

Phenol함유 폐수의 처리에서 분말 활성탄 첨가의 영향

강신태 · 김정목*

신일전문대학 환경관리과, 대경전문대학 환경계획과*

Effects of Fine Powder Active Carbon Addition on the Wastewater Treatment Containing Phenol

Sun-Tae Kang, Jeong-Mog Kim*

Dept. of Environmental Management, Shinil College, Daegu 706-022, Korea

*Dept. of Environmental Planning, Taekyeung College, Kyungsan, Kyungbuk 712-850, Korea

ABSTRACT

This study investigated performance of the phenol degradation and reaction characteristics according to variation of phenol volumetric loading rates and dilution rates in suspension and PACT reactors using *Pseudomonas* sp. B3.

1. Removal efficiencies of the PAC unit indicated about 100 % with phenol volumetric loading rates from 0.4 phenol kg/m³ · d to 1.2 phenol kg/m³ · d, however, which of the suspension reactor showed about 100 % with from 0.2 phenol kg/m³ · d to 0.75 phenol kg/m³ · day.

2. The cell density slightly was decreased from 298.2 mg/l to 272 mg/l, when dilution rate for suspension was reactor increased from 0.4 to 1.41 1/d, and also the cell density suddenly was decreased to 145.5 mg/l and was washed out at the dilution rate higher than 1.60 1/d. But the cell density for the PAC unit was linearly decreased with dilution rate of from 0.8 to 3.0 1/d, and showed 220.75 mg/l at maximum dilution rate.

3. The phenol utilization rate was increased from 0.008 to 0.031 phenol g/l · h, when dilution rate for suspension reactor was increased from 0.4 to 1.5 1/d, however, the rate for the PAC unit was linearly increased from 0.017 to 0.061 phenol g/l · h as variation changes from 0.017 to 0.061 phenol g/l · h dilution rate.

Keywords : suspension, PACT, *Pseudomonas* sp. B3, phenol volumetric loading rates, dilution rate.

I. 서 론

활성슬러지 공정의 폭기조에 분말활성탄인 PAC를 첨가하는 것이 일반적으로 PACT 공정으로 알려져 있다. PACT 공정은 미생물 막과 biofloc이 완전히 혼합된 시스템으로 성능은 전형적인 미생물막 공법에 의한 것이다.¹⁾ 이것은 활성탄의 체류시간이 시스템의 평균 미생물 체류시간과 동일하기 때문이다. 활성탄에 흡착된 유기물은 수리학적 체류시간보다 더 긴 시간동안 폭기조에서 머물고 미생물로 하여금 분해될 수 있는 충분한 시간을 제공한다.

PACT 공법의 장점은 여러 연구자에 의하여 발표되었다.^{2,6)} PACT 공법은 흡착이 가능한 독성물질과 난분해성 유기물의 처리에 유용하다.^{2,3,7)} PACT 공

법의 기질제거 mechanism^{7, 9,11)}은 물리적인 흡착, 생분해와 물리흡착의 혼합, 생활성과 재생의 순으로 일어나는 것으로 알려져 있다.

Phenol은 방향족 히드록시 화합물로 코올타르의 분유품과 합성품이 있으나 현재는 대부분 합성품으로 미생물에 대한 독성과 저해를 나타내고 있어서 phenol 함유폐수의 처리에 많은 어려움이 있다. 특히 phenol이 상수원에 미량이라도 유입되면 염소소독시 chlorophenol이 생성되어 심한 악취, 구토 및 독성을 유발한다고 보고되었다.¹²⁾

본 연구에서는 phenol을 분해하는 균주인 *Pseudomonas* sp. B3를 자연계에서 순수분리한 후 이 균주를 이용하여 CSTR 공정과 분말활성탄을 폭기조에 투입한 PACT 공법으로 phenol 함유폐수를

각각 처리하여 활성탄 첨가에 따른 반응특성을 조사하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 합성폐수

실험에 사용한 분말활성탄은 (주)덕산의 것으로 105°C의 dry oven에 12 h 이상 건조하여 실험에 사용하였다.

합성폐수의 조성은 Table 1과 같으며, 탄소원은 phenol만을 사용하였다. 질소와 인원은 phenol 분해균주의 최적영양원의 실험에서 가장 우수한 것으로 나타난 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 와 NaH_2PO_4 를 각각 사용하여 ThOD : N : P를 100 : 5 : 1로 조절하였다.

사용한 균주는 대구시내 공단 주변의 하수, 토양 및 하천에서 50 여점의 시료를 채취하여 phenol 분해균주를 분리하였으며, 균주의 형태학적, 생화학적, 영양학적 특성을 조사한 후 미생물의 분류 및 동정에 따라 분류학적 성질을 조사하여 Bergey's manual of systematic bacteriology¹³⁾와 Microbiology a laboratory of manual¹⁴⁾의 기준에 준하여 동정하였다.

2. 실험장치

연속 실험장치는 Fig. 1과 같으며, 폭기조 용적은 5.6 l로 가로 17 cm, 세로 16.5 cm, 높이 20 cm의 아크릴수지로 제작하였다.

반응기내의 농도와 유출수의 농도를 균일하게 유지하기 위하여 교반기를 설치하였으며, 교반속도는 180 rpm을 유지하였다. 항온조를 사용하여 반응기의 온도를 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 공기는 폭기조의 하부에서 산기관을 통하여 공급하여 DO농도를 2 mg/l 이상 유지되도록 하였으며, pH는 7.0 ± 0.2 로 유지하였다. 합성폐수는 peristaltic pump를 사용하여 폭기조의 상부에서 공급하였다.

3. 실험방법

1) 현탁 반응기의 phenol 분해특성 조사

반응기를 연속혼합반응기(CSTR)로 가정하고 phenol 분해균만을 반응기에 투입하여 현탁배양 하였으며, phenol의 용적부하율(phenol $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)이나 회석율의 변화에 따른 phenol 분해균과 처리수의 phenol 농도, COD 농도 및 균체농도를 조사하였다. 여기서 회석율은 평균 체류시간의 역수로 유량을 반

Table 1. Composition of the synthetic wastewater

Components	Concentration (g/l)
Phenol	0.50
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.30
NaH_2PO_4	0.05
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.05
KCl	0.05
pH	7.0

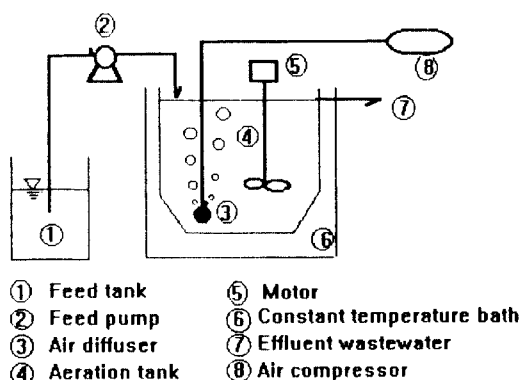


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

응기의 부피로 나눈 것으로 정의할 수 있다.

반응기내에 Table 1의 합성폐수를 주입하고 분리 동정된 *Pseudomonas*. sp. B3 배양액을 접종하여 반응기내의 phenol 농도가 0 mg/l로 될 때까지 희분배 양한 후 유입수의 phenol 농도를 500 mg/l로 일정하게 유지하고 체류시간을 60, 40, 20, 18, 17, 16 및 15 h로 각각 변화시켜 phenol 용적부하율을 조절하였으며, 회석율의 변화에 따른 미생물 농도와 기질 제거속도를 각각 조사하였다. Phenol 용적부하율은 0.2에서 0.8 phenol $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 까지, 회석율은 0.4 l/d에서 1.6 l/d까지 변화시켰다.

2) 고정화 반응기의 phenol 분해특성 조사

폭기조에 분말활성탄을 투입하여 연속혼합반응기(CSTR)로 가정하고 활성탄의 투입에 따른 고정화 반응기에서 분리한 균주의 phenol 분해특성을 조사하였다.

유입수의 phenol 농도는 500 mg/l, 체류시간은 30, 25, 20, 15, 10 및 8 h로 각각 변화시켜 phenol 용적부하율을 0.4에서 1.5 phenol $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 까지, 회석율은 0.8 l/d에서 3.0 l/d 까지 변화시켰다. 이때 PAC 투입량은 유입 phenol 농도의 10 %로 하여

슬러리 상태로 주입하였다.

3) 분석방법

Phenol 농도의 측정은 수질오염공정시험법¹⁵⁾에 따라 다음과 같이 분석하였다. Phenol 표준액을 농도별로 0.1 ml 취하여 염화암모늄-암모니아 완충액 3.0 ml를 넣어 pH 10.0±0.2로 조절한 후 2% 4-아미노안티피린 용액 2 ml를 넣었다. 이 용액을 흔들어 섞고 페리시안화 칼륨용액 2 ml를 넣어 섞은 다음 3 분간 방치하여 10 mm 흡수셀에 옮겨 510 nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다.

균의 생육도는 spectrophotometer(Spectronic 20)로 660 nm에서 흡광도로 나타내었다.

COD_{Cr}의 측정은 Standard method¹²⁾에 준하여 측정하였으며, PAC과 biomass의 양은 질산분해법¹⁶⁾을 이용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. Phenol 부하율의 변화에 따른 phenol 제거효율

Phenol 용적부하율의 변화에 따른 미생물의 현탁 배양 반응기와 PAC를 사용한 고정화 반응기의 유기물 제거와 효율을 Fig. 2, 3에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 현탁배양의 반응기에서는 phenol 용적부하율 0.2 phenol kg/m³·d에서 0.75 phenol kg/m³·d의 범위에서 거의 100%의 phenol 제거효율을 보였으나 PAC를 첨가한 고정화 반응기는 phenol 용적부하율이 현저히 높은 0.4 phenol kg/m³·d에서 1.20 phenol kg/m³·d의 범위까지 100%의 phenol 제거효율을 보였다. 또한 현탁배양 반응기에서는 최대 부하율 0.80 phenol kg/m³·d에서 처리수의 phenol 농도는 19 mg/l이며, 제거효율은 96.2%를 나타내었으나 PAC를 첨가한 고정화 반응기는 phenol 용적부하율 1.5 phenol kg/m³·d에서도 처리수의 phenol 농도는 11.75 mg/l로 97.65%의 제거효율을 나타내었다.

이와 같은 결과는 phenol이 활성탄에 흡착되며 흡착된 phenol은 시스템의 수리학적 체류시간보다 더 긴 시간동안 폭기조에서 머물고 미생물이 분해될 수 있는 충분한 시간을 제공하기 때문인 것으로 사료된다.

2. 희석율의 변화에 따른 반응 특성

Fig. 4는 희석율의 변화에 따른 미생물의 농도를 나타낸다.

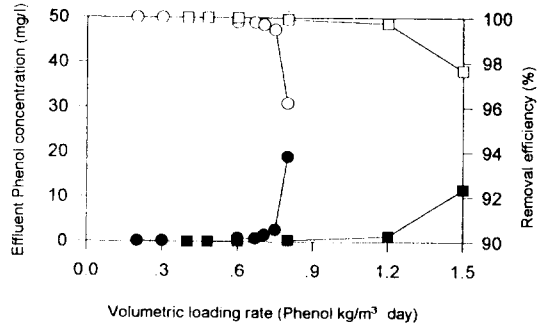


Fig. 2. Variations of phenol concentration and removal efficiencies with volumetric loading rate. (Effluent phenol concentration ; ●: suspension reactor, ■: immobilization reactor, Removal efficiencies ; ○: suspension reactor, □: immobilization reactor)

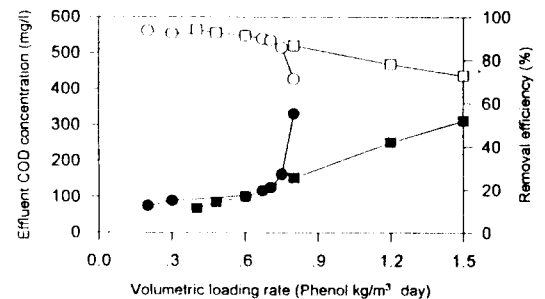


Fig. 3. Variations of COD concentration and removal efficiencies with volumetric loading rate. (Effluent COD concentration ; ●: suspension reactor, ■: immobilization reactor, Removal efficiencies ; ○: suspension reactor, □: immobilization reactor)

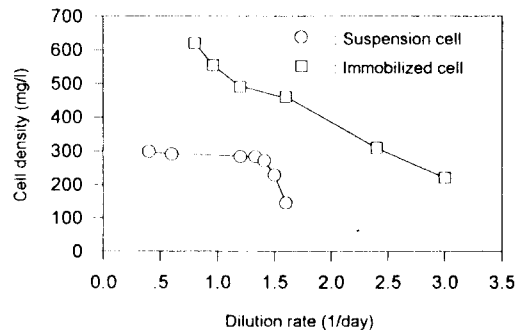


Fig. 4. Variations of cell density with dilution rate.

현탁배양 반응기의 경우 희석율이 0.40에서 1.41 1/d로 변화할 때 미생물 농도는 298.2 mg/l에서 272

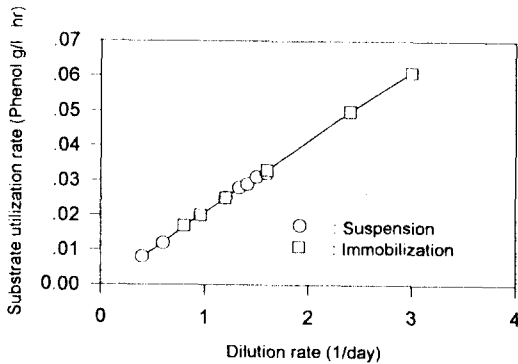


Fig. 5. Variations of phenol utilization rate with dilution rate.

mg/l로 완만하게 감소하였으나 회석율 1.41 1/d 이상에서는 미생물 농도가 급격히 감소하여 1.60 1/d 일 때 미생물 농도는 145.5 mg/l로 미생물의 유실현상이 나타났다. 그러나 PAC를 첨가한 반응기의 경우 회석율이 0.80에서 3.0 1/d로 변화할 때 미생물 농도는 거의 직선적으로 감소하고 최대 회석율에서 미생물 농도가 220.75 mg/l로 나타났다. 이와 같은 현상은 활성탄에 phenol이 흡착될 뿐만 아니라 미생물이 고정화되기 때문이다.

Fig. 5는 회석율의 변화에 따른 phenol 이용속도를 나타낸다.

현탁배양의 경우 회석율이 0.4에서 1.5 1/d로 증가하면 phenol 이용속도는 0.008 에서 0.031 phenol g/l · h로 증가하나 회석율이 1.6 1/d 으로 증가하면 phenol 이용속도는 0.032 phenol g/l · h로 감소한다. 그러나 PAC를 첨가한 반응기의 경우 회석율이 0.8에서 3.0 1/d로 증가함에 따라 기질 이용속도는 거의 선형적으로 0.017에서 0.061 phenol g/l · h로 증가하였다.

이와 같은 결과에서 PAC를 첨가한 고정화 반응기는 회석율이 증가하더라도 활성탄에 고정화된 미생물의 농도가 높게 유지되고 기질 이용속도가 회석율에 따라서 선형적으로 증가한다. 그러나 현탁배양 반응기는 회석율의 증가에 따라서 미생물의 농도가 감소하고 기질 이용속도가 증가하다가 1.5 1/d 이상에서는 wash out현상이 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 6은 회석율의 변화에 따른 COD의 이용속도를 나타낸다. Phenol 이용속도와 비슷한 경향을 보이고 phenol 이용속도의 약 2배 정도이며 이는

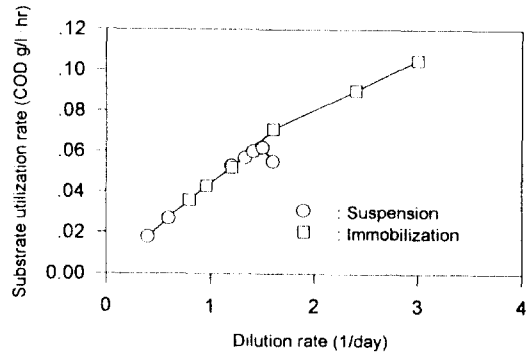


Fig. 6. Variations of COD utilization rate with dilution rate.

COD 농도에 기인한 것으로 사료된다.

PAC를 첨가한 현탁배양기의 경우 회석율 1.6 1/d 이상에서는 완만하게 증가하였다.

IV. 결 론

Pseudomonas sp. B3 균주를 사용하여 현탁배양과 PAC를 사용한 반응기에서 부하율 및 회석율의 변화에 따른 phenol 분해성능 및 반응특성을 비교 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현탁배양 반응기에서는 phenol 용적부하율 0.2 phenol kg/m³ · d에서 0.75 phenol kg/m³ · d의 범위까지, PAC를 첨가한 고정화 반응기는 phenol 용적부하율 0.4 phenol kg/m³ · d에서 1.20 phenol kg/m³ · d의 범위까지 거의 100%의 phenol 제거효율을 보였다.

2. 현탁배양 반응기의 경우 회석율이 0.40에서 1.41 1/d로 변화할 때 미생물 농도는 298.2 mg/l에서 272 mg/l로 완만하게 감소하였으나 회석율이 1.60 1/d일 때 미생물 농도는 145.5 mg/l로 감소하여 미생물의 유실현상이 나타났다. 그러나 PAC를 첨가한 고정화 반응기의 경우 회석율이 0.80에서 3.0 1/d로 변화할 때 미생물 농도는 거의 직선적으로 감소하고 최대 회석율에서 미생물 농도가 220.75 mg/l로 나타났다.

3. 현탁배양의 경우 회석율이 0.4에서 1.5 1/d로 증가하면 phenol 이용속도는 0.008 에서 0.031 phenol g/l · h로 증가하나 회석율이 1.6 1/d으로 증가하면 phenol 이용속도는 0.032 phenol g/l · h로 감소한다. 그러나 PAC를 첨가한 고정화 반응기의

경우 회석율이 0.8에서 3.0 1/d로 증가함에 따라 기질 이용속도는 0.017에서 0.061 phenol g/l · h로 거의 선형적으로 증가하였다.

참고문헌

- 1) C. Hart Kwelle : Effects Fine Powder Addition on the Sludge Unit of a Chemical Wastewater, *Environmental Progress*, 11(4), 324, 1992.
- 2) Flynn, B. P. : A Model for the Powered Carbon Activated Sludge Treatment System, In *Proceeding 20th Purdue Industrial Waste Conference*, Purdue Univ., West Lafayette, Indiana, 233, 1975.
- 3) Chao, Y. M., T. F. Yeh, and W. K. Shieh : PAC Activated Sludge Treatment of a Steel Mill Coke Plant wastewater, *J. WPCF*, 58, 333, 1986.
- 4) Dewalle, F. B., E. S. Chain, and E. M. Small : Organic Matter Removal by Powered Activated Carbon Added to Activated Sludge, *J. WPCF*, 49, 593, 1977.
- 5) Ferguson, J. F., G. F. P. Keay, M. S. Merrill, and A. H. Benedict : Powered Activated Carbon in Contact stabilization Activated Sludge, *J. WPCF*, 51, 2314, 1979.
- 6) Specchia, V., and Gianetto, A. : Powered Activated Carbon in Activated Sludge Treatment Plant, *Water Res.*, 18, 133, 1984.
- 7) Garcia-Orozco, J. H., H. R. Fuentes, and W. W. Eckenfelder, Jr. : Modeling and Performance of the Activated Sludge-Powdered Activated Carbon Process in the Presence of 4, 6 dinitro-*o*-cresol, *J. WPCF*, 58, 320, 1986.
- 8) Dietrich, et al. : Removal of Pollutants from Dilute Wastewater by the PACT Treatment Process, *Environmental Progress*, 7(2), 143, 1988.
- 9) Kalinske, A. A. : Enhancement of Biological Oxidation of Organic Wastes Using Activated Carbon Microbial Suspensions, *Water and Sewage Works*, 119(6), 62, 1972.
- 10) Scaramelli, A. B. and F. A. DiGiano : Upgrading the Activated Sludge System by Addition of Powered Carbon, *Waste and Sewage Works*, 120(9), 90, 1973.
- 11) Andrews, G. F. and R. Trapasso : A Novel Adsorbing Bioreactor for Wastewater Treatment, *Environmental Progress*, 3(1), 57, 1984.
- 12) AWWA : Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 15th ed, 5-9, 1971.
- 13) Krieg, N. R. and J. G. Holt : *Bergey's Manuals of systematics Bacteriology*, The Williams and Wilkins Co., Baltimore, U.S.A., 1984.
- 14) Cappuccino, J. G. and N. Sherman : *Microbiology a Laboratory Manual*, 2nd ed, The Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc., Menlo Park, 1986.
- 15) 동화기술 편집위원회 : 수질오염공정시험법, 동화기술, 1992.
- 16) Schultz, J. R. : *Journal of Environmental Engineering ASCE*, 113, 2(395), 1987.