

PVA (Polyvinyl Alcohol) 분해용 균주 *Microbacterium barkeri* LCa 및 *Paenibacillus amylolyticus* LCb의 분리 및 특성 연구

최 광 근 · 신 종 철 · 전 현 희 · ¹김 상 용 · ²류 원 석 · † 이 진 원
광운대학교 공과대학 화학공학과, ¹한국생산기술연구원, ²영남대학교 섬유패션학부
(접수 : 2003. 8. 23. 게재승인 : 2003. 12. 26.)

Isolation and Characterization of *Microbacterium barkeri* LCa and *Paenibacillus amylolyticus* LCb for PVA (Polyvinyl Alcohol) Degradation

Kwangkeun Choi, Jongchul Shin, Hyunhee Jeon, Sangyong Kim¹, Wonseok Lyoo², and Jinwon Lee†
Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
¹Korea Institute of Industrial Technology, Chonan 330-825, Korea
²School of Textiles, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea
(Received : 2003. 8. 23. Accepted : 2003. 12. 26.)

34 strains were isolated from dyeing wastewater in order to improve treatment efficiency of dyeing wastewater containing PVA. Two strains of them were finally selected through the PVA degrading test, and identified as *Microbacterium barkeri* LCa and *Paenibacillus amylolyticus* LCb. As a result, optimal conditions for microbial growth and PVA degradation were 30°C, neutral pH, starch as a carbon source, and peptone as a nitrogen source. And it was concluded that these two strains have good ability for PVA degradation. And 90% over PVA was degraded by single culture as well as a mixed culture of 2 different strains.

Key Words : Dyeing wastewater, microbial isolation, PVA degradation

서 론

PVA (PolyVinyl Alcohol)는 염색공업에 있어서 전분 및 아크릴 호제와 더불어 3대 호제로 다량 사용되고 있는 물질이며, PVA가 포함된 폐수는 염색공정 중 호발공정에서 주로 발생하고 있다(1). 또한, PVA는 염색폐수의 COD (Chemical Oxygen Demand)를 증가시키는 물질이며, 수용성이면서도 중합도가 높을수록 생분해가 어렵고, 분리막을 사용한 처리 시 fouling을 유발하는 물질이기 때문에 생물학적 분해가 매우 어려워 환경오염의 중요한 원인 물질이 될 수 있다(2).

PVA 처리를 위해 흡착(3), 초음파 분해(4) 등 물리적 방법과 촉매(5), Fenton 방법(6) 등 화학적 방법이 사용되고 있으

나, 2차 처리의 필요 및 경제적 문제 등으로 1936년 Nord(7)에 의해 PVA 분해 미생물이 보고된 이후 생물학적 방법을 사용하여 PVA를 제거하고자 하는 연구가 활발해져, PVA 분해용 미생물을 사용한 PVA 생분해 및 분해 기작 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 PVA 분해 연구 결과 Table 1에 보인 바와 같이 다양한 PVA 분해용 균주들이 분리되었고, 이들 균주에서 PVA 분해용 효소를 분리하여 PVA 분해에 대해 연구되어지고 있다.

현재까지 분리된 PVA 분해용 균주의 특성은 공생작용 및 낮은 중합도에서 높은 활성과 효율적인 PVA 처리 결과를 보이지만 단일균주만을 사용하거나 중합도가 높을 때는 PVA 분해율이 낮게 나타나고 있는 것으로 보고되고 있으며, 처리 시간 또한 길게 요구되고 있는 것으로 보고 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 여러 연구자들에 의해 연구되고 있으나, 최근 들어서는 효율적인 새로운 균주 분리를 시도하기 보다는 mixed culture에 대한 연구가 더욱 많으며, 중합도에 의한 PVA 분해율 감소 억제, PVA 분해 시간 단축, 그리

† Corresponding Author : Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
Tel : +82-2-940-5172, Fax : +82-2-909-0701
E-mail : jwlee@daisy.kw.ac.kr

고 단일균주만을 사용하여 얻은 우수한 분해 효율 등에 대한 연구보고는 거의 없는 실정이다.

Table 1. Microbial isolation through the PVA degradation studies

Year	Researcher	Microbes and Enzyme Isolation	Ref.
1973	T. Suzuki <i>et al.</i>	<i>P. boreopolis</i>	8
1975	Y. Watanabe <i>et al.</i>	<i>P. vesicularis</i> PD	9
1981	C. Sakazawa <i>et al.</i>	<i>Pseudomonas</i> sp.	10
1982	M. Shimao <i>et al.</i>	<i>Pseudomonas putida</i>	11
1985	K. Sakai <i>et al.</i>	<i>Alcaligenes</i> sp.	12
1992	Cho. M. W <i>et al.</i>	<i>Pseudomonas cepacia</i>	13, 14
1994	R. Fukae <i>et al.</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. A-41	15
1996	T. Mori <i>et al.</i>	<i>Bacillus megaterium</i>	16
1997	Ryu, J. K. <i>et al.</i>	<i>Pasteurella haemolytica</i>	17
1999	Ines Mejia AG <i>et al.</i>	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	18
2002	Lee, J. A. <i>et al.</i>	<i>Cardiobacterium</i> sp. SB68	19
2003		<i>Microbacterium barkeri</i> LCa	This study
2003		<i>Paenibacillus amylolyticus</i> LCb	This study

이에, 본 연구에서는 중합도에 의한 영향을 받지 않으면서, 단일균주 만으로도 PVA 분해에 우수한 활성을 보이고, 단시간 내에 PVA를 분해할 수 있는 균주를 염색폐수 등에서부터 분리하여 각각의 선별된 단일 균주 및 균주들의 조합을 통해 PVA 등 난분해성 물질을 최대로 분해시키고자 하였다. 또한, 선별된 균주의 최적 배양조건 및 최대분해조건을 확립하여 염색폐수에 포함되어 있는 PVA의 생물학적 처리 효율을 높이는 방법을 개발하고자 하였다.

재료 및 방법

균주 분리용 시료 및 배지 조성

우수한 PVA 분해용 균주를 분리하기 위해서, 염색폐수 및 PVA 생산 공장의 폐수를 균원시료로 사용하였다. 균주 분리용 배지는 Suzuki(8)에 의해 사용된 배지를 조정하여 사용하였고 그 조성은 다음과 같다. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 g, KH_2PO_4 0.4 g, K_2HPO_4 3.2 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, NaCl 0.1 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g, yeast extract 1 g을 증류수 1 L에 녹인 후 pH를 7.5로 조정하여 사용하였으며, 고체 배지 제조를 위해서는 상기 조성에 아가 1.5% (w/v)를 첨가하여 사용하였다. PVA는 Kanto (일본)에서 구입하였으며, 여러 가지 농도로 조정한 후 상기 조성에 첨가하여 사용하였고, 균주 분리시 사용한 PVA의 중합도는 500이었다.

PVA 분해균 분리

염색폐수 및 슬러지를 채취한 후 포함되어 있을 PVA 분해균의 활성을 높이고자 시료 채취 직후 폭기를 실시하였으며, PVA를 유일탄소원으로 하여 반연속 배양을 실시하였다. 균주분리 시에는 여러 차례의 교대 배양을 진행하였으며, 고체 배지 상의 콜로니의 색상 차이에 의해 분리하였다. 반연속 배양 실시 후 250 mL Erlenmeyer flask에 PVA 배지 70 mL와 배양액 10 mL를 혼합하여 30°C에서 5일간 150 rpm에서 진탕배양하였다. 진탕배양이 끝난 후 배양액 0.1 mL씩을 취

하여 PVA agar 평판배지에 도말하여 30°C에서 배양한 다음 평판배지 상에서 형성된 여러 colony들 중 독립된 colony를 취하여 다시 PVA 평판배지에 도말하는 방법으로 4~5차례의 계대배양을 실시한 후 PVA 분해균을 분리하였는데, 최종 분리 시 PVA 평판 배지에 Finley 법(20)을 적용하여 투명한 지역을 보이는 colony를 최종 분리하였다.

균주 성장 측정과 PVA의 정량적 측정

균주 성장 측정 및 PVA의 측정에는 UV spectrophotometer (시마즈, 일본)를 사용하였으며, 균주 및 PVA가 보이는 최대 흡수 파장 (각각 660 및 690 nm)에서 측정하였다. PVA의 정량적 측정을 위해 Finley의 방법을 따랐으며, boric acid 존재 시 PVA가 iodine과 반응하여 나타나는 green color를 UV spectrophotometer를 사용하여 690 nm에서 측정하였다. 이때, PVA의 정량적 측정을 위해 2~20 mg/L의 PVA 용액을 2 mg/L 간격으로 제조한 후 각각의 농도에서 파장별로 흡광도를 측정 후 최대 흡수 파장을 결정 후, 결정된 최대 흡수 파장에서의 흡광도 값을 이용하여 표준곡선을 작성한 후 여러 농도를 갖는 PVA 용액을 제조하여 검량한 후 표준곡선을 작성하였다. 작성된 표준곡선을 사용하여 PVA 분해 실험 후 잔존 PVA의 농도를 정량적으로 측정하였다.

PVA 분해율 측정

PVA 분해용 균주를 분리한 후 분리된 각각의 균주를 사용하여 PVA 분해실험을 진행하였다. 이때 사용한 PVA는 중합도 500이었으며, 30°C, pH 7, 그리고 150 rpm 조건 하에서 5일 동안 실험을 진행한 후 잔존 PVA 양 및 PVA 분해율을 Finley 방법을 적용하여 정량적으로 측정하였다. 각각의 균주를 사용하였을 때와의 비교를 위해 각 균주를 서로 다른 2종의 균주끼리 혼합하여 PVA 분해 실험에 적용하였으며, 실험 조건은 단일균주를 적용한 실험과 동일하게 하였다. 또한 PVA 분해에 대한 중합도의 영향을 살펴보고자 500, 1,700, 2,000의 중합도를 갖는 PVA를 사용하여 30°C, pH 7 하에서 5일동안 실험을 진행하였다.

PVA 분해 및 균주 성장에 대한 온도 및 pH의 영향

배지의 초기 pH가 분해율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 pH 7을 포함하여 배지의 초기 pH를 2에서 10까지 pH 2 간격으로 조정하여 5일 동안 실험을 진행하였으며, pH 조정에는 0.1 N NaOH와 HCl을 사용하였다.

균주 성장 및 PVA 분해 효율에 대한 온도의 영향을 알아보기 위하여 20°C, 30°C, 그리고 45°C로 조정하여 실험하였으며, 온도 조정에는 온도 컨트롤러가 장착된 shaking incubator를 사용하였다. 실험 전 각 온도에서 예비배양을 실시하여 급격한 온도 변화에 의한 shocking을 방지한 후 실험을 실시하였다.

PVA 분해 및 균주 성장에 대한 탄소원 및 질소원의 영향

균주 성장 및 PVA 분해에 대한 영양원의 영향을 조사하기 위하여 각종 탄소원 및 질소원의 첨가에 따른 분해율의 변화를 조사하였다. 분해율 비교 기준으로 정한 경우는 PVA를 유일 탄소원으로 했을 때의 분해율을 사용하였다. 탄소원은

methanol, ethanol, glucose, fructose, 및 starch 등 다섯 가지의 탄소원을 사용하였으며, 각각 0.1% (w/v)를 첨가하여 실험을 진행하였고, 질소원으로는 urea, beef extract, peptone, NH₄Cl, 및 KNO₃ 등 다섯 가지의 질소원을 사용하였으며, 각각 1% (w/v)를 첨가한 후 실험을 진행하였다. 실험을 진행하며, 각 탄소원 및 질소원이 PVA 분해율 및 균주 성장에 미치는 영향을 조사하였다.

PVA 분해균의 동정

PVA 분해 실험을 통해 우수한 균주로 선별된 균주에 대해 생리학적 특성을 조사한 후 16S rDNA 방법을 적용하여 동정을 진행하여 정확한 균주의 명명을 하였다.

결과 및 고찰

PVA 분해용 균주 분리

염색폐수 및 PVA 제조 공장의 폐수로부터 34 종의 PVA 분해용 균주를 분리하였으며, 분리된 균주를 PVA 합성폐수에 적용하여 얻은 PVA 분해효율을 Fig. 1에 보였다. 각 실험에 사용한 균주명은 실험 편의상 분리한 순서대로 아라비아 숫자를 붙여 사용하였으며, 최종 분리 후 동정을 통해 정확한 이름으로 균주를 명명하였다.

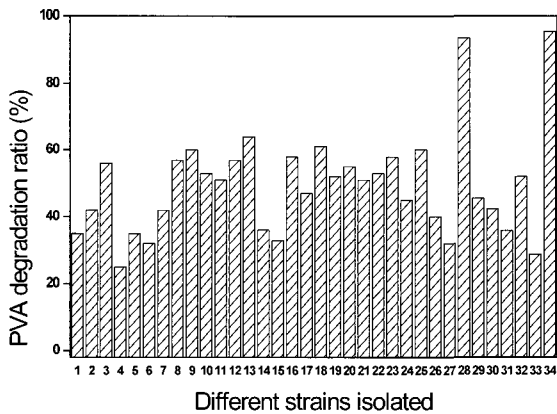


Figure 1. PVA degradation by 34 different strains isolated.

Fig. 1은 34종의 균주를 PVA 합성폐수에 적용하여 얻은 PVA 분해율을 보인 것인데, 최하 28%에서 최고 98%의 분해율을 보이고 있다. 즉, Fig. 1에서 28과 34라고 명명한 균주에 의해 98%의 PVA가 분해됨을 알 수 있다. 이에, 28번과 34번이라고 명명한 균주를 PVA 분해에 있어 가장 우수한 균주로 분리하였으며, 이 2종의 균주를 PVA 분해에 사용하게 되면 생물학적 제거처리만으로도 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

하지만 균주 분리 후 분리된 균주를 다시 실험폐수에 적용하고자 할 때에는 실험폐수에 존재하는 다른 미생물 및 환경에 의해 분리된 균주가 우점종으로 나타나지 않을 가능성이 있다. 또한 단일균주 보다는 서로 다른 종끼리의 혼합적용에서 균주 성장 기간이 길어져 PVA 분해 효율 및 균주 성장에 더욱 효과적일 수 있다. 이에 최초 균주 분리 시 분리된 여러

가지의 균주를 혼합하여 실험폐수 처리에 있어서도 우점종으로 나타나게 하기 위해 서로 다른 종을 혼합하여 합성폐수에 적용하는 시험이 필요하다. 이에 단일균주만을 PVA 합성폐수에 적용하여 측정한 분해율과의 비교를 위해 분리된 34종의 균주 중 28번과 34번의 균주를 포함하여 8종의 균주를 선별한 후 서로 다른 2종의 균주끼리 혼합하여 PVA 합성폐수에 적용하여 측정한 PVA 분해 결과를 Fig. 2에 보였다.

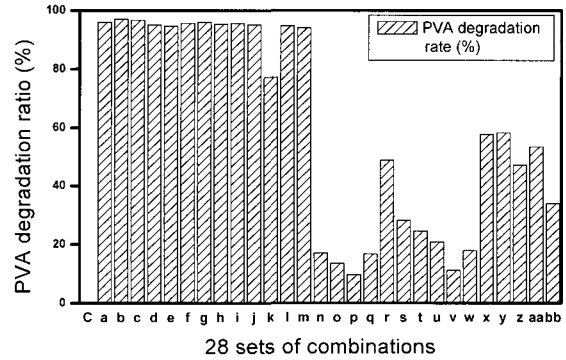


Figure 2. PVA degradation by combinations with 2 different strains (where, a ~ bb : names of combinations).

strains	28	3	9	13	16	18	25
34	a	b	c	d	e	f	g
28		h	i	j	k	l	m
3			n	o	p	q	r
9				s	t	u	v
13					w	x	y
16						z	aa
18							bb

Fig. 2에서 볼 수 있듯이, a~m까지의 조합, 즉, 28번과 34번의 균주가 포함된 조합에서 우수한 분해효율 (90% 이상)을 보임을 알 수 있다.

결과적으로, 28번과 34번의 균주는 단일균주 형태로도 혹은 서로 다른 2종의 균주를 혼합하여 적용하더라도 90% 이상의 높은 분해효율을 보이는 것으로 나타났으며, 이 두 종의 균주를 PVA 함유 폐수에 적용하면 PVA 처리에 효과적인 것으로 사료된다.

PVA 분해 및 균주 성장에 대한 온도 및 pH의 영향

균주 성장 및 PVA 분해 효율에 대한 pH의 영향을 조사하기 위하여 배지의 초기 pH를 2에서 10까지 pH 2간격으로 0.1 N NaOH와 HCl을 이용하여 조정된 후 실험을 진행하였다. 28번 균주를 사용하여 실험한 pH 영향 결과를 Fig. 3에 보였다.

Fig. 3에서 보면 pH 7에서 가장 높은 PVA 분해율을 보여 본 연구에서 분리한 균주 역시 타 보고(13, 16, 17, 19)에서 분리한 균주와 마찬가지로 중성 영역에서 최대 활성을 보이는 것으로 판명되었다. 중성 부근, 즉 pH 6, 7, 8 이외의 pH 영역에서는 PVA 분해율이 매우 낮거나 PVA를 전혀 분해하지 못하는 것으로 나타났다.

또한, 균주 성장 및 PVA 분해 효율에 대한 온도의 영향을

알아보기 위하여 20℃, 30℃, 그리고 45℃로 조정하여 실험을 진행하였으며, 이 때 pH 7 그리고 150 rpm으로 조정하여 실험을 진행하였고, 28번 균주를 사용한 결과를 Fig. 4에 보였다.

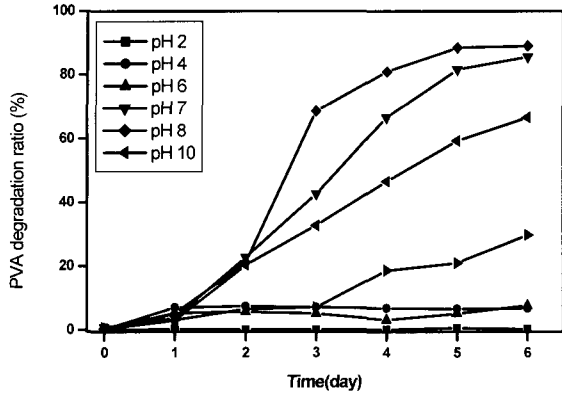


Figure 3. Effect of initial pH on the PVA degradation by using a mixed culture of 2 different strains (■ : pH 2, ● : pH 4, ▲ : pH 6, ▼ : pH 7, ◆ : pH 8, ◀ : pH 10).

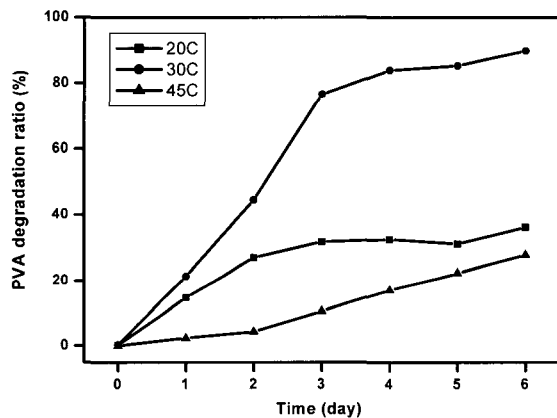


Figure 4. Effect of temperature on the PVA degradation by using a mixed culture of 2 different strains (■ : 20℃, ● : 30℃, ▲ : 45℃).

Fig. 4에서 보면, 30℃에서 가장 높은 PVA 분해율을 보인 반면, 20℃와 45℃에서는 매우 낮은 PVA 분해율을 보이고 있다.

결론적으로, PVA 분해에 있어 최적 조건은 pH 7 그리고 온도 30℃인 것으로 판명되었다.

PVA 분해 및 균주 성장에 대한 탄소원 및 질소원의 영향

각각 다섯 가지의 탄소원 및 질소원을 배지에 첨가했을 경우, 첨가한 탄소원 및 질소원이 균주 성장에 주는 영향과 PVA 분해효율에 주는 영향을 측정하여 Fig. 5와 6에 보였다.

먼저 Fig. 5에서 볼 수 있듯이, starch를 탄소원으로 사용했을 때 PVA 분해효율이 우수한 것으로 나타났으며, 89%의 분해효율을 얻을 수 있었다. 이 결과를 토대로, 실험수에 본 연구에서 분리한 균주를 적용하면 우수한 PVA 분해효율을

얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그 이유는 실험수에는 PVA와 같이 전분을 호제로 사용하는 경우가 많아서 실제로 폐수 내에 전분이 많이 포함되어 있기 때문에 본 연구 결과에서 나타난 것처럼 탄소원으로 starch를 부수적으로 제공하지 않아도 우수한 분해효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

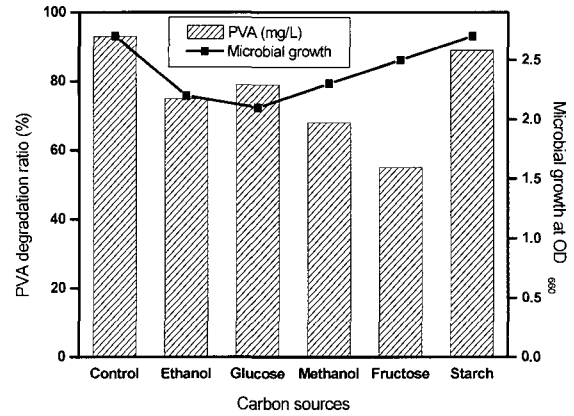


Figure 5. Effect of carbon sources on the PVA degradation by using a mixed culture of 2 different strains.

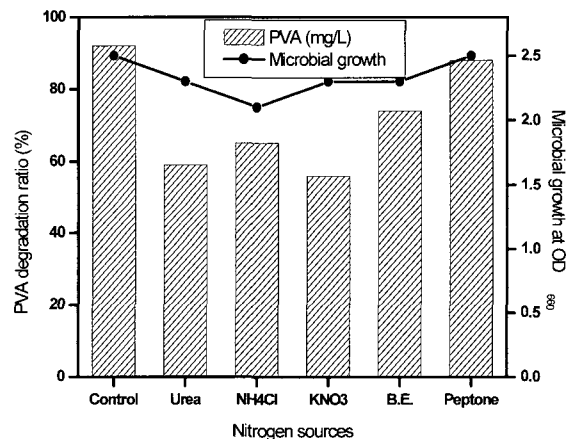


Figure 6. Effect of nitrogen sources on the PVA degradation by using a mixed culture of 2 different strains.

또한, Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 질소원의 영향에서는 peptone의 첨가에 의해 우수한 분해효율을 얻을 수 있었으며, 분해효율은 89%로써 질소원을 첨가하지 않은 대조구와는 많은 차이를 보이고 있다. 이 결과로써 PVA 분해용 균주 배지 조성에 있는 yeast extract는 질소원과 탄소원이 혼합되어 있는 물질이기 때문에, 만일 유일 탄소원에 의한 영향을 고찰할 경우에는 본 실험의 결과에서처럼 그 분해효율이 비슷한 yeast extract보다는 peptone을 사용하는 경우가 다른 탄소원의 영향을 받지 않아 오차의 원인을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

결론적으로 탄소원은 starch를 그리고 질소원으로 peptone을 사용한다면 우수한 PVA 분해효율을 얻을 수 있을 것으로

사료되며, 실패수에의 적용 시 부수적인 탄소원 제공 없이도 우수한 분해효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

분리균주의 동정

최종 분리된 두 종의 균주에 대해 동정을 실시한 후 그 결과를 Table 2에 보였다.

Table 2. Results of Identification of two strains by 16S rDNA methods

S e q u e n c e	5'-AACGCTGGCGGCGTGCCTAACACATGCAAGTCGAACGATGAAGCCAGCT TGCTGGGTGGATTAGTGGCGAACGGGTGAGTAACACGTGAGCAACCTGCC CCTGACTCTGGGATAACAGCCGAAACGGTGTGTAATACCGGATATGCAT CATGGCCGCATGGTCTGTGGTGGAAAGATTTTTTCGGTTGGGATGGCT CGCGCCATACAGCTGTGTGGTGGGTAGTGGCTACCAAGGCGTCGACG GGTAGCCGCTGAGAGGGTGACCGCCACACTGGGACTGAGACAGCGCC CAGACTCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGCGGAAG CCTGATGCAGCAACGCCGCTGAGGGATGACGGCCTTCGGGTTGTAAACC TCTTTTAGCAGGGAAGAAGCGTAAGTGACGGTACCTGCAGAAAAAGCGCC GGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGGTAATACGTAGGGCGCAGGCGTTAT CCCGAATTTAGGCGTAAAGAGCTCGTAGGGGTTTTCGCGTCTGCTG TGAAA-3'
Result	<i>Microbacterium barkeri</i> LCa
S e q u e n c e	5'-TGCCTAATACATGCAAGTCGAGCGGACTTGATGAGAAGCTTGTCTCTG ATACTTAGGGGGGACGGGTGAGTAACACGTAGGCAACCTGCGCTCAAGT TTGGGCAACTACCGAAACGGTAGCTAATACCGAATAGTTGTTTCTC GCCTGAAGAGAACTGGAAAGACGGAGCAATCTGTACCTGGGGATGGGCC TGCGGCGCATTAGCTAGTTGGTGGGTAACGGCTACCAAGGCGACNATN CGTAGCCNACCTGAGAGGGTGATCGGCCACACTGGGACTGAGACACGGCC CAGACTCTACGGGAGGCAGCAGTGGGAATCTTCGCAATGGGCGAAAG CCTGACGGAGCAATGCCGCTGAGTGTGATGAAGGTTTCGGATCTGANAGC TCTGTTGCCAGGAAGAACGCTTGGGAGAGTAAGTCTCAAGGTGACG GTACCTGAGAAGAAAGCCCGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCCGGTAAT ACGTAGGGGCAAGCGTTGTCCGGAATATTGGGCGTAAAGCGCGCGCAG CGGCTCAATTAAGTCTGGTGTTTAATCCCGGGCTCAACCCCGGATCGCA CTGGAACCTGGGTGACTTGAAGTGCAGAGAGGAGAGTGAATCCACGTG TAGCGGTGAAATGCGT-3'
Result	<i>Paenibacillus amylolyticus</i> LCb

동정을 위해 생리학적 특성을 살펴본 후 16S rDNA 방법을 적용하여 동정의 정확도를 높였으며, 이 때 결정된 염기 서열의 개수는 각각 555 bp와 666 bp이었으며, 99%의 유사성을 보여 *Microbacterium barkeri* LCa와 *Paenibacillus amylolyticus* LCb로 동정되었다. 동정 후, 정확한 이름으로 명명된 2종의 균주를 PVA 합성폐수에 적용한 후 30℃, pH 7 그리고 150 rpm 조건 하에서 실험한 후 측정된 PVA 분해율을 Fig. 7에 보였다.

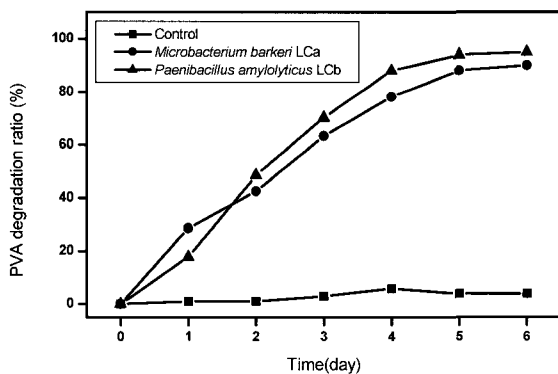


Figure 7. PVA degradation by *Microbacterium barkeri* LCa and *Paenibacillus amylolyticus* LCb under optimal conditions (■ : Control, ● : *Microbacterium barkeri* LCa, ▲ : *Paenibacillus amylolyticus* LCb).

Fig. 7에서 보는 바와 같이 2 균주 모두 평균 90% 이상의 높은 분해효율을 보이고 있다. 따라서, 최종적으로 분리된 2 종의 균주를 사용하게 되면 난분해성 오염물질이자 막분리법 적용 시 fouling을 유발하는 PVA의 제거에 유용하게 작용할 것으로 사료되며, 이를 실패수에 적용하게 되면 생물학적 처리만으로도 높은 PVA 분해효율을 보일 것으로 사료된다.

요 약

염색폐수에 포함된 PVA를 생물학적으로 제거하고자 34 종의 PVA 분해용 균주를 염색폐수 및 슬러지로부터 분리하였다. 이 중 PVA 분해 시험을 거쳐 2 종의 균주를 최종분리하여 동정하여 *Microbacterium barkeri* LCa와 *Paenibacillus amylolyticus* LCb로 명명하였다. 최종분리균의 최적성장조건 및 최대분해조건을 규명해보았는데, 온도는 30℃, pH는 7, 탄소원은 starch, 그리고 질소원은 peptone으로 판명되었으며, 최적조건 하에서의 PVA 분해율은 89%를 보였다. 또한, 본 연구에서 분리한 균주는 PVA 중합도의 영향 없이 높은 분해율을 유지하는 것으로 판명되었다.

감 사

본 연구는 차세대 핵심 환경기술 개발 사업 (난분해성 염색가공 폐액의 복합 고도처리 및 재이용 공정 개발)의 지원을 받아 수행하게 되어 이에 감사를 드리는 바이며, 아울러 국가지정연구실 사업 (선택적 고정화 생물반응 및 NF 분리 복합공정에 의한 섬유가공 폐수의 공정내 재이용 및 무배출 관리기술)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드리는 바입니다.

REFERENCES

- Whitebook (2001), Ministry of Environment, Korea.
- Kim, C. K., Y. J. Choi, C. W. Lee, Y. T. Rim, and J. K. Ryu (1997), PVA removal from textile wastewater by the symbiotic PVA-utilizing bacteria, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **25**, 89-95.
- Chiellini, E., A. Corti, B. Politi, and R. Solaro (2000), Adsorption /desorption of poly(vinyl alcohol) on solid substrates and relevant biodegradation, *J. Polym. Environ.* **8**, 67-79.
- Taghizadeh, M. T. and A. Mehrdad (2003), Calculation of the rate constant for the ultrasonic degradation of aqueous solutions of polyvinyl alcohol by viscometry, *Ultrasonics Sonochemistry* in press.
- Maksimova, N. I. and O. P. Krivoruchko (1999), Study of thermocatalytic decomposition of polyethylene and polyvinyl alcohol in the presence of an unsteady-state Fe-containing catalyst, *Chemical Engineering Science* **54**, 4351-4357.
- Larking, D. M., R. J. Crawford, G. B. Y. Christie, and G. T. Lonergan (1999), Enhanced degradation of polyvinyl alcohol by *Pycnoporus cinnabarinus* after pretreatment with Fenton's reagent, *Appl. Environ. Microbio.* **65**, 1798-1800.
- Nord, F. F. (1936), Dehydrogenation activity of *Fusarium lini* B, *NATURWISS* **24**, 763.
- Suzuki, T., Y. Ichihara, M. Yamada, and K. Tonomura (1973), Some characteristics of *Pseudomonas* O-3 which utilizes polyvinyl

- alcohol, *Agr. Biol. Chem.* **37**, 747-756.
9. Watanabe, Y., M. Morita, N. Hamada, and Y. Tsujisaka (1975), Formation of hydrogen peroxide by a polyvinyl alcohol degrading enzyme, *Agr. Biol. Chem.* **39**, 2447-2448.
 10. Skazawa, C. and M. Simao (1981), Symbiotic utilization of polyvinyl alcohol by mixed cultures, *Appl. Environ. Microbiol.* **41**, 261-267.
 11. Shimao, M. (1982), Production of polyvinyl alcohol oxidase by a symbiotic mixed culture, *Appl. Environ. Microbiol.* **44**, 28-32.
 12. Sakai, K. (1985), Degradation mechanism of poly(vinyl alcohol) by successive reactions of secondary alcohol oxidase and β -diketone hydrolase from *Pseudomonas* sp., *Agr. Biol. Chem.* **50**, 989-996.
 13. Jeong, S. Y., Y. L. Jo, M. W. Cho, and J. M. Kim (1992), Isolation and characteristics of polyvinyl alcohol degrading bacteria, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **20**, 96-101.
 14. Jo, Y. L. (1992), Characterization of polyvinyl alcohol utilizing symbiotic bacteria *Pseudomonas* sp. J2W and *Xanthomonas* sp. J2Y, *J. Korean Agric. Chem. Soc.* **35**, 30-35.
 15. Fukae, F., T. Fujii, M. Takeo, T. Yamamoto, T. Sato, Y. Maeda, and O. Sangen (1994), Biodegradation of poly(vinyl alcohol) with high isotacticity, *Polymer J.* **26**, 1381-1386.
 16. Mori, T. (1996), Isolation and characterization of a strain of *Bacillus megaterium* that degrades poly(vinyl alcohol), *Biosci. Biotech. Biochem.* **60**, 330-332.
 17. Lee, C. W., C. K. Kim, Y. J. Choi, Y. T. Rim, J. K. Ryu, and Y. S. Suh (1994), Studies of optimal conditions for symbiotic utilization of polyvinyl alcohol by the KMG1 and KMG5 mixed culture and isolation of a thermophilic mutant of the PVA degrader KMG5, *J. KSWQ* **10**, 112-119.
 18. Mejía, A. I., B. J. Lopez, and A. P. Mulet (1999), Biodegradation of poly(vinyl alcohol) with enzymatic extracts of *Phanerochaete chrysosporium*, *Macromol. Symp.* **148**, 131-147.
 19. Lee, J. A., and M. N. Kim (2002), Isolation of new and potent poly(vinyl alcohol)-degrading strains and their degradation activity, *Polymer Degradation and Stability* in press.
 20. Finley, J. H. (1961), Spectrophotometric determination of polyvinyl alcohol in paper coatings, *Anal. Chem.* **33**, 1925-1927.