려대학교 생명공학원, ¹국립환경연구원

PVA Removal from Textile Wastewater by the Symbiotic PVA-utilizing Bacteria. Chul Ki Kim[†], Yong-Jin Choi*, Chul-Woo Lee¹, Yeon-Taek Rim¹ and Jae-Keun Ryu¹. Graduate School of Biotechnology, Korea University, Seoul, 136-701, Korea, ¹National Institute of Environmental Research, Seoul, 122-040, Korea. - The current processes of the textile wastewater treatment are mostly consisted of a combination of a physico-chemical and a biological treatment. The overall efficiency of these processes is, however, assessed to be fairly low. It is even worse during the summer season when temperature of the wastewater rises above 40°C. Therefore, a feasible process of the textile wastewater treatment which can work efficiently at higher temperatures was investigated in this work. We used a bench scale reactor consisted of one 4 liter anaerobic and one 8 liter aerobic tank, and the thermophilic symbiotic PVA degraders, *Pasteruella hemolytica* KMG1 and *Pseudomonas* sp. KMG6 that had been isolated in our laboratory. In the preliminary flask experiments, we observed that the thermophilic symbiotic PVA degraders could not grow in the wastewater substrate. Then, we isolated the mutant strains by acclimating the KMG1 and KMG6 strains to the wastewater medium. The mutant symbionts (KMG1-1 and KMG6-1) were isolated through 6 times successive transfers into the fresh wastewater medium after 5 days culture for each. The mutant strains obtained grew well in the mixed medium composed of 75% wastewater and 25% synthetic medium, and supplemented with 0.5% PVA as a sole carbon source. During the culture for 14 days at pH 7.0 and 40°C, the bacteria assimilated about 89% of the added PVA. The symbionts degraded equally well all the PVA substrates of different molecular weight (nd=500~30000). In contrast to the flask experiments, in the reactor system the mutant strains showed very low levels of the PVA and COD removal rates. However, the new reactor system with an additional aerobic tank attained 82% removal rate of COD, 94% of PVA degradation and 71% of color index under the conditions of 5% inoculum on the tank 2, incubation temperature of 40°C, dissolved oxygen level of 2~3 mg/l and retention time of 30 hours. This result ensures that the process described above could be an efficient and feasible treatment for the PVA contained textile wastewater at higher temperatures.

우리 나라 염색공단 폐수는 각종 색소 성분과 조염제 내지는 사이징제로 사용하는 Polyvinyl alcohol(PVA)를 상당량 함유하고 있다(1, 2). PVA성분은 생물학적 분해가 쉽지 않고 수용성이기 때문에 환경오염의 중요 원인 물질이 될 수 있을 뿐만 아니라 상기 공업은 그 특성상 다량의 공업용수를 사용하며 더욱이 하절기의 폐수는 수온이 40°C 이상으로 상승하여 폭기조의 산소 결핍, 슬러지 미생물의 처리활성 저하 내지는 원생생물의 생육환경 악화 등의 원인으로 말미암아 폐수처리 효율의 심각한 저하를 나타내는 등 산업 폐수 중에서도 특히 많은 문제점을 가지고 있어 처리가 가장 어려운 폐수중의 하나인 것으로 보고되고 있다(2-4). 그러므로 상기 염색 및 나염 산업의 하절기 폐수를 효과적으로 처리할 수 있는 새로

운 효율적인 처리기술의 연구 개발은 우리 나라 수환경 보존을 위한 중요한 과제라고 생각한다.

그럼에도 불구하고 현재까지 폐수중의 PVA를 제거하기 위한 목적으로 국내외에서 분리 보고되고 있는 대다수의 PVA 분해 균주는 30°C 전후에서는 높은 활성을 보이지만 40°C 이상의 온도에서는 활성이 현저한 저하를 나타내고 있는 것으로 알려지고 있다(1, 4-8).

본 연구자들은 PVA 생분해와 관련된 다년간의 연구 과정 중 PVA를 효율적으로 분해 이용할 수 있는 우수 공생균주 KMG1 과 KMG5를 분리하고, 아직 구체적인 공생관계 기작은 밝혀내지는 못했으나 각각 *Pasteurella haemolytica*와 *Pseudomonas* sp.로 동정하였으며(9) 또한 상기 두 공생균주 중에서 직접 PVA 분해 균주인 KMG 5의 고온성 변이주 KMG6를 분리하고 40°C에서도 KMG1과 공생하면서 배지 중 PVA를 효과적으로 분해 이용함을 확인하였다(10).

본 연구에서는 상기 고온성 PVA분해 공생균주를 실제 하절기 염색공단 폐수처리 시스템에 효과적으로 활용키

*Corresponding author

Tel. 82-2-920-1356, Fax. 82-2-923-9923

[†]present address: 크라운 베이커리 기술연구소, 서울시 성동구 성수 2가 278-51

Key words: Polyvinyl alcohol-utilizing bacteria, Textile wastewater treatment

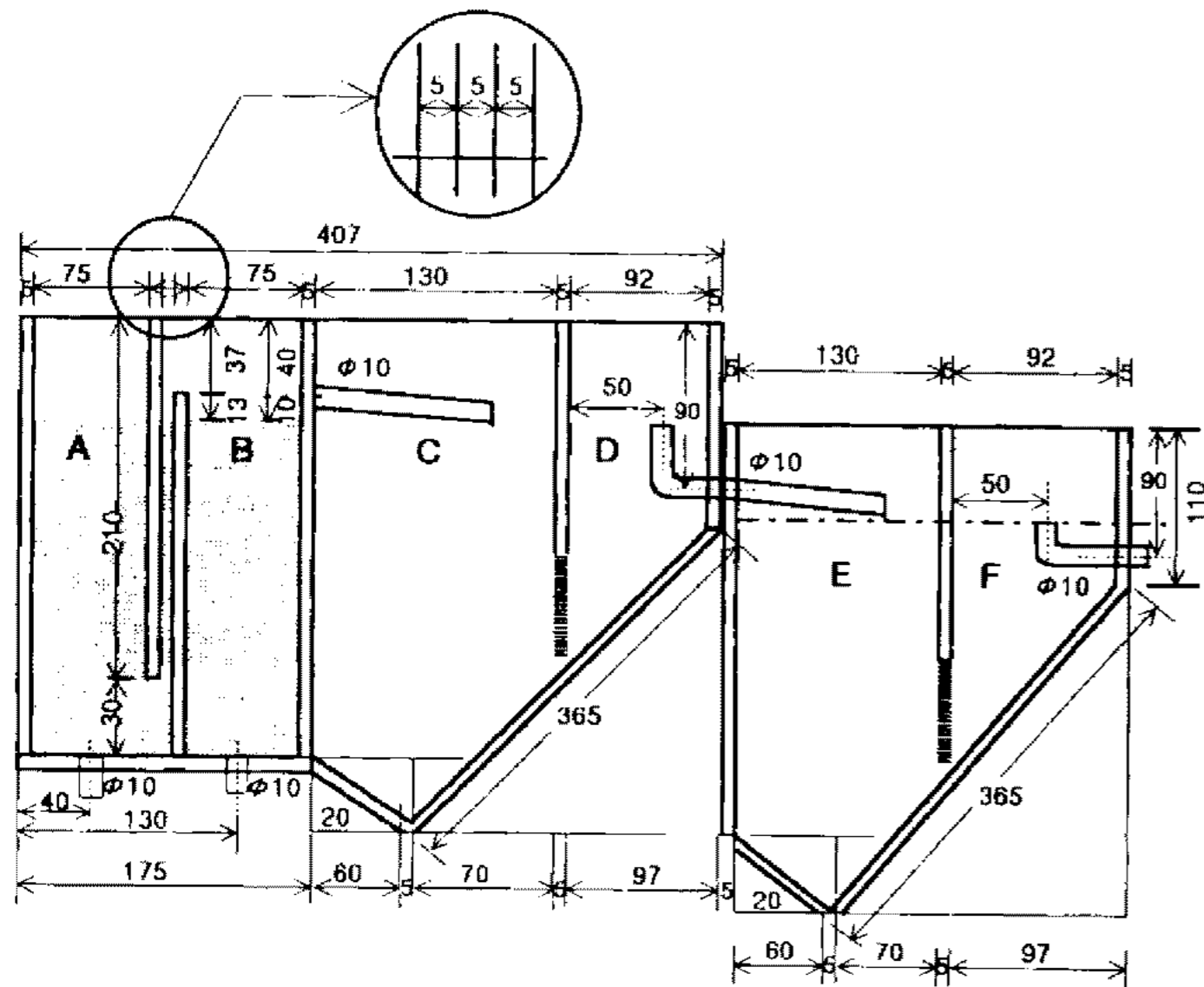


Fig. 1. Diagram of the anaerobic and aerobic floated media reactor.

A, B: Anaerobic tank C, D: Aerobic tank (1) E, F: Aerobic tank (2)

위한 기초 실험을 실시하고 그 결과를 보고한다.

재료 및 방법

반응기 구조

본 연구에서 사용한 반응기는 국립환경연구원에서 설계 제작한 것이나 PVA 분해균주의 처리 효율 증진을 위해 폭기조 한 개를 추가 설치하였다(Fig. 1 참조).

반응기 운전 조건

40°C의 반응온도에서 약 2주간 운전하면서 혐기조에서의 혐기성 미생물의 자기고정화를 유도시켰다. 고정화가 끝난 다음 유입 폐수량을 조절하여 혐기조와 호기조에서의 수리학적 체류시간 (hydraulic retention time)을 달리하였으며 폭기조 내의 용존산소량(DO)은 2~3 mg/l가 되도록 폭기량으로 조정하였다.

사용균주와 사용폐수 및 시약

PVA분해이용균주는 본 연구실에서 분리 개발한 *Pasterulla hemolytica* KMG1과 *Pseudomonas* sp. KMG6 변이주이었다(9).

또한 본 연구에 사용한 폐수시료는 경기도 고양군 소재 K 섬유회사 폐수였다. 이 회사는 면과 합성섬유의 염색과 나염 공정을 가동하고 있기 때문에 일반 종합 염색 단지 폐수와 그 특성이 유사하다. PVA 기질은 중합도 1500의 Shinyo사(Osaka, Japan) 제품을 주로 사용하였으나 비교분석의 경우는 Katayama사(Osaka, Japan)의 중합도 500과 2000의 공업용 PVA 그리고 중합도 30,000의 Sigma사(St. Louis, USA) 제품을 사용하였다. 기타 본 연구에 사용한

Table 1. Composition of the Suzuki's medium

Ingredient	content
PVA	5.0 g/l
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.0 g/l
KH ₂ PO ₄	1.0 g/l
K ₂ HPO ₄	8.0 g/l
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.2 g/l
NaCl	0.1 g/l
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.02 g/l
FeSO ₄	0.01 g/l
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.5 mg/l
Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O	0.5 mg/l
MnSO ₄	0.5 mg/l
Vitamin mixture*	1.0 ml/l

pH was adjusted to 7.5, *Vitamin mixture contained Ca-pantothenate 400mg; inositol 200 mg; niacin 400 mg; p-aminobenzoate 200 mg; pyridoxine 400 mg; thiamine 400 mg; biotin 2 mg; and vitamin B₁₂ 0.5 mg in 1 liter of distilled water.

일반 시약은 시판 일급 이상의 분석용 시약이었다.

사용배지, 배양조건 및 세포증식도 측정

플라스크 실험에서 사용한 배지는 실제 공장 폐수와 Suzuki 등의 합성배지(11)(Table 1)를 적절한 비율로 혼합한 것이었으며 특별한 경우를 제외하고는 0.5% PVA, 2.0%의 점종크기로 40°C에서 약 200 strokes/min의 속도로 진탕배양하였다. 균체증식은 660 nm에서의 흡광도로 표시 하였으며 반응기 실험의 경우는 PVA agar 혹은 nutrient agar를 이용한 일반 세균수 측정법을 이용하였다(12).

PVA 분석

시료 중의 PVA정량은 boric acid 존재 하에서 PVA와 iodine이 반응하여 녹색의 반응산물이 정량적으로 생성되는 반응 원리를 이용한 Finley의 방법(13)에 따랐으며 반응산물은 690 nm에서의 흡광도로 측정하였다.

화학적 산소 요구량(CODMn) 측정

수질오염 공정시험법(14)에 따랐으며 다음 식을 이용하여 COD_{Mn}값을 산출하였다.

$$\text{COD}_{\text{Mn}}(\text{mg/l}) = (B - A) \times F \times (1000/V) \times 0.2$$

A : 바탕시험 적정에 소비된 0.025N KMnO₄의 양(ml)

B : 본 시험 적정에 소비된 0.025 N KMnO₄의 양(ml)

F : 0.025 N KMnO₄ 용액의 역가

V : 시료량 (ml)

색도 측정

부유물질을 일차 제거한 시료를 검액으로 해서 수질오염 공정 시험법(9)에 따라 측정하였다. 시료의 색도는

다음 식에 따라 산출하였다.

$$\text{색도} = \frac{(Fn) (DE)}{D}$$

Fn : 보정인자

DE : 각 검액을 Adams-Nickerson의 색도공식(9)에 근거하여 계산한 급간값

D : 흡수셀의 층장(cm)

결과 및 고찰

폐수의 성분

본 연구에 사용한 K직물 가공 공장 폐수의 일반 성분은 Table 2와 같이 분석되었으며 폐수의 수소 이온 농도는 pH 12로 강알카리성을 나타내었다.

PVA 분해균주의 폐수에의 적응성 검토

본 연구의 공시균인 내열성 PVA 분해 공생균주 *P. hemolytica* KMG1과 *Pseudomonas* sp. KMG6는 예비 실험 결과 상기 폐수 기질에서는 전혀 생육하지 못함과 동시에 PVA분해 활성 역시 측정되지 않았다. 따라서 상기 PVA분해 공생균주를 폐수와 합성배지를 7:3 비율로 혼합한 혼합배지 중에서 5일 간격으로 6차례 계대 배양하면서 장기간의 순화과정을 통하여 폐수에 대한 적응력이 월등히 향상된 변이주 KMG1-1과 KMG6-1을 분리하였다.

다음, KMG1-1과 KMG6-1 변이주를 탄소원으로 최종 농도 0.5%의 PVA 그리고 질소원으로 0.1%의 ammonium sulfate가 첨가된 폐수와 합성배지의 혼합비율

Table 2. General composition of the wastewater used in this work

Component	Content (ppm)
COD	307
PVA	300
T-N	0.03
T-P	6

T-N : Total Nitrogen, T-P : Total Phosphate

Table 3. Effect of wastewater proportions in the synthetic medium on PVA degradation and removal of COD

Bacterial strains	Wastewater (%)					
	50	75	100	50	75	100
	PVA degradation (%)			COD (ppm)		
KMG1, KMG6	85	17	1	780	1300	1350
KMG1-1, KMG6-1	91	89	23	690	700	1290

*COD of the original wastewater supplemented with 0.5% PVA and 0.1% ammonium sulfate was 1410 ppm. Cultivation was carried out at 40°C for 14 days with reciprocal shaking in the synthetic medium containing 0.5% PVA and various proportions of the wastewater.

을 달리한 혼합배지에 접종, 배양하면서 배지혼합 비율이 PVA 분해율과 COD 제거율에 미치는 영향을 조사하여 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

KMG1-1과 KMG6-1 균주는 친주에 비해 폐수에 대한 적응력 향상과 더불어 PVA 분해율과 COD 제거율도 현저히 높은 수치를 나타내었다. 그럼에도 불구하고 본 변이주 역시 100% 폐수 중에서의 균체증식이 크게 개선되지 못 하였으며 PVA 분해율도 여전히 매우 미미했다.

이와 같은 결과로 볼 때 본 실험에서 사용한 폐수 중에는 PVA 분해균 생육에 독성효과를 나타내는 물질이 함유되어 있음을 알 수 있었으며 따라서 어떤 형태든 균체 생육을 위한 시료의 전처리가 필요한 것으로 판단되었다.

플라스크 실험을 통한 PVA분해 최적 조건

배양온도의 영향 50 ml의 폐수 75% 혼합배지에서 KMG1-1과 KMG6-1 공생 PVA 분해균주를 37°C와 40°C에서 배양하면서 PVA분해에 미치는 배양온도의 영향을 조사해 보았다. Fig. 2와 같이 37°C의 배양온도에서는 40°C의 경우보다 PVA 분해 속도는 약간 빨랐으나 14일간 배양했을 때의 최종 PVA분해율은 거의 같았다. 그러므로, 하절기에 실제 수온이 40°C 이상으로 상승됨으로써 폐수처리에 큰 어려움을 겪고 있는 직물 염색 가공 공단의 하절기 폐수처리에 본 분해균을 효과적으로 활용할 수 있을 것이라고 판단된다.

pH의 영향 폐수 75%의 혼합배지의 초기 pH를 변화시켜 PVA 생분해에 미치는 배양액 중의 수소 이온 농도의 영향을 조사하여 Fig. 3과 같은 결과를 얻었다. PVA 분해율은 중성 및 알카리성 pH에서 높았으며 이와 같은 결과는 합성배지에서의 PVA 분해 최적 pH값(10)과 일치되었다.

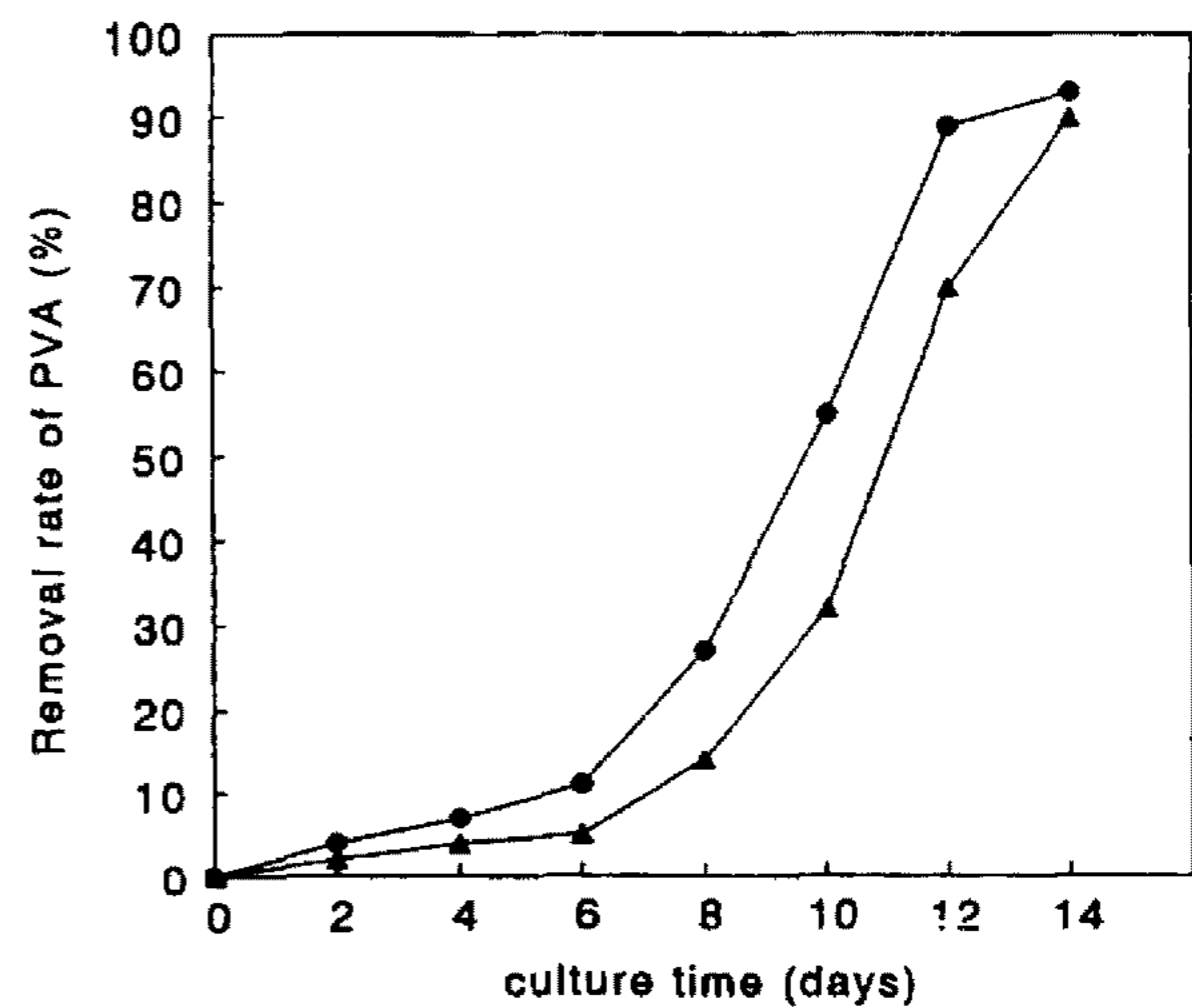


Fig. 2. Effect of temperatures on the PVA degradation. Symbols; ●, 37°C; ▲, 40°C. Cultivation was carried out in the 75% wastewater medium supplemented with 0.5% PVA as a sole carbon source and 0.1% ammonium sulfate as a nitrogen source.

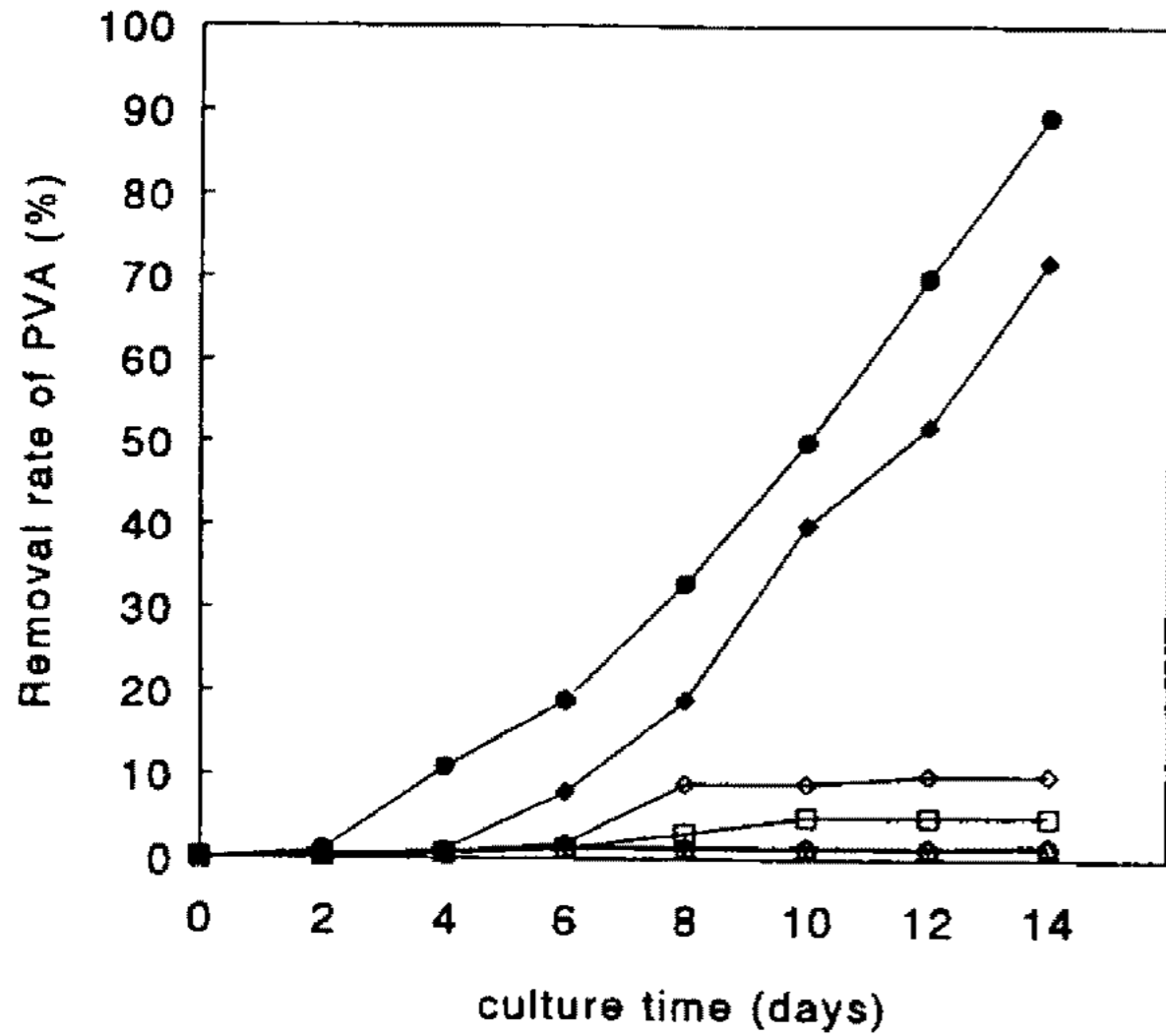


Fig. 3. Effect of pH on the PVA degradation.

Symbols; △, pH 5; ○, pH 6; ●, pH 7; ◆, pH 8; ◇, pH 9; □, pH 10. Cultivation was carried out at 40°C in the 75% wastewater medium supplemented with 0.5% PVA as a sole carbon source and 0.1% ammonium sulfate as a nitrogen source.

Table 4. Effect of PVA concentrations on PVA degradation

PVA concentration (g/l)	PVA degradation (%)
2.5	92
5.0	93
7.5	90
10.0	79

Cultivation was done at 40°C for 14 days in the 75% wastewater medium supplemented with various concentrations of PVA.

PVA농도의 영향 PVA 첨가농도를 달리한 혼합폐수 배지에서 PVA 분해율을 조사 비교한 결과 Table 4와 같이 PVA 농도가 0.75%까지는 90% 이상 분해 제거되었으나 그 이상의 농도에서는 PVA 분해율이 저하됨을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 균체증식과 더불어 PVA 분해 관련 효소의 생합성 저해 내지는 효소 활성 저해 물질의 생성이 주요 원인 중의 하나일 것으로 추측한다. 그러나 실제 공단 폐수중의 PVA농도는 1.0%에 훨씬 못 미치는 것으로 알려져 있기 때문에 이와 같은 활성저하현상은 현재로서는 큰 문제가 되지 않는다고 하겠다.

PVA 중합도의 영향 지금까지 탄소원으로 사용했던 중합도 1500의 PVA외에 중합도 500, 2000 및 30,000의 각종 PVA를 0.5% 농도로 첨가하여 PVA중합도 차이에 따른 PVA분해 이용율을 조사분석해 보았다. Table 5와 같이 본 PVA 분해균은 중합도에 관계없이 모든 종류의 PVA를 효과적으로 분해 이용하고 있음을 알 수 있었다. 본 PVA 분해균주의 이와 같은 특성은 각종 PVA가 함유될 수 있는 실제 공장폐수 처리에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 믿는다.

질소원의 영향 75% 혼합폐수에서 질소원으로 첨가했던 0.1% ammonium sulfate 대신 다른 유기 및 무기 질소

Table 5. Effect of polymerization degree of PVA on PVA degradation

Polymerization degree	PVA degradation (%)
500	95
1500	94
2000	92
30000	94

Cultivation was carried out at 40°C for 14 days in the 75% wastewater medium supplemented with 0.5% of each type of PVA indicated in the table.

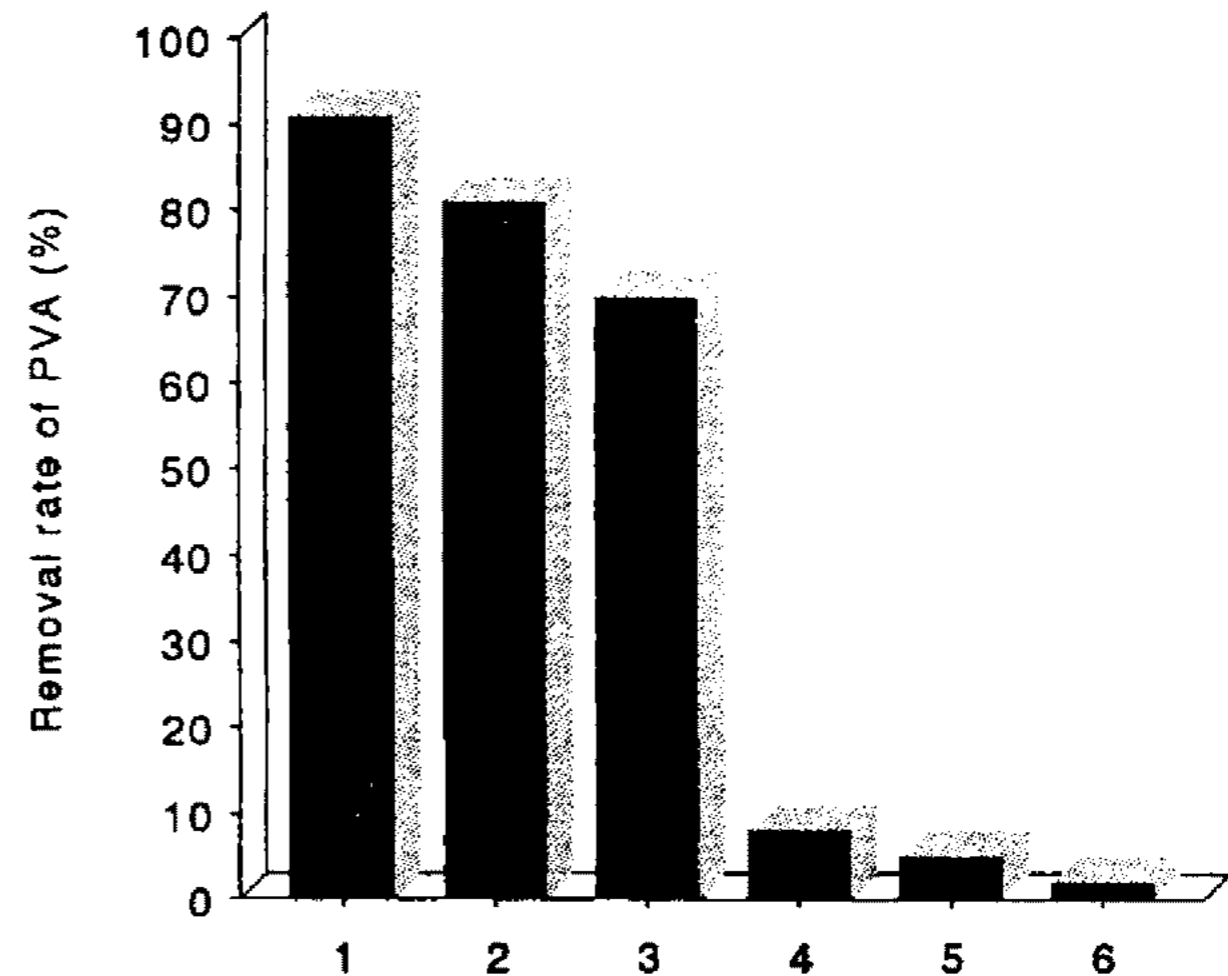


Fig. 4. Effect of various nitrogen sources on PVA degradation.

1. Yeast extract, 2. Corn steep liquor, 3. Ammonium sulfate, 4. Peptone, 5. Urea, 6. None. Cultivation was carried out at 40°C for 10 days in the medium supplemented with 0.5% PVA as a sole carbon source and 0.2% each of the nitrogen sources indicated in the figure.

원을 각각 0.2% 농도로 첨가하여 PVA 분해율에 미치는 질소원의 영향을 조사하였다(Fig. 4.) 가장 효과적인 질소원은 yeast extract였으며 무기 질소원중에서는 ammonium sulfate가 가장 좋았다. 그러나 실제 폐수처리 시스템에서는 운영비의 큰 증가요인이 될 수 있는 yeast extract는 사용할 수 없다고 한다면 ammonium sulfate가 실제 이용 가능한 가장 효과적인 질소원이라고 하겠다.

인산염 농도의 영향 혼합배지 중의 인산염 농도와 PVA 분해율과의 관계를 조사하여 Fig. 5와 같은 결과를 얻었다. 배지중의 인산염 농도는 완충액 성분으로 첨가하는 potassium phosphate의 농도를 달리하여 조정하였다. 25 mM 농도에서 가장 높은 PVA 분해율을 보였으며, 최적농도 이상의 인산염 첨가는 오히려 PVA분해율의 저하를 나타내었다.

반응기를 이용한 폐수처리 시험

플라스크 실험에서 얻은 중요 결과를 토대로 하여 *P. hemolytica* KMG1-1과 *Pseudomonas* sp. KMG6-1 공생 PVA 분해균을 5% 접종량으로 호기조에 접종하고 40°C와 20, 30 및 40시간의 체류시간(HRT)의 조건에서 반응

기를 운전해 보았다. 각 반응조에서의 COD, PVA 분해율 및 색도의 변화 등을 조사하여 폐수처리 효율을 분석해 본 결과 (Table 6) 체류시간에 관계없이 뚜렷한 처리 효과를 인정할 수 없었다.

따라서 혐기조 또는 생물학적 처리를 하지 않고 단순 폭기만을 실시한 호기조를 거친 방류수와 합성배지를 적절히 혼합한 혼합배지를 이용하여 재차 플라스크 실험을 통한 기초 조사를 하였다. Fig. 6에 표시되어 있는 바와 같이 혐기조를 거친 방류수의 경우, 40°C, 200 strokes/min의 조건에서 14일 배양했을 때 100% 폐수배지에서 70% PVA분해율을 나타내었다.

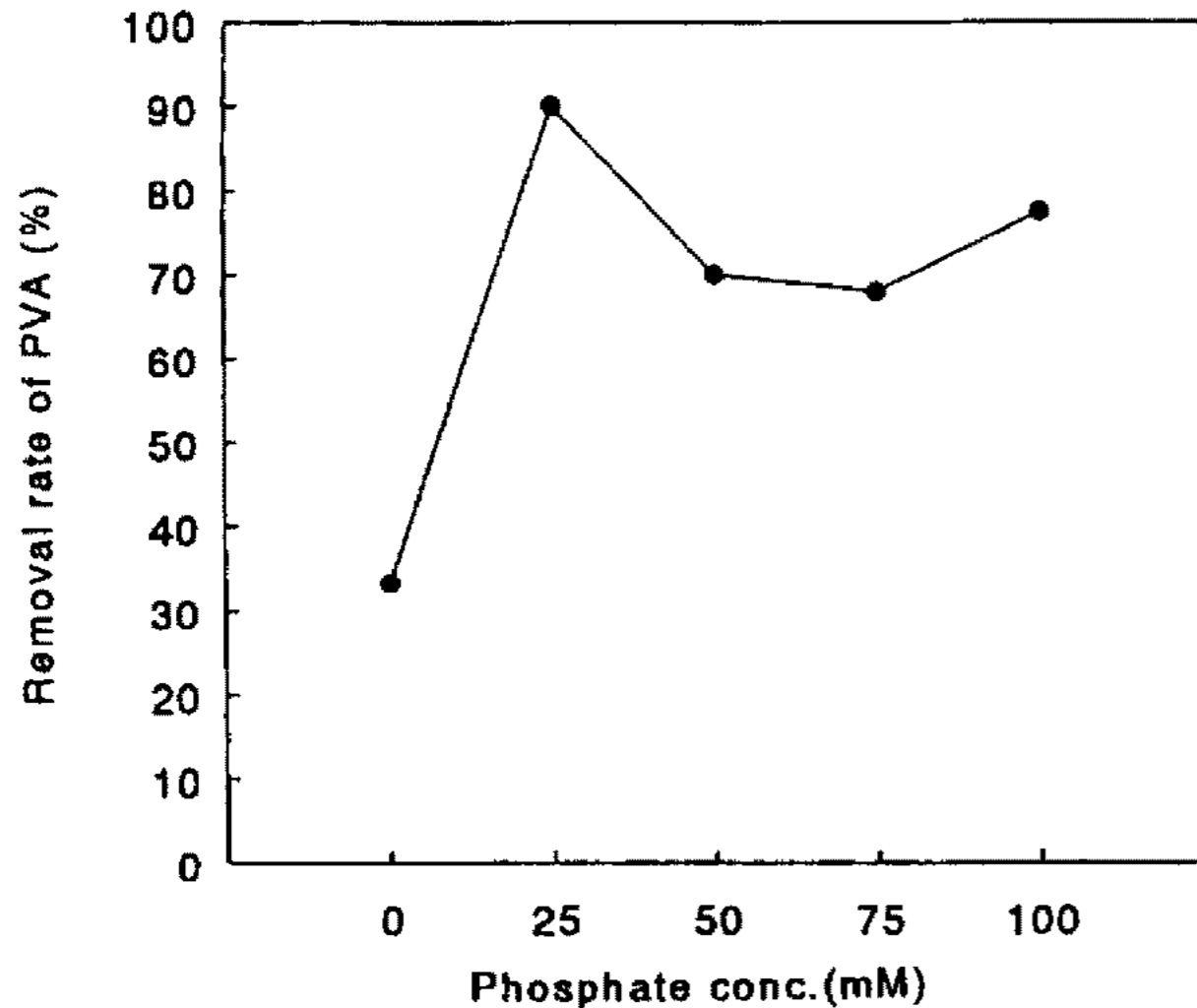


Fig. 5. Effect of phosphate concentrations on PVA degradation.

Symbol; ●, Removal rate of PVA. Cultivation was carried out at 40°C for 14 days in the 75% wastewater medium containing 0.5% PVA, 0.2% ammonium sulfate and various concentrations of potassium phosphate (dibasic).

이에 비해 호기조 방류수의 경우는 현저히 향상된 분해속도를 보여 배양 10일 째 100% 폐수배지에서 90%의 PVA분해율을 나타내었다(Fig. 7).

이상의 예비실험 결과를 참작하여 기존의 반응기 시스템에 호기조 한 개를 추가로 설치한 새로운 반응기 시스템(Fig. 1)을 고안하여 다음 실험을 실시하였다.

새반응기 시스템에 의한 PVA폐수처리

K 염색공장 폐수에 최종농도 0.5%의 PVA와 0.1%의

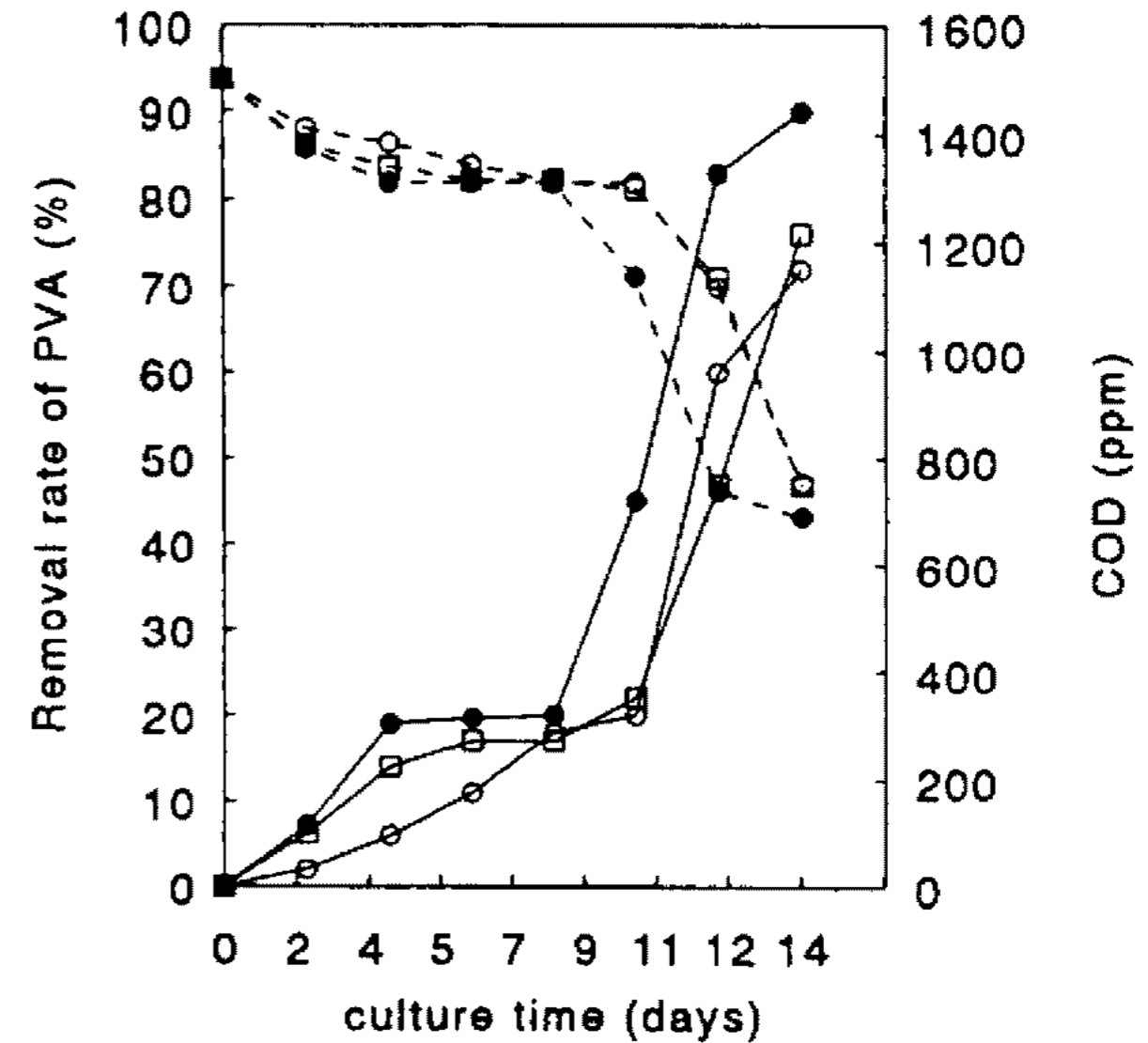


Fig. 6. Time course of COD change and PVA removal in the effluent from the anaerobic reactor.

Symbols; Wastewater concentrations. ●, 50%; □, 75%; ○, 100%; —, PVA degradation; ···, COD. Reaction was performed at 40°C in the mixed medium shown in the figure. The media were supplemented with 0.5% PVA as a sole carbon source and 0.2% ammonium sulfate as a sole nitrogen source.

Table 6. Color, COD and PVA removal by *Pasteruella hemolytica* KMG1-1 and *Pseudomonas* sp. KMG6-1 at various HRTs in the two-tank reactor system

Reactor		HRT (hr)					
		20		30		40	
		blank	Biologically treated*	blank	Biologically treated*	blank	Biologically treated*
wastewater	COD (ppm)	700	700	700	700	700	700
	PVA degradation (%)	0	0	0	0	0	0
	color index	529	529	529	529	529	529
anaerobic tank	COD (ppm)	650	650	520	520	520	520
	PVA degradation (%)	14	14	17	17	16	16
	color index	509	509	442	442	438	438
aerobic tank	COD (ppm)	550	530	320	300	310	294
	PVA degradation (%)	42	46	68	70	69	70
	color index	398	395	233	230	231	230

*5% inoculum of KMG1-1 and KMG6-1 was applied onto the aerobic tank. Textile wastewater supplemented with 0.2% PVA and 0.1% ammonium sulfate was used in the reactor experiment.

ammonium sulfate를 첨가한 배지를 혐기조에서 40°C를 유지하면서 45일간 정치하여 혐기성 미생물의 자기고정화를 유도시켰다. 고정화가 끝난 다음 호기조 2에 5% 접종 크기로 PVA 분해균주(KMG1-1과 KMG6-1)를 접종하고 20~60 시간의 체류시간을 조정하면서 폐수시료의 PVA 분해율, COD 감소율 내지는 색도 감소율 등을 측정해 보았다. Table 7에 요약되어 있는 바와 같이 체류시

간이 길수록 호기조 2에서의 균체증식이 더욱 활발해짐과 동시에 PVA, COD 및 색도 감소율도 향상되었다.

실제로 60시간의 체류시간일 때 PVA 분해율은 95%, COD는 700 ppm에서 50 ppm로, 색도는 529에서 164로 감소되었다. 그러나 실제 처리비용을 고려한 처리효율면에서 볼 때는 30시간의 체류시간이 가장 효과적이라고 평가된다.

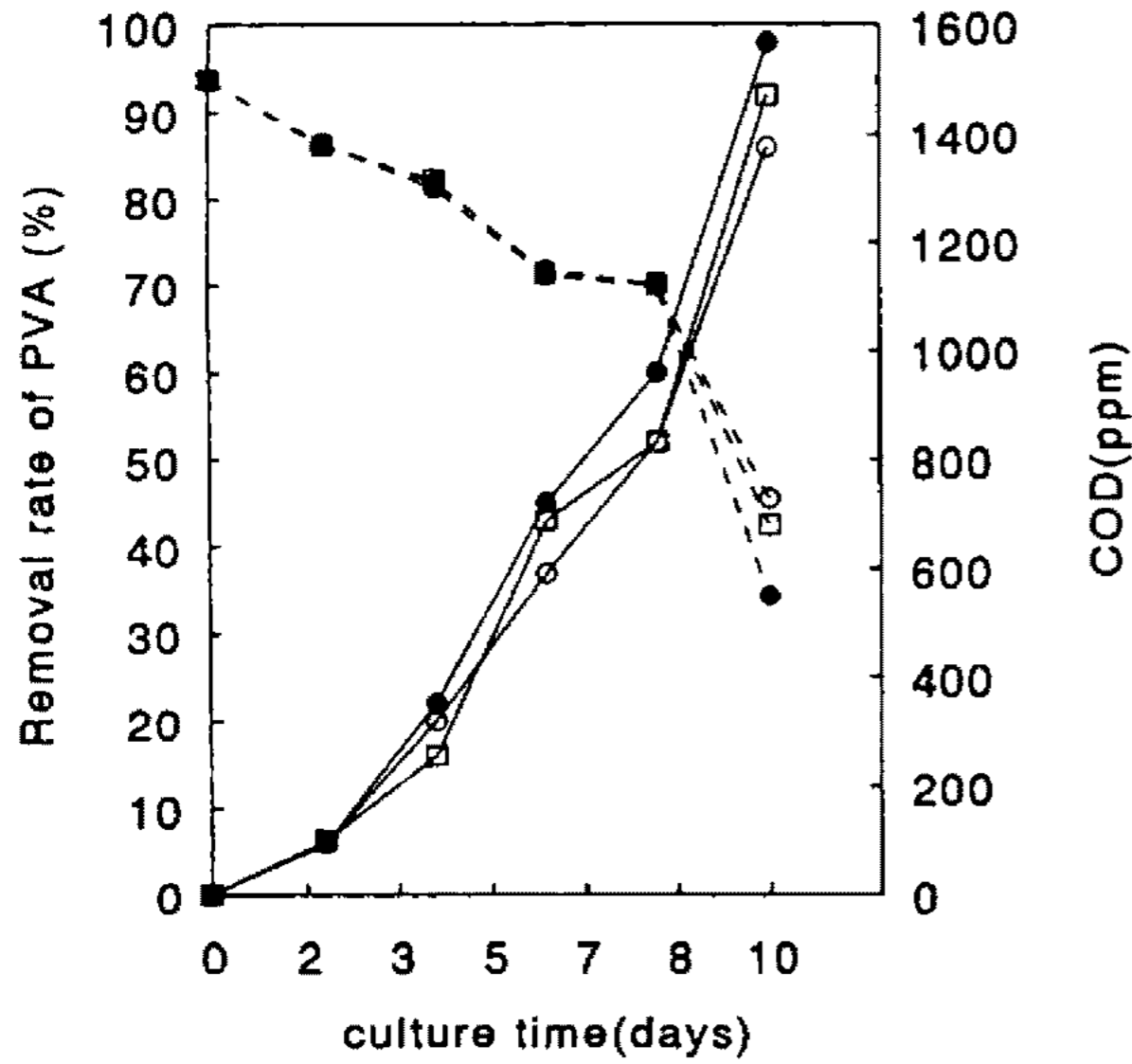


Fig. 7. Time course of COD change and PVA removal in the effluent from the aerobic reactor.
 Symbols; Wastewater concentrations. ●, 50%; □, 75%; ○, 100%; —, PVA degradation; ···, COD. Reaction was carried out at 40°C, DO of 2~3 mg/l and HRT of 30 hours in the mixed media shown in the figure. The media were supplemented with 0.5% PVA as a sole carbon source and 0.2% ammonium sulfate as a sole nitrogen source.

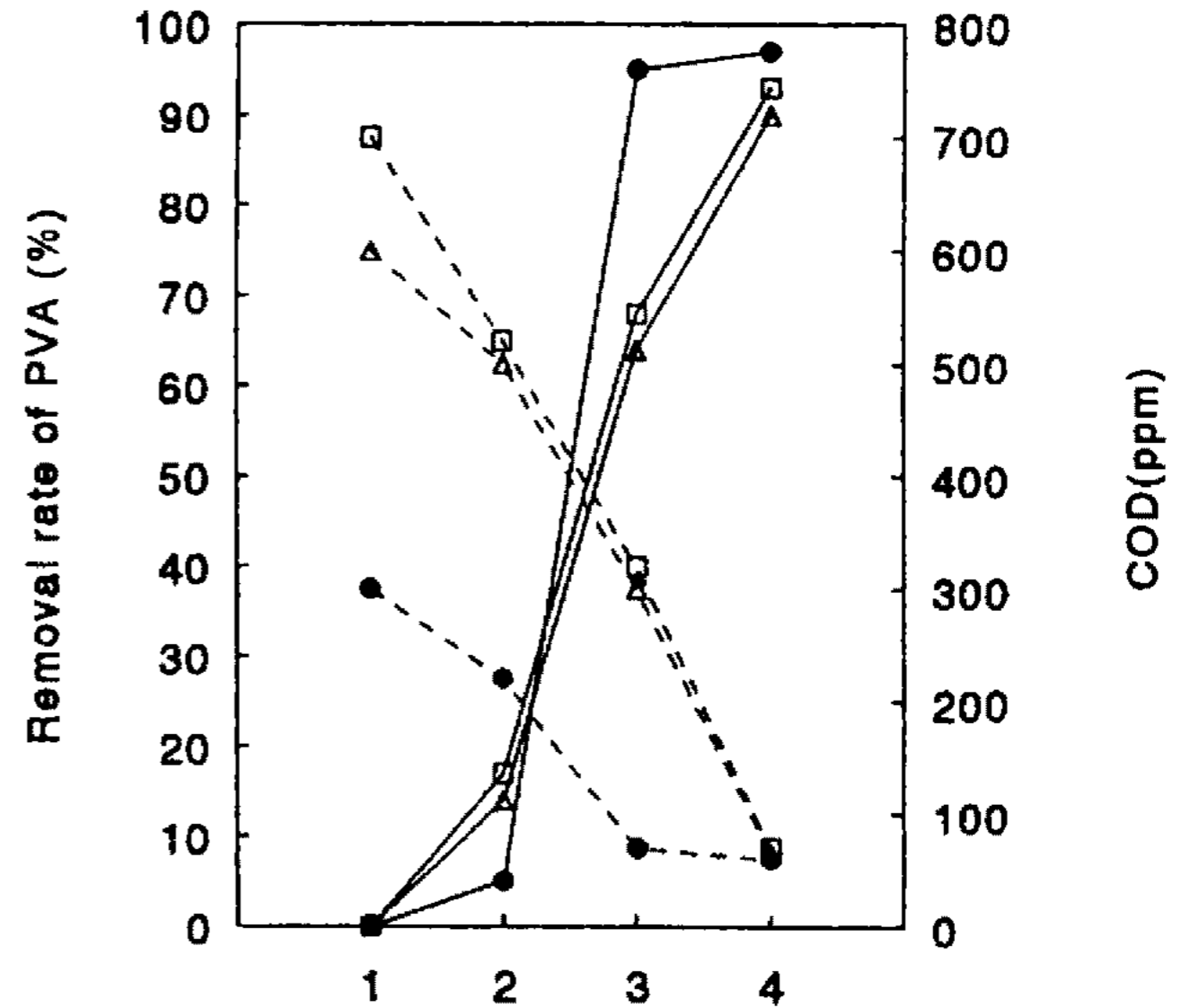


Fig. 8. Effect of PVA concentrations on COD and PVA removal.
 1. Wastewater, 2. Effluent from anaerobic tank, 3. Effluent from aerobic tank(1), 4. Effluent from aerobic tank(2). Symbols; PVA concentrations (ppm). ●, 300; △, 700; □, 1400; —, PVA degradation; ···, COD. Reaction was carried out at 40°C, DO of 2~3 mg/l and HRT of 30 hours in the mixed media shown in the figure. The media were supplemented with 0.5% PVA as a sole carbon source and 0.2% ammonium sulfate as a sole nitrogen source.

Table 7. Removal of color, COD, and PVA at various HRT in the three-tank reactor system.

Reactor	HRT (hrs)			
	20	30	40	60
wastewater				
COD (ppm)	700	700	700	700
PVA degradation (%)	0	0	0	0
color index	529	529	529	529
anaerobic tank				
COD (ppm)	650	520	520	480
PVA degradation (%)	14	17	16	19
color index	509	442	438	402
aerobic tank (1)				
COD (ppm)	550	320	310	150
PVA degradation (%)	42	68	70	87
color index	398	233	231	221
aerobic tank (2)				
COD (ppm)	450	70	65	55
PVA degradation (%)	68	94	94	95
color index	388	222	220	164
cell number KMG1 (cells/ml) (8×10^4)	1×10^6	8×10^5	4×10^5	1×10^5
KMG5 (1×10^3)	4×10^5	2×10^5	1×10^5	2×10^3

*5% inoculum of KMG1-1 and KMG6-1 was applied onto the aerobic tank2. Textile wastewater supplemented with 0.2% PVA and 0.1% ammonia sulfate was used in the reactor experiment.

다음은 체류시간을 30시간으로 고정하고 PVA 농도를 300, 700, 및 1400 ppm으로 조정된 폐수시료를 이용하여 PVA 분해균주의 PVA 분해능력을 검토해 보았다. Fig. 8과 같이 PVA 농도에 관계없이 PVA 분해율은 94%, COD 제거율은 약 80% 정도를 나타냄으로서 폐수 처리 효율이 매우 양호한 것으로 분석되었다.

이상의 연구 결과를 종합 분석해 본 결과, 본 연구실에서 분리 개발한 PVA 분해 공생균주는 실제 섬유 염색 가공 공단 폐수처리에 직접 적용 가능성이 있는 것으로 최종 결론을 내릴 수 있었다.

요 약

현재 섬유 염색 산업의 폐수 처리 공정은 일반적으로 물리화학적 전처리와 생물학적 후처리로 이루어져 있지만 처리 효율면에서 만족스러운 공정이 되지 못하고 있을 뿐만 아니라, 특히 하절기 상기 폐수는 수온이 40°C 이상으로 상승, 처리효율의 심각한 저하를 초래하고 있다.

따라서 본 연구에서는 본 연구자들이 분리 개발한 고온성 PVA 분해 공생균(KMG1, KMG6)과 실험실 규모의 반응기를 이용하여 40°C에서 효율적으로 운전할 수 있는 실용적 생물학적 처리 공정 개발 가능성을 검토하였다.

일차로 플라스크 실험을 통해 상기 PVA분해균의 실제 염색 폐수처리에의 직접 활용 가능성을 조사해 본 결과 염색 폐수 중에서 PVA 분해균이 전혀 생육하지 못하는 현상이 관찰되었다. 그러므로 상기 PVA 분해균을 폐수에 장기간 적응시키는 순화과정을 통해 새로운 PVA 분해변이주 KMG1-1과 KMG6-1을 분리하였으며 이 변이 공생균주는 PVA 0.5%와 원폐수 75%를 함유한 합성배지에서 높은 생육도를 보이면서 배양 14일째 89%의 PVA 분해율을 나타내었다.

또한, 균체 증식과 PVA 분해율은 pH 7.0에서 가장 효과적이었으며 PVA 중합도에 관계없이 0.75% PVA를 거의 전부 분해 이용하였다.

한편 상기 PVA 분해 변이균주를 실제 폐수를 사용한 혐기조와 호기조 각 한 개로 구성된 반응기 실험에 적용해 본 결과 반응 조건에 관계없이 뚜렷한 처리효과를 나타내지 않았다.

그러나 호기조 한 개를 더 추가한 새로운 반응기 시스템의 2 번 호기조에 PVA 분해균주를 5% 접종 크기로 접종하고 배양온도 40°C, 용존 산소량 2~3 mg/l, 그리고 30시간의 수리학적 체류시간의 조건에서 반응기를 운전했을 때 높은 균체증식도를 보이면서 COD는 82%, PVA는 94%, 그리고 색도는 71%의 높은 제거율을 나타내는 매우 양호한 폐수처리 효과를 얻었다.

감사의 글

본 연구는 선도기술개발사업(G7 프로젝트)의 세부과제인 “난분해성 염색폐수 처리효율증진 기술개발” 연구 결과의 일부로 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jeong, Seon-Yong, Youl-Lae Jo, Moo-Whan Cho and Jeong-Mog Kim. 1992. Isolation and characteristics of polyvinyl alcohol degrading bacteria. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **20**: 96-101.
2. 환경처. 1992. '91 폐수 배출 시설 조사 결과 보고서. p.138.
3. 서운수, 류재근, 임연택. 1988. “폐수 배출 시설 표준원 단위 조사 연구(II)”. 국립환경연구원.
4. Suzuki, T., Dazai, M., Fukunaga, K. 1977. Microbial-Degradation of Polyvinyl Alcohol (PVA) and Its Application to Treatment of PVA-containing Waste Water. *農化.* **51**(7): 53-58.
5. Suzuki, T., Ichihara, Y., Dazai, M., Misono, T. 1973. Treatment Conditions of Waste Water Containing Polyvinyl Alcohol Using Activated Sludge. *醸工.* **51**(9): 692-698.
6. Suzuki, T., Ichihara, Y., Yamada, M. and Tomomura, K. 1973. Some Characteristics of *Pseudomonas* O-3 which Utilizes Polyvinyl Alcohol. *Agric. Biol. Chem.* **37**(4): 747-756.
7. Shima, M., Fujita, I., Kato, N., Sakazawa, C. 1985. Enhancement of PQQ and PVA degradation in Mixed Continuous cultures of *Pseudomonas putida* VM15A and *Pseudomonas* sp. strain VM15C with Mixed Carbon Sources. *Appl. Env. Microbiol.* **49**(6): 1389-1391.
8. Kuwahara, M., Matsubara, T. 1988. Aerobic Treatment of Wastewater Using High Concentrations of Activated Sludge. *香川大學農學部學術報告.* **40**(1): 47-55.
9. Chul-Woo Lee, Myung-Ja Mheen, Yong-Jin Choi, Yeon-Taek Rim, Jae-Keun Ryu and Yoon-Soo Suh. 1994. Isolation of Polyvinyl Alcohol Utilizing Bacterial Strains. *J. KSWQ.* **10**: 105-111.
10. Chul-Woo Lee, Chul-Ki Kim, Yong-Jin Choi, Yeon-Taek Rim, Jae-Keun Ryu and Yoon-Soo Suh. 1994. Studies on the Optimal Conditions for Symbiotic Utilization of Polyvinyl Alcohol by the KMG1 and KMG5 mixed Culture and Isolation of a Thermophilic Mutant of the PVA Degradation KMG5. *J. KSWQ.* **10**: 112-119.
11. Suzuki, T. 1976. Purification and Some Properties of Polyvinyl Alcohol-degrading Enzyme Produced by *Pseudomonas* O-3. *Agric. Biol. Chem.* **40**(3): 497-504.
12. Gerhardt, Murray, Wood and Krieg. 1994. Methods for General and Molecular Bacteriology. ASM.
13. Finley, J. H. 1961. Spectrophotometric Determination of Polyvinyl Alcohol in Paper Coatings. *Anal. Chem.* **33**(13): 1925-1927.
14. 환경처. 1991. 수질 오염 공정 시험법.

(Received 22 November 1996)