

표면개질 담체를 이용한 충전탑 반응기에서 유기물 제거 및 미생물 부착 특성

선용호*

Characteristics of Organic Compounds Removal and Microbe Attachment in Packed Bed Column Reactor Using Surface-modified Media

Yong-Ho Seon*

접수: 2012년 6월 5일 / 게재승인: 2012년 6월 25일
© 2012 The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering

Abstract: This study was accomplished using packed bed column reactors that contain nonsurface-modified polypropylene media and surface-modified media from hydrophobic surface property into hydrophilic property by ion beam irradiation. The objectives of this research was investigated the characteristics of organic compounds removal and microbe attachment from sewage of school cafeteria in these reactors. In 736.8 mg/L of the average inflow COD_{Cr} concentration the reactors with and without surface modification showed 81.8% and 70.3% of average COD_{Cr} removal efficiencies, respectively, which proves the COD_{Cr} removal efficiency of surface-modified media reactor is higher than that of nonsurface-modified media reactor. After 90 days, there were maximum differences between modified system and non-modified system. In that time the maximum removal efficiency of COD_{Cr} was 96.5% in modified system and was 85.2% in non-modified system that showed removal efficiency of surface-modified media system is 11.3% higher than that of nonsurface-modified media system. The average removal efficiency of SS was 80.4% for the surface modified system and 61.6% for the non-modified system under same condition. Also, the reactor of surface-modified media has advantage on microbe attachment and biofilm formation.

Keywords: Surface-modified media, Organic compounds removal, Microbe attachment, Packed bed column reactor, Removal efficiency

1. 서론

인구증가 및 국민생활 수준의 향상과 더불어 하수 발생량도 매년 증가하고 있으며, 2010년말 현재 전국의 생활하수 발생량은 약 16,111천 m³/day로 이를 처리하는 처리시설로는 대표적으로 하수종말처리시설과 개인하수처리시설로 나눌 수 있으며 농어촌지역 등 건축물이 산재되어 있는 지역은 하수관거의 설치가 어려워 생활하수 등의 처리를 하수종말처리시설에만 전적으로 의존할 수 없는 실정이다. 따라서 하수종말처리시설이 설치되어 있지 않은 지역에 축조되는 건물에 대해서는 건축연면적 규모에 따라 개인하수처리시설의 설치를 의무화하여 오염원을 발생원에서 개별 처리하도록 하고 있으며 2010년에 설치되어 있는 개인하수처리시설은 약 40만개소 이상으로 계속 증가 추세에 있다 [1].

하수처리 효율을 높이기 위해 미생물 담체를 이용한 공정이 사용되고 있으며 특히 개인하수처리시설은 부하 변동이 심하여 처리효율이 매우 낮은 상태에 있으므로 담체를 충전하는 것이 매우 효과적이며 재질과 형태면에서 많은 종류가 개발 이용되고 있으나 주로 활성탄, 활성탄소섬유, 다공성 플라스틱류, 고분자수지 섬유사, 다공성 세라믹, 유리, 스폰지 등이 사용되고 있다 [2]. 유기물의 생물학적 처리 과정에서 현탁미생물을 사용할 경우, 운전시 슬러지 팽화 현상이 자주 발생하며, 부하변동이 큰 경우에 대처하기 어렵고,

상지대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Sangji University,
Wonju, Kangwon-Do 220-702, Korea
Tel: +82-730-0445, Fax: +82-730-0403
e-mail: yhseon@sangji.ac.kr

잉여슬러지가 다량 발생하는 등 여러 가지 문제점을 안고 있다 [3]. 이를 해결하는 담체를 이용하는 생물막 공정은 폭기조 내의 부유 미생물만을 이용하여 오염물을 처리하는 대신, 담체에 부착된 고농도의 미생물을 이용하여 처리하는 것으로 처리효율이 높아 반응기의 부피를 크게 줄일 뿐만 아니라 슬러지 팽화현상을 사전에 방지할 수 있는 고효율 생물학적 처리공정이다. 그러나 유기물을 처리하기 위한 생물막 공정의 처리효율은 폭기조 내에 투입된 담체의 효율에 의하여 크게 좌우되며 미생물의 과도한 성장에 의한 여재의 막힘 현상, 미생물의 탈리 현상에 의한 처리효율 저하 등이 생물막 공법의 문제점으로 지적되고 있다.

담체는 대부분 소수성 매질로 구성되어 있으며 미생물학적인 관점에서는 담체 표면의 단면적을 크게 하여 접촉비율을 크게 하는 것도 중요하지만 담체와 미생물간의 친화성이 가장 큰 문제이다. 이로 인해 생물막을 형성하는 기간이 필요하며 시운전 기간이 길어지는 단점이 있다. 따라서 미생물이 고분자의 표면에 부착하여 오염물을 분해시켜야 하지만, 대부분의 고분자와 미생물간의 친화성이 없으므로, 이들 친화성을 높이기 위한 접근이 필요하다 [4].

양 등은 담체 표면전하를 증가시켜 정전기적 반발력을 감소시킴으로써 미생물 부착의 친화성을 증가시킬 수 있는 방법으로 화학적 표면 전처리법인 양이온 처리법을 도입하여 소수성이 강한 PVC 플라스틱 표면에 친수성을 부여한 후 미생물 부착 효율을 비교하였는데 생물막 형성기간을 기존공정보다 2~3배 단축시킬 수 있음을 확인하였으며 송 등은 소수성인 폴리설폰막 표면에 친수성 모노머인 2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA)를 코팅하여 막 표면을 친수성으로 개질하여 막의 효율을 증진시켰다 [5,6]. 그러나 이러한 화학적인 방법은 복잡한 절차에 의해 수행되며 화학약품을 사용한 관점에서 비경제적이다. 이를 개선한 방법으로 본 연구진은 산소분위기에서 1 keV의 에너지를 갖는 아르곤 이온빔을 폴리프로필렌 담체에 조사하여 소수성인 담체 표면을 친수성으로 개질한 후 실제 하수가 아닌 합성폐수로 실험하여 COD 제거율을 약 30% 증가시킨 바 있으며 [7], 또한 적절한 부착 미생물량을 유지하면서 운전하는 것이 담체를 실제 공정에 적용하는데 있어 가장 중요한 인자로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 담체와 미생물간의 친화성을 높이는 방법으로 이온빔을 조사하여 소수성이 강한 폴리프로필렌 재질의 판에 친수성을 부여한 생물막 법으로, 이를 하수 처리에 적용함으로써 컬럼 높이에 따른 미생물 부착 특성과 유기물 제거 특성을 살펴보았다.

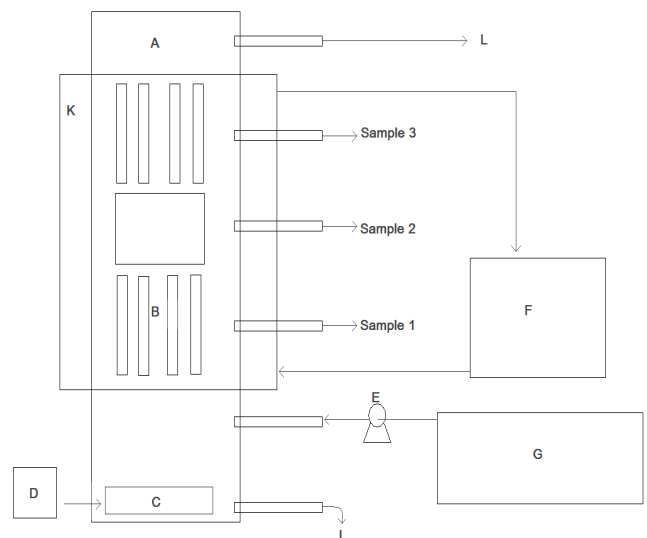
2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료 및 장치

본 실험에 사용된 실험실규모 생물막형 충전탑 반응기의 개략도는 상향류식 방식으로 Fig. 1과 같다. 반응조는 아크릴로 개질 담체와 비개질 담체를 각각 충전하기 위해 2기를 제작하였으며 유입부, 담체 충전부, 유출부로 구성되어 있고

담체 충전부는 13.5×13.5×30 cm 크기의 투명 아크릴 모듈 (module) 3개이며, 유입부와 유출부는 각각 13.5×13.5×25 cm 크기의 투명 아크릴 모듈 1개로 구성하였다. 반응기는 각 모듈을 직렬로 연결하여 컬럼형으로 설치하였으며, 총 반응기의 높이는 140 cm이며, 유효 높이는 129 cm로, 유효 용량이 23.5 L가 되도록 하였다. 담체가 충전된 3개의 모듈에만 water jacket을 설치하여 반응기 내부의 온도를 20±1°C로 유지하였다.

담체 충전부에는 시료 채취를 위한 port가 설치되어 있으며, 유입부 하단에는 diffuser를 설치하여 공기가 담체 충전부에 효율적으로 분산되도록 하였다. 유입수는 일정하게 공급될 수 있도록 정량펌프 (Watson marlow 505S)를 사용하였다. 포기는 다공성 산기관을 사용하였으며, 충전 담체는 표면개질 담체와 비개질 담체로, 표면개질 담체로는 소수성인 강한 폴리프로필렌 재질의 mat형 담체 표면에 선 등 [7]이 제시한 방법에 의해 산소 분위기에서 1 keV의 에너지를 갖는 아르곤 이온빔을 조사하여 담체 표면을 친수성으로 개질한 담체를 사용하였으며 비개질 담체로는 표면을 개질하지 않은 소수성 담체를 그대로 사용하였다. 충전 담체의 크기는 14×29 cm이며, 반응기당 총 20장씩 충전하였다.



A: Reactor, B: Media, C: Diffuser, D: Air pump, E: Feeding pump, F: Water bath, G: Feeding tank, I: Sludge outlet tap, K: Water jacket, L: Effluent.

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

2.2. 실험방법

본 실험에 사용된 원수는 원주에 있는 S대학교 학생식당에서 발생하는 오수를 사용하였고, 성상은 Table 1과 같다. 미생물 식중은 W하수종말처리장의 침전슬러지를 사용하였으며, 개질 담체와 비개질 담체가 각각 충전된 충전탑 반응기에 유입되는 원수는 정량펌프를 사용하여 10.8 mL/min로 일정하게 공급하였으며, 각 반응기에 정량 공기펌프를 사용하여 반응기의 DO가 약 2 mg/L가 되도록 공기를 공급하였다. HRT는 36 h을 유지하면서 성능실험을 수행하였으며 침전된 슬러지 제거는 매달 1회 실시하였다.

Table 1. Wastewater characteristics used in this experiment

Parameter	Range	Average	Parameter	Range	Average
pH	4.4~7.6	6.1	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	7.41~34.85	15.37
Temperature (°C)	16.2~21.8	18.3	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	0.34~1.14	0.53
SS (mg/L)	80~300	154.7	NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.0015~1.39	0.415
BOD (mg/L)	135~720	303.6	T-N (mg/L)	10.59~46.47	25.61
COD _{Cr} (mg/L)	380.5~1129.6	736.8	T-P (mg/L)	7.33~41.68	20.57

수질 분석은 수질오염공정시험방법 [8]과 Standard Method (EPA) [9]를 이용하여 수행되었으며, 각 측정결과는 Microsoft Excel PC용 Press Sheet를 이용하여 자료를 수집하고 분석하여 해석하였다. 온도는 수온도계를 사용하고, pH는 pH meter (ORION Model 420A)를 사용하였고, COD_{Cr}은 Standard Method의 중크롬산칼륨 (K₂Cr₂O₇)법에 의한 화학적 산소요구량으로 Closed reflux 방법을 이용하여 측정하였다. BOD는 수질공정시험법에 의해 5일간 배양한 시료의 DO 차이로부터 측정하였으며, BOD₅ 측정에 사용된 기기는 YSI 58 이다. 부유물질 (SS)의 농도는 수질오염공정시험방법에 의하여 유리섬유여지 (GF/C)법으로 측정하였으며 유리섬유여지에 일정량의 시료를 여과시킨 다음 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과 전·후의 유리섬유여지의 무게 차를 산출하여 부유물질의 농도를 구하였다. 총질소 (T-N) 및 총인 (T-P)은 수질오염공정시험방법에 의하여 자외선 흡광광도법과 아스코르빈산 환원법을 이용하여 측정하였다. NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N은 Standard Method에 의한 방법을 사용하였다. 미생물의 부착량은 담체의 초기 무게와 미생물 부착 후 105°C에서 1일간 완전 건조한 후 무게 차로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. pH 변화

미생물이 증식할 때는 신진대사 물질에 의하여 물의 pH가 변화하는 경우가 많다. pH는 오수에 대한 중요한 수질항목이며 미생물의 증식 및 대사반응, 대사산물의 종류와 양에 영향을 크게 미치는 환경인자 중의 하나이며 미생물이 생존하기 위해 pH 6.0~8.0의 범위내로 유지되어야 하는 것이 보통이다. 최적 pH는 6.5~7.5 정도로 알려져 있다. pH가 4.0 이하이거나 9.5 이상이면 박테리아 및 미생물의 활성이 크게 저하된다. 일반적으로 질산화균이 증식하면 질산화가 이루어져 산성을 띠게 된다 [10].

Fig. 2는 pH 변화를 나타내는 그래프로 운전일수 74일까지가 방학 중이었으며, 방학 중 유입수의 pH는 6.8~7.4를 유지하였고, 개강 후 pH는 4.4~7.6으로 변화 폭이 컸다. 이는 개강 후 대량의 식단으로 인해 산의 영향을 많이 받아 pH의 변화폭이 큰 것으로 사료된다.

처리수의 pH는 개질 담체의 경우 평균 7.2, 비개질 담체의 경우에 7.3으로 나타나 미생물 증식에 적절한 조건으로 분류하는데 이상적인 pH 범위를 나타내었다. 이처럼 처리수의 pH가 유입수의 pH에 비해 증가하는 이유는 질산염에서 질소 가스로의 변환도중 알칼리도가 생성되어 [11] pH가

상승되는 이유로 생각되어진다. 또한 개질 담체의 경우가 비개질 담체의 경우보다 pH 변화의 폭이 작고 일정한 값을 보이고 있어 개질 담체의 경우 물질대사가 더 안정적으로 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

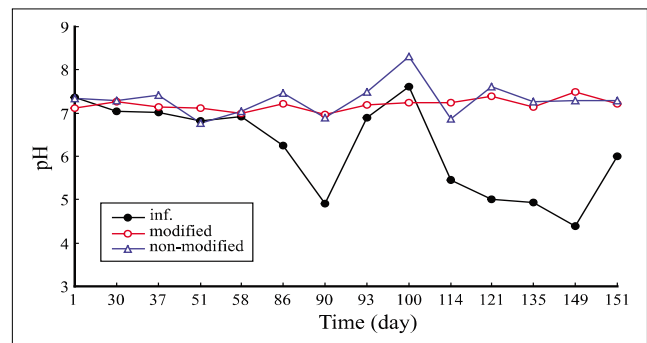


Fig. 2. Variation curves of pH with and without surface modification.

3.2. 유기물 제거

COD는 오염된 물의 수질을 표시하는 한 지표인 유기물 농도의 간접 지표로 사용되고 있는 대표적인 것으로 수중의 산화 가능한 물질 즉, 오염원으로 될 수 있는 물질이 산화제에 의해 화학적으로 산화되는데 필요한 산소량을 나타낸 것으로 폐수의 유기물 함유도를 측정하기 위한 중요한 척도이다. COD 측정 방법에는 산화제로 중크롬산칼륨을 사용하는 크롬법과 과망간산칼륨을 사용하는 망간법이 있으며 두 가지 방법 모두다 수중의 유기물을 화학적으로 산화시키는 것으로 COD 측정 원리는 같으며 산화정도의 차이이고 크롬법이 망간법보다 산화력이 더 크며 크롬법이 이론적인 산소 요구량에 더 가까워 더 정확한 수치를 보이기 때문에 본 실험에서는 크롬법을 사용하였다.

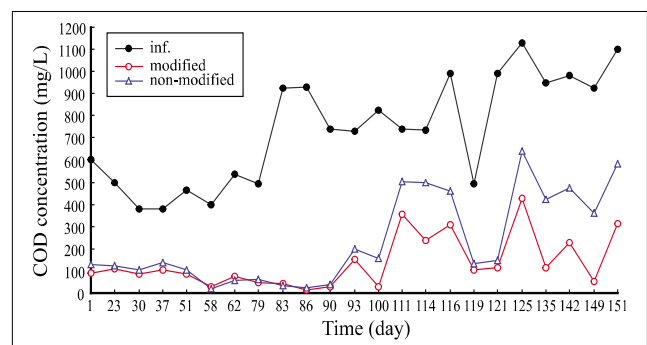
Fig. 3. Variation curves of COD_{Cr} concentration with and without surface modification.

Fig. 3은 시간에 따른 유입수와 처리수의 COD_{Cr} 변화를 나타낸 것으로 유입수의 COD_{Cr} 농도 범위는 380.5~1129.6 mg/L이었으며 유입수의 평균 COD_{Cr} 농도는 736.8 mg/L이었다. 처리수의 평균 COD_{Cr} 농도는 개질 담체의 경우가 136.8 mg/L이었으며 비개질의 경우는 235.1 mg/L이었다.

Fig. 4는 시간에 따른 COD_{Cr}의 제거율을 나타낸 것으로 개질 담체의 경우에 COD_{Cr} 평균 제거율이 81.8%이었고, 비개질 담체의 경우가 70.3%로 개질 담체의 경우 평균 제거율이 11.5% 정도 높게 나왔음을 알 수 있었다. 개장 중인 운전일수 90일부터 유입수의 농도가 높아지면서 개질 담체와 비개질 담체의 처리수 농도 차이가 나타나기 시작했으며 계속 운전할수록 개질의 처리율이 점점 높아짐을 알 수 있었고 이때 COD_{Cr} 제거율은 개질의 경우가 최대 96.5%, 비개질의 경우가 85.2%로 소수성의 비개질 담체에 비해 친수성의 표면 개질 담체가 11.3% 제거율이 더 높음을 확인할 수 있었다. 또한 표면을 친수성으로 개질한 담체가 700~900 mg/L 부근의 비교적 높은 농도에서 담체에 부착된 고농도 미생물의 활동이 활발히 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.

식당에서 배출되는 산성폐수에 의해 pH 4.4~5.5 정도의 오수의 유입으로 인하여 유입 이후 유입수의 COD_{Cr} 농도는 평균 608.4 mg/L에서 881.7 mg/L로 1.45배 증가하였으며 개질 담체의 경우 처리수의 평균 COD_{Cr} 농도는 68.6 mg/L에서 215.9 mg/L로, 비개질 담체의 경우 처리수의 평균 COD_{Cr} 농도는 90.8 mg/L에서 404.7 mg/L로 증가하여 개질 담체의 경우 3.15배, 비개질의 경우는 4.46배 증가하였다. 처리효율 면에서 살펴보면 개질 담체의 경우 평균 COD_{Cr} 제거율이 86.9%에서 75.2%로, 비개질 담체의 경우 제거율이 83.3%에서 54.1%로 개질의 경우 11.7%, 비개질 담체의 경우 29.2%가 각각 감소하였으며 개질 담체의 경우가 감소 폭이 더 적어 외부 환경에 견디는 능력이 탁월함을 알 수 있었다. 이상에서 미생물은 pH 6.5~7.5의 중성 상태에서 가장 잘 증식하며 이 범위에서 유기물 제거율이 가장 높은 것을 확인할 수 있었으며 유기물 부하 변동이 큰 경우에도 개질 담체의 경우가 비개질 담체의 경우에 비해 더 안정한 처리효율을 보임을 알 수 있었다.

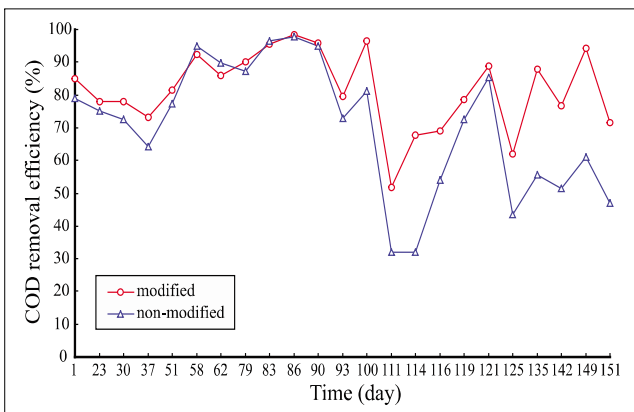


Fig. 4. Variation curves of COD_{Cr} removal efficiency with and without surface modification.

3.3. 부유물질 농도 변화

부유물질 (SS)은 수중에서 현탁되어 탁도를 유발하는 무기물과 유기물을 함유하는 0.1 μm 이상의 불용성 입자로서 COD와 같이 오염지표의 하나이지만, 빛의 투과율과의 관계에서도 중요한 항목이다. SS 농도가 증가하면 빛의 투과율이 낮아지고 수중 동식물의 생육에 악영향을 미친다. SS 농도가 50 mg/L 이하이면 어류의 빈사 등은 피할 수 있으므로 수역의 정상 생산 활동을 유지하기 위해서는 이 수치 이하로 처리하는 것이 바람직하다. 또한 물속에 체류하면서 분해되어 COD 증가의 원인이 되기도 한다. 따라서 SS 농도의 측정은 오수의 처리효율 및 오수의 강도를 평가하는데 중요한 인자 중의 하나가 된다.

Fig. 5는 시간에 따른 SS 농도 변화를 나타낸 것이다. 유입수의 평균 SS 농도는 154.7 mg/L이며 처리수의 평균 SS 농도는 개질 담체의 경우 30.7 mg/L, 비개질 담체의 경우는 58.0 mg/L로, 평균 SS 제거율은 각각 80.4%, 61.6%를 나타내었다. Fig. 3과 Fig. 4와 비교하여 보면 대부분 SS 농도가 높을 때 COD_{Cr} 농도가 높았으며 pH 4.4~5.5 정도의 산성 폐수가 유입되었을 때 개질 담체의 경우는 평균 SS 제거율은 80.8%에서 79.5%로 감소하였으며 비개질 담체의 경우는 69.8%에서 46.5%로 감소하여 개질 담체보다는 비개질 담체의 경우에 변화 폭이 더 컸다. 따라서 SS 제거율에서 개질 담체에 부착된 미생물이 pH 변화에 더 안정적으로 반응하는 것으로 추정할 수 있다.

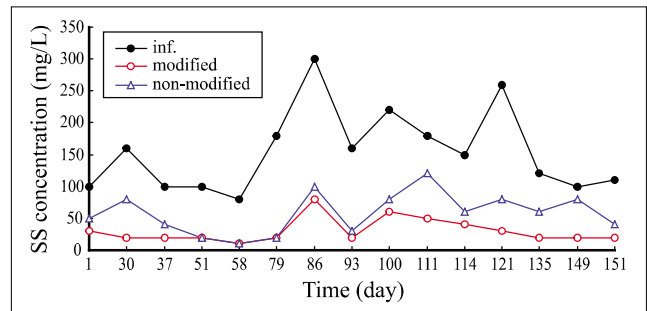


Fig. 5. Variation curves of SS concentration with and without surface modification.

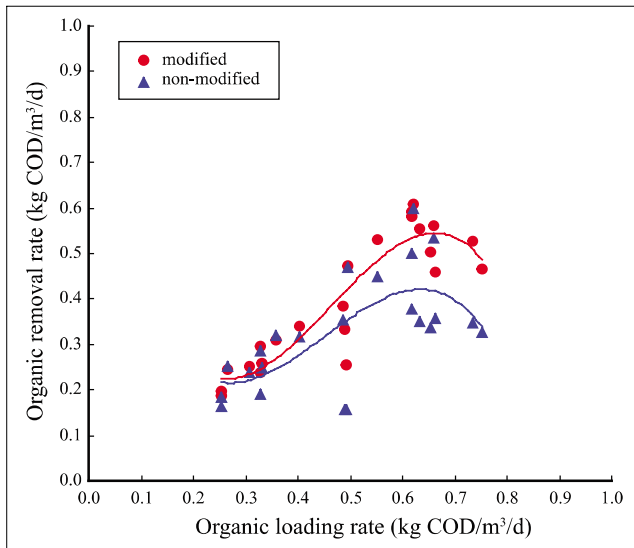
3.4. 유기물 부하 증가에 따른 유기물 제거 특성

Fig. 6은 유기물 부하속도의 증가에 따른 유기물 제거 속도를 나타낸 것으로 이 자료로부터 유기물 제거 특성을 알 수 있다. 개질 담체의 경우 유기물 부하속도가 증가함에 따라 유기물 제거 속도는 증가하다가 감소하는 경향을 보여주고 있으며 유기물 부하 속도 0.62 kg COD_{Cr}/m³/day에서 유기물 제거 속도는 0.61 kg COD_{Cr}/m³/day로 최대값을 나타내며 이 부하속도에서 최대 COD_{Cr} 제거율 98.1%를 보였고 그 이후로는 감소하였다. 비개질 담체의 경우도 비슷한 양상을 보여주고 있으나 전반적으로 개질 담체의 경우보다 유기물 제거 속도가 낮았다. 또한 유기물 부하 속도 0.55 kg COD_{Cr}/m³/day에서 COD_{Cr} 제거율이 81.2%를 보인 반면 개질의 경우는 96.5%의 제거율을 나타내었다. 이는 동일조건에서 표면개질 담체가 더 많은 미생물이 부착되어 처리

Table 2. Microbe attachment with and without surface modification

Reactor position	Surface-modified media (mg/cm ²)	Nonsurface-modified media (mg/cm ²)
Top (3rd floor)	3.89	2.58
Intermediate (2nd floor)	4.98	2.96
Bottom (1st floor)	5.84	3.23

효율을 증가시킨 것으로 판단된다.

**Fig. 6.** Variation curves of organic removal rate with organic loading rate.

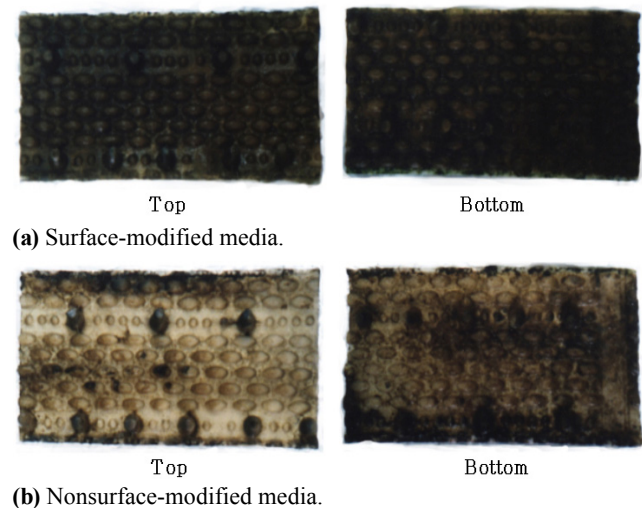
3.5. 미생물 부착양상

담체에 미생물이 부착하는 생물막 형성기작은 매우 복잡하며 여러 단계로 일어나는데 먼저 유기성 분자가 매질표면에 흡착되어 초기막을 만들고 그 표면에서 세균이 가역적 상태에서 흡착을 한다. 그 위에 세균이 주로 다당류로 구성된 체외물질을 분비하여 단단히 결합하고 분비물질 사이에 다른 미생물이나 용해성 또는 부유성 유기물의 분해가 일어나게 된다. 형성되는 생물막에서 부착 미생물량은 환경조건과 미생물에 의하여 결정되어지는데 많은 미생물이 전체 면적에 대해 고르게 부착되어 있으면 더 유기물 제거율이 더 높을 것으로 사료된다.

Table 2은 개질의 경우와 비개질의 경우 반응기 각 단에서 부착 미생물의 양을 나타낸 것으로 부착 미생물량은 하단에서 개질의 경우 5.84 mg/cm², 비개질의 경우 3.23 mg/cm², 중단에서 각각 4.98 mg/cm², 2.96 mg/cm² 상단에서 각각 3.89 mg/cm², 2.58 mg/cm²이었다. 총 부착미생물 중 폐수가 유입되는 하단과 중단에 분포하는 비율이 40~74% 정도로 나타났으며, 유기물 부하율이 커질수록 하단에서 분해되지 못한 유기물이 중단과 상단에서 분해가 일어남을 알 수 있었다. 이와 같은 결과 개질의 경우가 비개질 경우보다 평균 1.98 mg/cm² 더 부착된 것으로 사료된다.

Fig. 7은 30일 경과 후의 미생물이 부착된 담체 표면의 사진으로 미생물의 부착 양상이 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이온빔 조사에 의한 담체 표면의 친수성 증

가는 ether, carbonyl, carboxyl 등의 새로 형성된 작용기에 의한 것으로 본 연구진에 의해 이 메카니즘이 자세히 제시된 바 있다 [7]. 또한 친수성 부여 정도는 삼차 증류수에 의한 접촉각의 각도에 의해 알 수 있으며 접촉각은 고체 표면과 액적이 이루는 각도이며 접촉각이 90° 이상일 때는 그 입자는 젖기 어렵고, 0°인 경우인 경우는 액체가 고체를 완전히 덮는 경우로 퍼짐이라고 한다. 본 실험에서는 표면개질 전의 78°에서 최적의 조건에서 22°까지 감소하였다. 이처럼 친수성 증가에 의해 개질 담체의 경우 담체 표면에 고른 부착 양상을 보이 있으나 비개질 담체의 경우는 하단에서 일부에만 집중적인 부착 양상을 보이고 있다. 또한 육안으로 확인한 부착량도 개질 담체의 경우가 훨씬 더 많았다. 이로부터 표면을 친수성으로 개질한 담체가 미생물 부착 및 생물막 형성에 더 유리함을 확인할 수 있었다.

**Fig. 7.** Photograph of microbe attachment.

4. 결론

본 연구에서는 소수성이 강한 폴리프로필렌 재질의 판 표면에 이온빔을 조사하여 소수성인 표면 물성을 친수성으로 개질한 표면개질 담체와 표면을 개질하지 않은 비개질 담체를 각각 충전한 충전탑 반응기에서 유기물 제거 특성 및 미생물 부착 특성을 알아보았다. 시료는 학교 식당에서 배출되는 오수를 사용하였다. 실험결과, 유입수의 COD_{Cr} 농도가 평균 736.8 mg/L로 유지될 때 유출수의 평균 COD_{Cr} 농도는 개질 담체의 경우가 81.8%, 비개질 담체의 경우 70.3%로 표면개질 담체 반응기의 제거율이 11.5% 더 높은 것으로 나타났다. 운전일수 90일 이후 개질의 경우와 비개질 경우의 차

이가 확연히 드러나기 시작했으며 이때 COD_{Cr} 제거율은 개질의 경우가 최대 96.5%, 비개질의 경우가 85.2%로 소수성의 비개질 담체에 비해 친수성의 표면 개질 담체가 11.3% 제거율이 더 높음을 확인할 수 있었다. SS 농도도 COD_{Cr}의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있으며 개질 담체의 경우가 비개질 담체의 경우보다 SS 제거율이 더 높았으며 유입수의 pH는 4.4~7.6으로 다소 차이가 있었으나 유출수의 pH는 개질의 경우 평균 7.2, 비개질의 경우는 평균 7.3로 일정한 값을 나타내었다. 유기물 부하속도가 증가함에 따라 유기물 제거 속도는 증가하다가 감소하는 경향을 나타내며 비개질 담체의 경우가 개질 담체의 경우보다 유기물 제거 속도가 낮았다. 부착미생물량은 하단에서 개질의 경우 5.84 mg/cm², 비개질의 경우 3.23 mg/cm², 중단에서 각각 4.98 mg/cm², 2.96 mg/cm² 상단에서 각각 3.89 mg/cm², 2.58 mg/cm²로 표면을 친수성으로 개질한 담체가 미생물 부착 및 생물막 형성에 더 유리하였으며 담체 표면의 미생물 부착 모습으로 이를 확인할 수 있었다.

감사

이 논문은 2010년도 상지대학교 교수 연구년제 지원에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.

References

1. Ministry of Environment (2011) Statistics of Sewerage 2010. pp. 8-241. Ministry of Environment, Seoul, Korea.
2. Hwang, P. G., D. M. Kim, and C. H. Cho (2004) A wastewater treatment using modified wood-chips as microbial media. *J. KSEE* 26: 1395-1398.
3. Kim, T. Y., C. G. Yoon, and K. W. Jung (2006) Development of high-hydrophilic biofilter for decentralized regions and rural communities. *J. KSWQ* 22: 678-686.
4. Jung, Y. J., K. S. Min, J. K. Lee, and K. H. Lim (2003) Evaluation of sewage treatment with surface modified waste-tire media using batch activated sludge system. *J. KSEE* 25: 682-687.
5. Yang, D. C., J. H. Kim, and Y. J. Yoo (1997) Development of support by chemical modification for the immobilization of activated sludge. *Hwahak Konghak* 35: 129-134.
6. Song, K. H., K. H. Kim, S. H. Cho, K. R. Lee, J. H. Lim, and S. S. Bae (2004) Permeation flux of surface-modified hydrophilic polysulfone membrane. *Korean Chem. Eng. Res.* 42: 59-64.
7. Han, S., Y. H. Seon, and S. K. Koh (2002) Microbe adhesion and organic removal from synthetic wastewater treatment using polypropylene media modified by ion-assisted reactions. *Korea J. Biotechnol. Bioeng.* 17: 235-240.
8. Ministry of Environment (2002) Korean Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. pp. 1-691. Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul, Korea.
9. APHA (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed., pp. 5-17, American Public Health Association, Washington DC, USA.
10. Wett, B. and W. Rauch (2003) The role of inorganic carbon limitation in biological nitrogen removal of extremely ammonia concentrated wastewater. *Wat. Res.* 37: 1100-1110.
11. Yon, C. H., M. S. Kim, and S. H. Kim (2006) Characteristics of biological nitrogen removal for low C/N ratio municipal wastewater using methanol as an external carbon source in A₂O fluidized media process. *J. of KSEE* 28: 687-692.