

반응성 담체를 이용한 수처리 공정에서의 Biofilm 두께 측정에 관한 연구

이재성 · 박두현* · 이수원

한국과학기술연구원 환경·공정 연구부, *서경대학교 생물공학과

A study on the measurement of biofilm thickness in the wastewater treatment process by the electric media

J. S. Rhee, D. H. Park* and S. W. Lee

Environment & Process Technology Division, Korea Institute of Science and Technology, P.O. Box 131, Cheonryangri,
Seoul 130-650, Korea

*Seokyeong University, Jeonglungdong, Seongbukgu,
Seoul 136-704, Korea

The more simple and precise method were developed based on the several references which are relative to the biofilm measurement and applied for measuring a biofilm thickness built on media operating in the wastewater treatment reactor, and proved to be higher accuracy, quickness and easiness than other methods. The media were electrified with low voltage of electricity for increasing microorganism activity and for controlling the biofilm thickness on media. As shown in the results, the biofilm thickness on the electrified media was almost constant and thinner than that on the normal media regardless of the quality of media surface. The biofilm thickness on normal media, however, was confirmed to be higher than that on the electrified media and was highly influenced by surface quality. By which, the electrified media was proved to be very efficient for controlling biofilm thickness and activity.

key words:electric media, biofilm, active thickness, wastewater treatment process

1. 서 론

“생물막법”이란 여재의 표면에 형성된 생물막과 폐수를 접촉시켜서 폐수중의 오염 물질을 제거하는 공정에서 사용되는 방법이다.¹⁾ 하천바닥에 존재하는 자갈, 돌 등의 표면에 원생생물, 조류, 유훈류 등의 미세생물 및 미생물로 구성되어 있는 생물막 층이 존재하면 하천의 자정 능력은 증가하게 되는데, 이 원리를 응용하여 생물막에 의한 정화능력을 인위적으로 고효율화한 것이 생물막법의 시초이다. 이 때 생물막이란 매질의 표면에 형성된 미생물의 구성 물질과 그 함유물을 말한다.²⁾ 생물막법은 수세기에 걸쳐 수처리에 유용하게 이용되어 왔으나 본격적으로 연구되기 시작한 것은 1980년대 초이며, 이 때부터 하수 및 수처리 분야 뿐 아니라 생물공학과 관계되는 다른 분야에 적용되기 시작하였다.³⁾

매질표면에 부착된 미생물은 호기성 조건에서 유기물, 질소, 인 등을 섭취하면서 성장·증식하여 되어 생물막을 형성한다. 형성된 생물막은 활발한 대사작용을 통해 수중에 존재하는 유기성 오염물질을 분해한다. 생물막이 성장을 계속하여 막이 두꺼워지면 산소가 생물막의 심층까지 도달하지 못하여 생물막 내에 혐기성 층이 형성된다. 즉 미생물의 활성도는 생물막 두께에 비례하나 어느 정도의 두께에 도달하면 오히려 효율이 떨어지게 되는데 이러한 두께를 “active thickness”라고 한다^{4,5)}. 그러므로 안정되고 활동성이 높은 적절한 두께의 생물막을 유지하는 것은 수처리에 있어 매우 중요한 과제이다. 이러한 목적에 무엇보다 중요한 것은 간단하면서도 빠르고 또한 정확도가 높은 생물막 두께 측정법을 개발하는 것이다. 현재 사용되고 있는 방법으로 직접적인 측정으로는 광학 현미경 관찰방법^{6,7)}과 전자 현미경으로 관

찰하는 방법⁸⁾이 연구되고 있다. 간접적으로 생물막의 두께를 측정하는 방법으로 열역학적인 저항을 이용하는 방법⁹⁾과 전기전도도를 이용하는 방법¹⁰⁾, 마찰력을 이용하는 방법⁷⁾, 이미지를 분석하는 방법¹¹⁾ 등이 있고, 미생물의 무게 및 밀도 측정을 이용하는 방법¹²⁻¹⁴⁾이 있다.

본 연구에서는 담체에 약 전류를 흘려주어 생물막 두께가 “active thickness”를 유지하도록 한 반응조와 전류를 흘려주지 않은 반응조의 생물막 두께를 측정하고 그 효율을 비교하였다. 이를 위하여 비싼 장비의 구입 없이도 간단하면서도 정확도가 높은 생물막 측정기법을 문헌을 응용하여 개발하여 반응성 담체의 효율을 검증하였다.

2. 실험방법 및 재료

2.1. 반응조

본 연구를 위하여 평판 담체를 반응조 내에 침지한

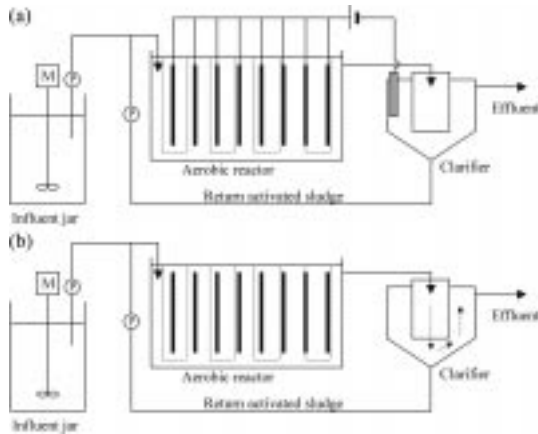


Fig. 1. The schematic diagram of two-type wastewater treatment processes. (a) is composed of the electrified media and (b) is composed of the only normal media.

Table 1. The operation conditions of wastewater treatment process

Item	Value
The flow rate of influent	200 mg/Lmin
The flow rate of return activated sludge	30 mg/Lmin
Hydraulic retention time	10 hours
Electric energy (only electric media)	About 1 watt
BOD ₅ of influent	20050 mg/L
Removal efficiency of BOD	More than 95%
Minerals	Enough
pH	near 7
DO	More than 7mg/L

부착식 반응조를 사용하였다. Fig. 1에 제시된 바와 같이 반응조는 효율적인 유기물 제거를 위하여 유입조과 폭기조 및 침전조로 이루어져 있으며 침전조의 슬러지가 폭기조로 다시 일부 반송되고 있다. 폭기조 안에는 폐각과 흑연 등을 이용하여 자체 제작된 특수 평판 담체를 8개 넣어 미생물의 효율적인 부착을 유도하였다. 담체는 부착 조건을 달리하기 위하여 뒷면에는 제작시 폴리머 가루를 뿌려 다소 거친 면을 유도하였다. 반응 조건은 Table 1에 제시된 바와 같다.

2.2. 미생물의 두께 측정

여재에 붙어있는 부착 미생물량은 반응기를 운전하는 동안에 채취가 불가능하기 때문에 운전을 종료한 후 담체를 반응기에서 분리하여 이것을 일정량의 증류수가 담긴 초음파 파쇄기에 담아 300 W, 400 μA로 10분간 작동하여 초음파의 진동으로 매질에 붙어있는 생물막을 모두 탈리하였다. 탈리된 생물막을 200 μm sieve를 이용하여 물을 여과한 후 함수중량을 측정하고, 이것을 105°C 오븐에서 3~4 시간 건조시킨 후 건조중량을 측정하여 생물막의 함수율을 측정하였다. 다음으로 담체의 일정한 표면적에서 생물막을 위와 같은 방법으로 탈리시킨 후 GF/C filter를 이용하여 여과하고 2시간동안 건조하여 미생물의 건조 무게를 잰 후 함수율을 이용하여 생물막의 두께를 식 (1)과 (2)를 이용하여 계산하였다. 생물막의 함수중량을 바로 측정하지 않은 이유는 일정한 표면적에서 탈리되는 미생물의 양이 매우 적어 바로 함수중량을 측정하기가 매우 어렵기 때문이다.

$$\text{생물막 두께}(\mu\text{m}) = \frac{1}{\rho_w} \times \frac{\text{부착 미생물의 젖은 무게}(g)}{\text{여재의 표면적}(cm^2)} \times 10^4 \quad (1)$$

$$\text{부착 미생물의 젖은 무게}(g) = \text{부착 미생물의 마른 무게}(g) \times \frac{100}{100-w} \quad (2)$$

여기서, ρ_w = 젖은 생물막의 비중 (통상 1.02 g/cm³로 가정)

$$w = \text{함수율}(\%) = \frac{\text{부착 미생물의 젖은 무게}(g) - \text{부착 미생물의 마른 무게}(g)}{\text{부착 미생물의 젖은 무게}(g)} \times 100$$

2.3. 현미경 관찰

현미경 관찰을 위하여 그람 염색법을 이용한다. 그람

염색법은 그람 양성균과 그람 음성균의 여부를 판단하기 위한 염색법으로 덴마크의 Christian Gram에 의해 개발된 방법이다. 그람 양성균은 보라색에 가까운 파란색으로, 그람 음성균은 빨간색으로 염색되고 폐수 처리에서 발견되는 미생물은 약 70% 이상을 그람 음성균이 점유하고 있는 것으로 알려져 있다. 염색법은 Standard Methods¹⁵⁾를 따라 실험하였고 현미경 관찰은 Olym-pus BX-41을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 생물막 함수율 측정

생물막의 두께 측정을 위한 전과정으로 수분 함유에 대하여 알아보기 위하여 함수율을 측정하였다. 함수율 측정을 위하여 담체의 임의의 지점에서 생물막을 채취하여 실험하였다. Fig. 2에서 제시된 바와 같이 모든 측정값이 95% 정도에서 표준 오차 0.32로 수렴되는 것을 알 수 있다. 이로써 앞서 수식에서 제시된 바와 같이 젖은 생물막의 밀도를 1.02 g/cm³로 추정하는 것은 타당성 있는 가정임을 검증할 수 있다. 실제로 젖은 생물막의 부피와 무게를 동시에 측정해 본 결과 본 가정과 비교적 일치하는 것을 알 수 있었다.

3.2. 생물막 두께 측정

생물막의 두께를 측정하기 위하여 앞서 제시한 측정법을 이용하여 실험하였다. Fig. 3에서 제시된 바와 같이 반응성 담체의 경우 생물막의 두께는 약 100 μm정도이며, 폴리머를 뿌려 거친 면을 만들어 준 담체의 뒷면에서 생물막의 두께가 다소 두꺼운 것을 알 수 있다. Fig. 4에서는 담체에 전기에너지를 주지 않은 경우로 이때는 앞면의 경우 생물막의 두께가 약 200 μm이며 뒷면의 경우는 407 μm의 값을 나타내었다. 담체에 낮은 전기 에너지를 공급해 줄 경우 미생물의 활동성

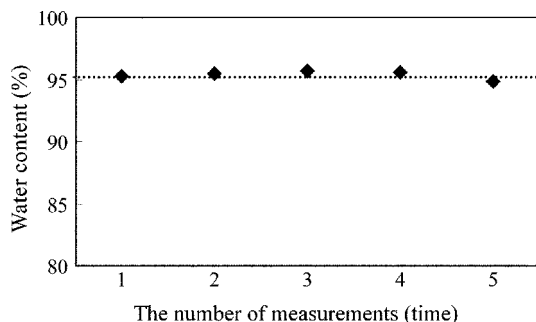


Fig. 2. The water content profile of biofilm.

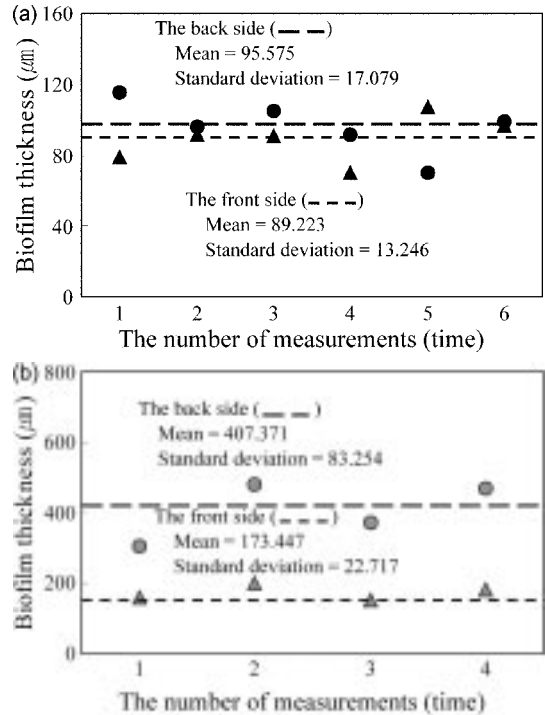


Fig. 3. (a) Biofilm thickness profile from the electrified media. is the front side measurement of biofilm thickness, and is the back side measurement of biofilm thickness. And each mean and standard deviation is shown. (b) Biofilm thickness profile from the only normal media. is the front side measurement of biofilm thickness, and is the back side measurement of biofilm thickness. And each mean and standard deviation is shown.

이 증가될 뿐 아니라 생물막 두께가 적절하게 유지된다. 때문에 반응성 담체의 경우 앞면과 뒷면의 생물막 두께의 차이가 거의 없으며, 비교적 얇은 두께를 유지하는 결과를 보였다. 그러나 일반 담체의 경우 앞면과 뒷면에서 생물막의 두께가 매우 차이가 나며, 그 값도 반응성 담체에 비해 약 2배 이상임을 알 수 있다. 그러나 유기물 제거면에서 볼 때 오히려 반응성 담체가 효율이 좋은 결과를 보였으므로, 가해진 전기 에너지가 미생물의 활동에 매우 긍정적인 작용을 하여 얇은 생물막에서도 높은 효율을 얻을 수 있는 반응성 담체가 만들어진 것을 확인할 수 있었다. 장²⁾은 실험을 통하여 활발한 산소 전달이 이루어지는 생물막의 두께는 200 μm로 제시하였으나, 이 때에는 본 실험과 달리 생물막의 젖은 무게를 질 때 sieve를 이용하지 않았으므로 본 연구에 비하여 매우 큰 값으로 측정되었다. 이를 고려한다면 본 연구의 반응성 담체는 산소 투과율이 높

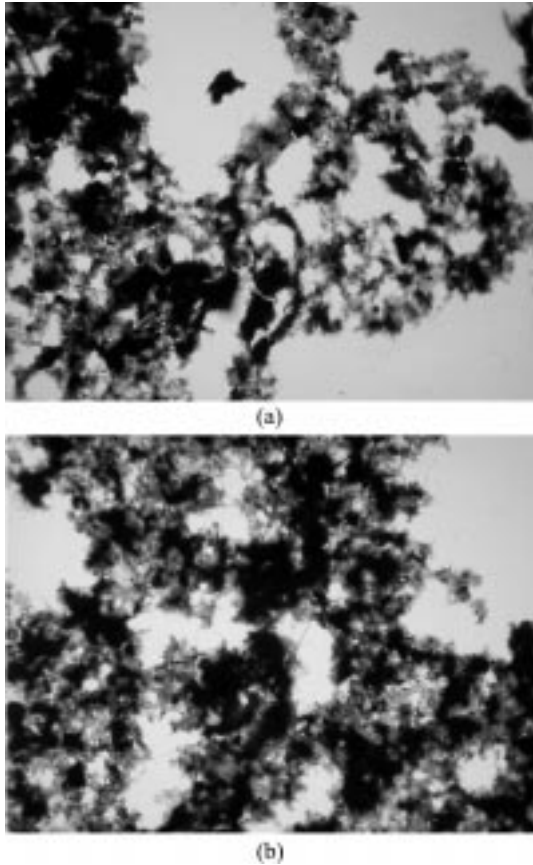


Fig. 4. The biofilm pictures by light microscopy. (a) is the microorganism from the electrified media and (b) is the one from the only normal media.

은 적절한 두께를 유지하는 것을 문헌을 통하여 검증할 수 있었다.

3.3. 현미경 관찰

본 실험에서는 반응성 담체와 일반 담체에서 일부 미생물을 떼어 내어 현미경 관찰을 하였다. 현미경 관찰을 용이하게 하기 위하여 그람 염색법을 이용하였다. Fig. 4에 제시된 바와 같이 두 경우 모두 미생물은 비교적 양호한 상태임을 알 수 있으며 빨간색으로 염색된 부분이 훨씬 많은 것으로 보아 그람 음성균이 대부분을 차지하는 것을 알 수 있었다. 일부 사상균이 발견되기도 하나 그 양은 매우 작으므로 실제 유기물 처리에 있어서는 큰 문제가 되지 않았다.

4. 결 론

담체에 낮은 전기에너지를 공급하여 미생물의 활성성을 높여줄 경우 유기물 제거 효율을 알아보기 위하여 생물막의 측정 기법을 정립하고 실제 적용하여 보았다. 생물막의 측정법은 문헌에 기초하여 응용되었으며, 쉽고 빠르고 경제성이 높은 뿐 아니라 정확성이 매우 높음을 확인할 수 있었다. 실제 부착식 반응조에 적용해 본 결과 반응성 담체는 표면재질에 관계없이 거의 일정하면서 얇은 생물막을 유지하는 반면, 일반 담체는 생물막의 두께가 표면 재질에 매우 영향을 받으며 그 값도 비교적 높은 것을 알 수 있었다. 이로써 반응성 담체의 유기물 제거에 있어서의 효율성이 입증되었다.

참고문헌

1. 麻生昌則 外 8人, “生物膜法”, 1982, pp 102-108, 思考社, 大韓民國.
2. 장원중, “제올라이트 매질을 이용한 BAF 공법에 의한 염색폐수 처리에 관한 연구”, 1999, 인하대학교 공학박사 학위 논문.
3. Lazarova, V. and Manem, J., “Wat. Res.”, 1995, 29(10), 2227-2245.
4. Lamotta, E. J., “Appl. envir. Microbiol.”, 1976, 31, 286-293.
5. Silyn-Roberts, G. and Lewis, G., “Wat. Sci. Tech.”, 1997, 36(10), 117-124.
6. Bakke, R. and Olsson, P. Q., “J. Microbiol. Meth”, 1986, 5, 93-98.
7. Trulear, M. G., and Charaklis, W. G., Proc. 34th Industrial Waste Conf., 1979, 838-853.
8. Kristensen, G. H. and Christensen, F. R., “Wat. Res.”, 1982, 16, 1619-1621.
9. Viera, M. J., Melo, L. and Pinheiro, M. M., “Biofouling”, 1993, 7, 67-80.
10. Hoehn, R. C., Ray, A. D., 1973, 45, 2301-2320.
11. Senthilnathan, Pr., Li, D. H. and Ganczarczyk, J. J., Proc. 44th Industrial Waste Conf., 1989, 175-181.
12. Nakamura, K., Noike, T. and Matsumoto, J., “Wat. Res.”, 1986, 20, 73-78.
13. Escher, A. R. and Characklis, W. G., “Wat. Sci. Technol.”, 1988, 20(11/12), 277-283.
14. Rittmann, B. E., Crawford, L. A., Tuck, C. K. and Namkung, E., “Biotechnol. Bioeng”, 1986, 28, 1753-1760.
15. Clesceri, S. C., Greenberg, A. E. and Eaton, A. D., 1998, “Standard Methods for the Examination and wastewater” 20th Edition, APHA, U.S.A.