

염색폐수의 혐기·호기처리공정 개발

(7)

국립환경연구원

4. 반응기를 이용한 폐수 처리 시험

플라스크 실험을 실시하여 얻은 중요 결과를 토대로 삼아 *Pasteurella hemolytica* KMG1-1과 *Pseudomonas* sp. KMG6-1 공생 PVA 분해균을 50%의 접종량으로 호기조 1에 접종하고 반응기를 운전해 보았다. 20, 30 및 40 시간의 HRT 조건에서 각 반응조에서의 COD, PVA 분해율 및 색도의 변화 등을 조사 분석하여 표 3-6과 같은 결과를 얻었다. HRT 조건에 관계없이, PVA 분해균으로 처리하였을 때와 처리하지 않는 대조 실험 결과를 비교 분석해 본 결과 뚜렷한 처리 효율의 차이를 인정할 수 없었다.

따라서 예비 실험으로 혐기조 또는 호기조를 거친 방류수와 합성배지를 이용하여 적절한 비율의 혼합배지로 조제하여 재차 플라스크 실험을 해 보았다. 그림 3-6에 표시되어 있는 바와 같이 혐기조를 거친 방류수를 이용했을 경우, 40°C, 200 strokes/min의 조건으로 14일간 배양했을 때 100% 폐수에서 PVA 분해율이 70%를 나타내었다.

이에 비해 호기조를 거친 방류수의 경우는 분해 속도가 현저히 증대되어 배양 10일째에 100% 폐

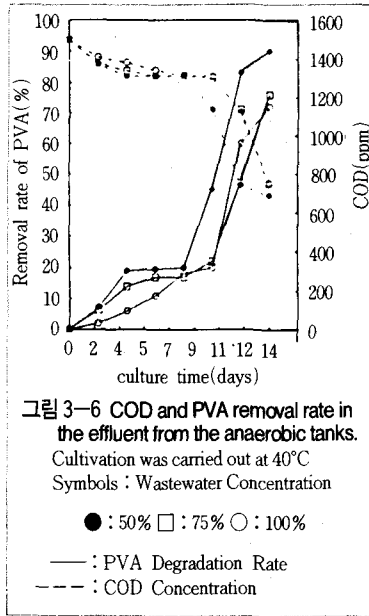


그림 3-6 COD and PVA removal rate in the effluent from the anaerobic tanks. Cultivation was carried out at 40°C
Symbols : Wastewater Concentration
● : 50% □ : 75% ○ : 100%
— : PVA Degradation Rate
- - - : COD Concentration

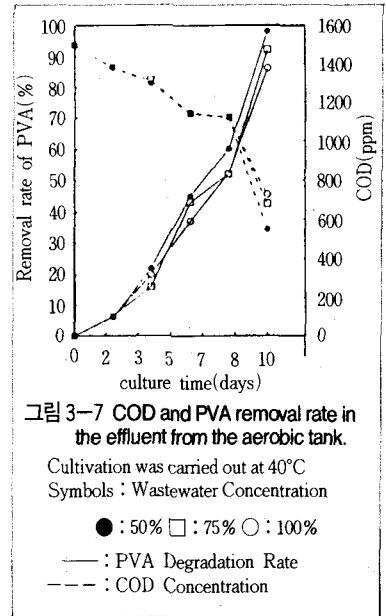


그림 3-7 COD and PVA removal rate in the effluent from the aerobic tank. Cultivation was carried out at 40°C
Symbols : Wastewater Concentration
● : 50% □ : 75% ○ : 100%
— : PVA Degradation Rate
- - - : COD Concentration

표 3-6 Color, COD and PVA removal by *Pasteurella hemolytica* KMG1-1 and *Pseudomonas* sp. KMG6-1 at various HRT

Reactor		HRT(hr)					
		20		20		20	
		blank inoculation*		blank inoculation*		blank inoculation*	
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.

수에서 약 90%의 분해율을 나타내었다(그림 3-7 참조).

이상의 예비 실험 결과를 근거로 하여 기존의 반응기 시스템에 호기조를 추가로 설치한 새로운 반응기 시스템을 고안하여 다음 실험을 행하였다.

5. 새 반응기 시스템에 의한 PVA 폐수 처리 효율

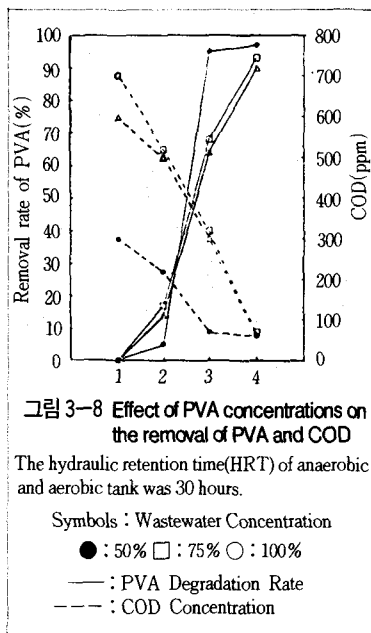
K 염색 공장 폐수에 PVA 5%와 ammonium sulfate 0.1% 농도로 첨가한 후 40°C에서 일정 기간을 유지하여 혐기조에서의 혐기성 미생물의 자기 고정화를 유도시켰다. 고정화가 완성된 후 호기조 2에서 50% 접종 크기로 PVA 분해 변이주 KMG1-1과 KMG6-1을 접종하고 20-60 사이의 각 수리 체류 시간을 조정하면서 폐수 중의 PVA 분해율, COD 감소율 내지는 색도의 변화 등을 측정해 보았다.

표 3-7에 요약되어 있는 바와 같이 체류 시간이 길수록 일반적으로 호기조 2에서의 균체 증식이 더욱 양호함과 동시에 PVA, COD 및 색도의 감소율도 높은 경향을 나타내었다. 실제로 60 체류 시간 일 때, PVA 분해율은 95%, COD는 700ppm에서 55ppm, 색도는 529에서 164로 감소되었다. 그러나 처리 효율면에서 볼 때는 30시간의 수리 체류 시간 조건이 가장 효율적이었다고 분석하였다.

다음은 수리학적 체류 시간을 30시간으로 고정한 조건에서 폐수 중의 PVA 농도를 300, 700 및 1400ppm으로 달리하여 본 PVA 분해 균주의 PVA 분해 능력을 검토하여 본 결과, 그림 3-8과 같이 PVA에 관계없이 호기조 2에서의 PVA 분해율이 94% 정도이었고,

표 3-7 Removal of color, COD, and PVA at various HRT.

Reactor		HRT(hr)			
		20	30	40	60
wastewater	COD(ppm)	700	700	700	700
	PVA degradation (%)	0	0	0	0
anaerobic tank	color index	529	529	529	529
	COD(ppm)	650	520	520	480
aerobic tank(1)	PVA degradation (%)	14	17	16	19
	color index	509	442	438	402
aerobic tank(2)	COD(ppm)	550	320	310	150
	PVA degradation (%)	42	68	70	87
aerobic tank(2)	color index	398	233	231	221
	COD(ppm)	450	70	65	55
aerobic tank(2)	PVA degradation (%)	68	94	94	95
	color index	388	222	22	164
aerobic tank(2)	cell number KMG1 (cells/ml)(18×10^6)	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



COD 제거효율은 약 80% 정도를 나타내어 PVA 감소율과 COD 제거율을 기준으로 한 처리 효율이

매우 양호한 것으로 판단되었다.

이상의 본 연구에서 개발한 PVA 분해 공생 균주는 실제 염색 가공 공단 폐수 처리에 적용 가능성이 있는 것으로 최종 결론을 내릴 수 있었다.

6. KMG1과 KMG6 두 PVA 분해 균주의 공생 기작

N.Kato 등은 공생 PVA 분해 미생물과 관련된 많은 연구를 통하여 *Pseudomonas putida* VM15A와 *Pseudomonas sp.* VM15C PVA 분해균의 PVA 분해 기작 내지는 두 균주 사이의 공생기작을 규명하여 다음과 같이 보고하고 있다.

두 공생 균주 중 실제 PVA 분해 균주는 VM15C 균주이며, 이 균주는 secondary alcohol oxidase를 다량 생산하여 vinyl alcohol polymer 인 PVA를 일차 산화하여 β -dik-

etone를 생성하고, 생성된 diketone이 이차적인 β -diketone hydrolase에 의해 ketone과 aldehyde를 분해하여 탄소원으로 이용하고 있다고 한다. 반면 VM15A균주는 PVA 최종 분해 산물을 탄소원으로 이용하면서 상기 PVA 분해 균주 생육에 필수적인 성장인자를 생산, 공급함으로써 상호 공생 관계를 유지하고 있으며, 상기 생육인자는 pyrroloquinoline quinone (PQQ)인 것으로 동정 확인한 것으로 보고하고 있다.

따라서 본 과제 연구자들이 분리한 두 공생 PVA 분해균인 KMG1과 KMG6 역시 같은 공생 관계에 있는 것으로 생각하여 실제 PVA 분해 균주인 KMG6 단독 배양 배지에 PQQ를 첨가하여 균주 성장 관계를 관찰해 보았던 바 PQQ 첨가량에 관계없이 PVA 분해균의 생육이 전혀 관찰되지 않았다. 그러나 0.4% PVA와 0.1% glucose가 포함된 배지 중에서 배양한 KMG1 균주의 세포 추출액을 첨가했을 때는 KMG6 분해 균주가 PVA를 분해 이용하면서 세포 증식을 보였다. 따라서 다음 단계의 실험으로 KMG1 세포 추출액 중의 생육인자의 기능을 가진 물질의 분리 동정을 다음의 두 서로 다른 가정 하에서 실험 계획을 하였다.

첫째, KMG1 생육인자가 PQQ는 아니더라도 PQQ와 유사한 저분자의 유기 화합물이라는 가정 혹은 생육인자가 아닌 PVA 분해와 관련한 어떤 단백질이 아닌가를 추측할 수 있었다. 일차로 KMG1 세포 추출액을 121°C에서 15분간 열처리해 보았다. 그 결과 열처리한 세포 추출액은 처리하지 않은 세포 추출액과 거의 같은 수

준의 KMG6 균주 생육 촉진 효과를 나타내었다. 그러나 예상 외로 KMG1 세포 추출액의 protease 처리 결과는 표 3-8과 같이 KMG1 세포 추출액 중의 KMG6 균주 생육 촉진 인자는 일종의 단백질임을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 단백질의 크기를 ion-exchange chromatography 및 gel-filtration 방법을 이용 측정해 본 결과 약 25,000 Da의 비교적 크기가 작은 단백질이었으나 구체적인 기능 규명을 위해서는 앞으로 더 많은 연구가 있어야겠다.

표 3-8 Effect of protease treatment of the KMG1 cell extract on its stimulating activity upon the KMG6 cell growth.

Treatment with protease(hrs)	Cell growth (O.D at 660nm)	PVA degradation (%)
0	2.012	90
3	0.483	15
5	0.532	14
10	0.520	14
20	0.512	13

Cultivation was carried out at 40°C for 8days with reciprocal shaking(200strokes / min) in PVA minimal media.

참고문헌

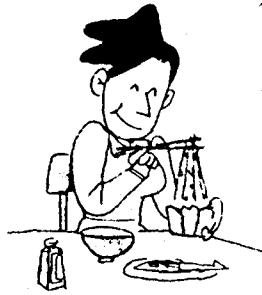
1. 서윤수, 류재근, 임연택 등, "폐수배출시설 표준원단위 조사연구(Ⅱ)", 국립환경연구원, 1988.
2. 환경처, '91 폐수배출시설 조사결과 보고서, p.138, 1992.
3. Alloy, M. and Mermet, R., "Biometanisation of tannery residues.", Anaerob. Dig. Results Res. Demonstr. Proj. 62-65, 1987.
4. Backus, B.D., Clanton, C.J. and Goodrich, P.R., "Carbon to Ni-

trogen ratio effect on the anaerobic digestion of cheese whey.", Pap. Am. Soc. Agric. Eng., [ASAE-86-3077], p.31, 1986.

5. Cocci, A.A., Landine, R.C., Brown, G.J., Tennier, A.M., and Hall, E.R., "Anaerobic treatment of kraft condensates", Tech. Assoc. Pulp Pap. Ind. Proc. Environ. Conf. 1985, 67-82, 1985.
6. Drivuori, J., "Forest industry anaerobic wastewater treatment and its future development", Water Sci. Technol., 17(1) 265-270, 1985.
7. Fedorak, P.M. and Hrudehy, S.E., "Anaerobic treatment of phenolic coal conversion wastewater in semicontinuous cultures", Water Res., 20(1) 113-122, 1986.
8. Geckert, K., "Entsorgung der Zuckerfabrik Raffinerie Artberg AG von Produktionstrückständen und organischbeiasieten Fabrikabwassern.", Tech. Mitt., 80(6) 375-380, 1987.
9. Lord, W.V. Jr., Walthers, J.G. and Smith, J.E.Jr., "A case history of the design, construction and startup of a system for biological treatment of wastewater from a new ethanol production plant.", Proc. Ind. Waste Conf. 41st, 29-35, 1987.
10. Shafai, S. and Oleszkiewicz, J.A., "Anaerobic pre-treatment of concentrated pharmaceutical wastes." Environ. Technol. Lett., 8(7)327-338,

- 1987.
11. Vincent, T., Paris, J.M., Lema, J.M., and Ibanez, E., "Thermophilic anaerobic treatment of an industrial wastewater. Startup and stability studies.", *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, 15 : 599-609, 1985.
 12. Yeoh, B.G., "A kinetic-based design for thermophilic anaerobic treatment of a high-strength agroindustrial wastewater.", *Environ. Technol. Lett.*, 7(10) : 509-518, 1986.
 13. P.A. Wilderer, M. A. Rubio, L. Davids, "Impact of the addition of pure cultures on the performances of mixed culture reactors.", *Wat. Res. Vol. 25, No. 11*, pp. 1307-1313, 1991.
 14. Gary L. Edwards, Joseph H. Sherrard, "Measurement and validity of oxygen uptake as an activated sludge process control parameter.", *Journal WPCF, Vol. 54, No. 12*, pp. 1546-1552, 1982.
 15. S. M. Rao Bhamidimarri, P. F. Greenfield, P. R. F. Bell, "Oxidation of refractory organics in attached growth systems : Initial bacterial adsorption.", *J. Ferment. Technol.*, Vol. 65, No. 4, pp. 449-456, 1987.
 16. T. Shimizu, K. Kudo, Y. Nasu, "Anaerobic waste-activated sludge digestion-A bioconversion mechanism and kinetic model.", *Biotechnol & Bioengineering*, Vol. 41, pp. 1081-1091, 1993.
 17. 신성희, 김재곤, 수처리공학, 환경관리인. 1996. 3 pp. 254-292, 동화기술, 1992.
 18. 장준영, 수질환경기사실기, 5-3~5-19, 성안당, 1993.
 19. Suzuki, T., Ichihara, Y., Dazai, M., Misono, T., "Treatment Conditions of Waste Water Containing Polyvinyl Alcohol Using Activated Sludge." *발공. 51(9)* : 692-698, 1973.
 20. Suzuki, T., Dazai, M., Fukunaga, K., "Microbial Degradation of Polyvinyl Alcohol(PVA) and Its Application to Treatment of PVA-containing Waste Water." *농화. 51(7)* : 53-58., 1977.
 21. 정선용, 조윤래, 조무환, 김정목, "폴리비닐 알콜 분해균주의 분리 및 특성." *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 20(1) : 96-101, 1992.
 22. Teranishi, Y., Tanaka, A., Osmim, Fukui, S. "Catalase Activities of Hydrocarbon-utilizing Candida Yeasts.", *Agr. Biol. Chem.* 38(6) : 1213-1220, 1974.
 23. 강선태, "염색공장폐수중 PVA 분해 세균의 분리 및 생물학적 처리효과." *한국 환경위생학회지.* 16(1) : 21-28, 1990.
 24. W.O.Herrmann and W.Haehnel, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* 60 : 1658, 1927.
 25. Suzuki, T., Ichihara, Y., Yamada, M. and Tomomura, K. "Some Characteristics of Pseudomonas O-3 which utilizes Polyvinyl Alcohol." *Agric. Biol. Chem.*, 37(4) : 747-756, 1973.
 26. Sakazawa, C., Shimao, M., Yamamoto, H., Niomiya, K., Kato, N., Adachi, O., Ameyama, M., "Pyrroloquinoline quinone as an Essential Growth Factor for a Polyvinyl alcohol-degrading Symbiont, Pseudomonas sp. VM15C.", *Agric. Biol. Chem.* 48(11) : 2873-2876, 1984.
 27. Sakazawa, C., Shimao, M., Taniguchi, Y., Kato, N. "Symbiotic Utilization of Polyvinyl Alcohol by Mixed Cultures.", *Appl. & Environ. Microbiol.*, Jan. 41(1) : 261-267, 1981.
 28. Masayuki, S., Nobuo, K. "공생 미생물의 작용.", *화학.* 40(11) : 723-728, 1985.
 29. Suzuki, T., "Oxidation of Secondary Alcohols by Polyvinyl Alcohol-degrading Enzyme Produced by Pseudomonas O-3.", *Agric. Biol. Chem.* 42(6) : 1187-1194, 1978.
 30. Watanabe, Y., Morita, M., Hamada, N., Tsujisaka, Y. "Formation of Hydrogen Peroxide by a Polyvinyl Alcohol Degrading Enzyme.", *Agric. Biol. Chem.* 39(12) : 2447-2448, 1975.
 31. Sakai, K., Hamada, N., Watanabe, Y., "Degradation Mechanism of Polyvinyl Alcohol by Successive Reactions of Secondary Alcohol Oxidase and β -Diketone Hydrolase from Pseudomonas sp.", *Agric. Biol. Chem.* 50(4) : 989-996, 1986.
 32. Kuwahara, M., Matsubara, T.

- “Aerobic Treatment of Wastewater Using High Concentrations of Activated Sludge.”, 향천대학농학부학술보고. 40(1) : 47-55, 1988.
33. H.Staudinger, K.Frey, and W.Stark., Ber. Dtsch. Chem. Ges. 60 : 1782, 1927.
34. Suzuki, T., “Purification and Some Properties of Polyvinyl Alcohol-degrading Enzyme Produced by Pseudomonas O-3.”, Agric. Biol. Chem. 40(3) : 497-504, 1976.
35. Watanabe, Y., Morita, M., Hamada, N., Tsujisaka, Y., “Purification and properties of a Polyvinyl Alcohol-degrading Enzyme Produced by a Strain of Pseudomonas.”, A. Biochem. Biophys. 174 : 575-581, 1976.
36. Watanabe, Y., Morita, M., “A Secondary Alcohol Oxidase : a Component of a Polyvinyl Alcohol degrading Enzyme Preparation.”, Agric. Biol. Chem. 41(8) : 1535-1537, 1977.
37. Shimao, M., Fujita, I., Kato, N., Sakazawa, C., “Enhancement of PQQ and PVA degradation in Mixed Continuous cultures of Pseudomonas putida VM15A and Pseudomonas sp. strain VM15C with Mixed Carbon Sources.”, Applied. Env. Microbiology. 49(6) : 1389-1391, 1985.
38. 이철우, “Polyvinyl alcohol 분해 균주 분리 및 고온성 변이주 선별에 관한 연구.”, 1994.



산채를 지나치게 먹으면 각기병의 위험이 있다

당 근에는 비타민 C를 분해하는 아스코르비나제라는 효소가 들어있는데, 고사리, 고비와 같은 산채에도 비타민 B₁을 분해해 버리는 효소가 들어 있다.

이 효소는 아노이리나제라고 하는데, 1942년에 대합, 가막조개 등의 패류에서 처음으로 발견된 것이다.

비타민 B₁은 배아, 신장, 효모, 두류, 돼지고기 등에 많이 들어 있으며, 이것이 부족하면 각기병에 걸린다는 것은 널리 알려져 있다. 성인 남자의 1일 필요량은 0.7~1mg이며, 결핍증 환자에게는 1일 3~5mg이 필요하다. 또한 비타민 B₁은 과일 섭취를 하더라도 몸 밖으로 배출되어 버리기 때문에 부작용은 거의 없는 것으로 알려져 있다.

최근에는 고사리, 고비 등이 자연식이나 저칼로리 식품으로서 젊은 사람들에게도 인기가 있는데, 위와 같은 폐해가 있음을 기억하기 바란다. 개중에는 비타민 B₁의 유도체인 아리나민을 복용하면서 한편으로는 산채가 입에 맞다고 매일 먹고 있는 사람이 있는데 이런 넌센스도 다시 없을 것이다.

과거에는 비타민 B₁의 결핍에 의한 각기병으로 연간 수만 명이 사망한 예도 있었다. 하지만 최근에는 비타민제나 풍요로운 식생활이 가능해지면서 각기병이 어느 정도까지 극복된 것으로 보인다. 하지만 최근 들어 다시 각기병 환자들이 늘어나기 시작했다고 하는데, 그 주요한 원인은 인스턴트 식품의 만연을 꼽을 수 있을 것이다.

〈참고 : 다가스 마쓰이 저「우리집 흠닥터」〉