

세균첨가에 의한 제약폐수 및 판지폐수의 처리효율의 향상

*이 형 춘

서원대학교 식품영양학과

(접수 : 2000. 7. 14., 게재승인 : 2000. 8. 21.)

Increase of the Treatment Efficiency of a Pharmaceutical Wastewater and a Paperboard Wastewater by the Addition of Bacteria

Hyeong Choon Lee*

Depart. of Food and Nutrition, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea

(Received : 2000. 7. 14., Accepted : 2000. 8. 21.)

Some bacterial strains isolated from activated sludges and media and type cultures were cultivated in a pharmaceutical wastewater and a paperboard wastewater and added during batch treatment of those wastewaters in order for these strains to increase the treatment efficiency. A *Bacillus* sp.(PC-3) isolated from the charcoal media of the pharmaceutical wastewater plant grew remarkably over other strains in that wastewater and the viable cell count after 24hr cultivation was 1.1×10^6 /mL. *Bacillus subtilis* KCTC 1028, a type strain, grew best in the paperboard wastewater and the viable cell count after 24hr cultivation was 1.1×10^7 /mL. Addition of PC-3 in a batch treatment of the pharmaceutical wastewater increased COD removal by 18% after 8 day. And addition of *Bacillus subtilis* KCTC 1028 in a batch treatment of the paperboard wastewater increased COD removal by 14% only after 24hr. *Bacillus subtilis* KCTC 1028 was thought to be able to be produced economically using alcohol distillery wastewaters from starch material.

Key Words : addition, bacteria, increase treatment efficiency, pharmaceutical wastewater, paperboard wastewater

서 론

본 연구에서 사용한 제약공장폐수는 활성슬러지법으로 처리되고 있었으며, 폐수처리시설의 건설 초기에는 정상적인 처리가 가능하였으나, 후에 생산규모의 증가로 폐수배출량이 많아져서 회석을 하지 못한 채 고농도인 상태로 처리해야 하는 어려움이 있었다. 또한, 다양한 제품을 생산하고 있었으므로 생산원료의 변화가 심하고 폐수의 조성이 자주 변화하기 때문에 갖은 충격부하로 처리의 어려움을 겪고 있었다. 판지폐수의 경우에도 역시 활성슬러지 법을 채택하고 있었으며, 부족한 시설로 더욱 엄격해진 배출기준을 만족시키기 위해 처리상의 어려움을 겪고 있었다. 이러한 문제점들은 본 연구의 대상폐수이외의 다른 폐수들의 경우에도 흔히 발생할 수 있는 문제점으로 생각되었다.

이러한 경우에는 폐수처리에 특정한 미생물을 첨가하여 처리효율을 향상시키는 bioaugmentation에 의해 문제를 해결

할 수 있다고 생각되었으며(1), 첨가되는 미생물은 원래부터 폐수에 존재하고 있었던 것, 또는 다른 분리원으로부터 분리된 것, 또는 유전적으로 변형된 것 등이 있다(2). 이들 중 다른 분리원으로부터 분리된 것이나 유전적으로 변형된 것은 주로 난분해성물질 함유폐수의 bioaugmentation(2-4)에 사용되며, 본 연구의 제약폐수나 판지폐수에서처럼 특별한 난분해성물질을 함유하지 않은 폐수일 경우에는 처리가 잘 될 때의 활성슬러지나 폭기조 media 등에서 분리한 균 또는 분리균과의 비교실험을 통하여 우수성이 입증된 type culture를 사용하는 것이 바람직하다고 생각되었다. 이 경우 분리된 균 또는 type culture의 폐수처리 증진효과를 확인한 후 사용한다면 대상폐수의 스펙트럼이 넓고 특이성이 결여된 commercial product보다 성공확률이 높을 수 있다(5). 첨가하는 균종류는 적을수록 좋고, 한가지 종류의 균을 첨가하여 효과를 볼 수 있다면 가장 바람직하다. 또한 분리균이 *Bacillus*종과 같은 포자형성균일 경우 보통 균의 yield 와 안전성이 매우 우수하다(1).

이러한 관점에서 본 연구에서는 제약폐수와 판지폐수의 활성슬러지와 폭기조 media로부터 분리한 세균과 균주분양기관으로부터 입수한 type culture를 폐수에 배양하여 배양적성이 우수한 것을 선발하고 폐수의 회분처리시 이들 세균을 첨가함으로써 처리효과를 향상시키는가를 알아보았다.

*Corresponding Author : Department of Food and Nutrition, Seowon University, 231, Mochung-dong, Cheongju 361-742, Korea

Tel & Fax : 82-43-261-8744

E-mail : hclee@seowon.ac.kr

재료 및 방법

폐수

제약폐수는 O제약 청주공장 (청주시 승정동 소재)의 원폐수를 수집하여 사용하였다. 이 폐수는 27종의 원료를 사용하여 다양한 제품을 제조하는 과정에서 배출되는 폐수였으며, 원폐수를 직접 활성슬러지 폭기조로 유입시켜서 처리를 하고 있었고, pH는 7.01이었다.

판지폐수는 D펄프 청주공장 (충북 청원군 소재)의 폐수로서 전처리후 활성슬러지 폭기조로 유입되는 폐수를 수집하여 사용하였으며, pH는 7.45였다.

사용균주

분리균과 type culture를 사용하였다. 분리균의 분리방법은 처리가 잘 될 때의 활성슬러지와 폭기조의 media를 멸균생리 식염수로 희석후 각각의 희석액 0.1 mL씩을 nutrient agar (NA) 평판배지에 분주하고 도말한 다음 37°C, 24시간 배양후에 순수분리된 집락중 가장 많은 것부터 분리하였다. 분리균은 NA사면배지에 보존하면서 사용하였다.

제약폐수의 경우 활성슬러지와 폭기조의 charcoal media로부터 총 9주의 균을 분리하여 사용하였으며, type culture는 서울대학교 미생물연구소 미생물균주센터로부터 *Pseudomonas acidovorans* K82-104와 *Bacillus benzoevorans* ATCC 49005를 분양받아 사용하였다.

판지폐수의 경우 활성슬러지와 폭기조의 polyurethane media로부터 총 3주를 분리하여 사용하였으며, type culture는 한국과학기술연구원 생명공학연구소 유전자은행으로부터 *Bacillus subtilis* KCTC 1028, *Bacillus circulans* KCTC 1662, *Bacillus macerans* KCTC 1822, *Bacillus licheniformis* KCTC 1026, *Bacillus amyloliquefaciens* KCTC 1660를 분양받아 사용하였다.

Flask배양 및 증식도 측정

폐수를 이용한 flask배양에서는 H_3PO_4 20 μ L/L 첨가한 제약폐수 또는 $(NH_4)_2SO_4$ 와 KH_2PO_4 를 각각 0.25 g/L 및 0.025 g/L 첨가한 판지폐수 50 mL를 250 mL 삼각 flask에 넣고 가압멸균(121°C, 15분)한 다음 무균적으로 pH 7.0으로 조정후 NA평판배지상에서 24시간 배양한 분리균 또는 type culture 1백급니를 접종하여 37°C, 160 rpm의 조건으로 24시간 진탕배양하였다.

폐액배지를 이용한 flask배양에서는 폐당밀의 20배 희석액, 주정폐액 원액 및 한지사속폐액 7.5배 희석액(6)을 배지로 사용하였으며, 배양방법은 폐수를 이용한 flask배양과 동일하게 하였다. 이중 폐당밀은 중앙케미칼(안산시 소재)에서 입수하여 사용하였으며, 주정폐액은 서호주정(전주시 소재)에서 입수하여 사용하였는데, 쌀보리와 타피오카를 1:1로 섞은 것을 원료로 사용하여 생성된 폐액이었다. 한지사속폐액은 단구제지 (단양군 소재)로부터 입수하여 사용하였다.

폐수처리실험시 첨가한 균체 또는 배양액을 얻기위한 배양은 Table 1의 구성을 갖는 배양액 또는 주정폐액 50 mL를 250 mL 삼각 flask에 넣고 가압멸균후 분리균 또는 type culture 1백급니를 접종하여 37°C, 160 rpm의 조건으로 24시간 진탕 배양하였다. 균체를 첨가하는 경우에는 배양액을 10,000 rpm,

Table 1. Medium for the cultivation of bacteria used for batch treatment.

Component	Concentration
Glucose	20 g/L
Yeast extract	4 g/L
$(NH_4)_2SO_4$	2 g/L
Na_2HPO_4	7 g/L
KH_2PO_4	1 g/L
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.1 g/L
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	10 mg/L
$CaCl_2 \cdot 7H_2O$	20 mg/L
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	200 mg/L
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	60 mg/L
H_3BO_4	600 mg/L
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	400 mg/L
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	40 mg/L
$CuSO_4 \cdot 4H_2O$	20 mg/L
$NaMoO_4 \cdot 2H_2O$	60 mg/L

30분간 원심분리하여 수집한 것을 사용하였다.

폐수를 이용한 flask배양과 폐액배지를 이용한 flask배양에서의 균증식도의 측정은 spread plate method(7)에 의하여 생균수를 측정하였다. 즉, 배양액 1ml를 취하여 멸균생리식염수로 10배단계 희석한 각 단계의 희석액을 NA평판배지에 0.1 mL씩 분주하여 도말한 다음 37°C로 24시간 배양 후 형성된 집락을 계수하였다.

폐수처리실험

3 L plastic beaker에 제약폐수의 경우에는 폐수(H_3PO_4 20 μ L/L 첨가) 1.5 L와 활성슬러지 0.5 L (25%), 판지폐수의 경우에는 폐수($(NH_4)_2SO_4$ 와 KH_2PO_4 를 각각 0.25 g/L 및 0.025 g/L 첨가) 1.8 L와 활성슬러지 0.2 L (10%)를 넣고 원심분리한 균체 또는 주정폐액을 첨가하면서 무첨가구와 첨가구의 처리효과를 서로 비교하였다. Plastic beaker는 water bath에 담가서 온도를 25°C로 유지시켰으며, 공기펌프를 이용하여 각각의 beaker에 13.0 L/min의 유량으로 폭기하여 주었다. 처리효과는 시간경과에 따른 COD감소로서 알아보았는데, COD 측정용 시료는 폭기를 멈추고 30분간 슬러지를 침전시킨 후 상등액으로부터 채취하여 사용하였다. COD분석은 standard methods (8)에 의하였다. 처리액의 pH를 조정하는 경우에는 conc. H_2SO_4 또는 5N NaOH를 사용하였다.

결과 및 고찰

폐수를 이용한 배양

폐수처리실험시 첨가할 균주를 선발하기 위한 방법으로 균을 해당폐수에 증식시켜 증식도를 비교하였다. 제약폐수의 경우 1차적으로 활성슬러지로부터 *Bacillus*종 2종 (PC-1, PC-2)과 charcoal media로부터 *Bacillus*종 (PC-3) 및 그림음성 단간균 (PC-4)을 각각 1주씩 총 4주를 분리하였다. 이 4주를 제약폐수에 접종배양하여 생균수를 비교한 결과는 Figure 1과 같다. 그림에서와 같이 PC-1, PC-2, PC-3 및 PC-4의 배양 초기 생균수는 9.9×10^3 /mL, 3.8×10^4 /mL, 2.0×10^3 /mL, 및 3.5×10^3 /mL이었고, 24시간 배양후의 생균수는 5.3×10^4 /mL, 4.7×10^3 /mL, 1.1×10^6 /mL, 및 8.0×10^3 /mL 이었다. PC-2는 배양후 생균수가 오히려 줄었고, 특이하게 10^6 /mL 이상으로

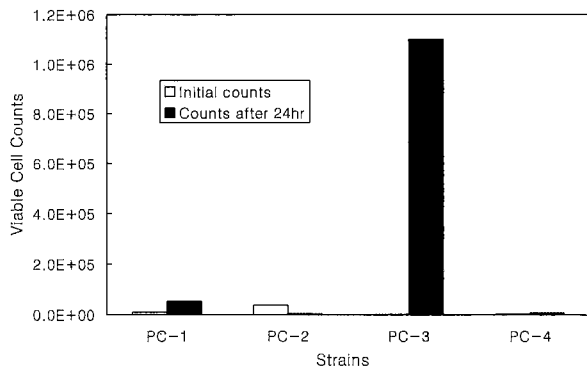


Figure 1. Cultivation of isolated strains in a pharmaceutical wastewater (temperature: 37°C, agitation speed: 160 rpm, PC-1 & PC-2: *Bacillus* sp. isolated from activated sludge, PC-3: *Bacillus* sp. from charcoal media, and PC-4: gram-negative strain from charcoal media).

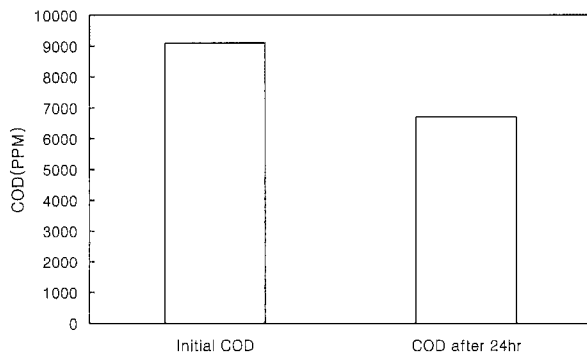


Figure 2. Comparison of initial COD and COD after 24hr in the cultivation of PC-3 in a pharmaceutical wastewater.

잘 증식한 것은 PC-3뿐이었다. PC-3가 제약폐수의 COD를 어느정도 제거하는가를 알아보기 위하여 배양초기와 24시간 배양후의 배양액을 membrane filter(pore size: 0.45 μM)로 여과한 여액의 COD를 측정된 결과는 Figure 2와 같다. 배양초기와 24시간배양후의 배양액의 COD가 9100 ppm 및 6700 ppm이었고 COD제거율은 26.4%였다. 따라서, PC-3가 제약폐수중에 함유된 유기물등의 환원성물질중 일정부분을 분해이용하면서 증식할 수 있는 균주임을 확인하였다.

판지폐수의 경우에는 분리균과 type culture를 사용하였다. 분리균은 활성슬러지로부터 분리한 *Bacillus*종 (PP-1)과 그람 음성 단간균 (PP-2), polyurethane media로부터 분리한 *Bacillus* 종 (PP-3)등 3주였다. 판지제조과정에서는 접착제로 전분(澱粉)을 사용하므로 폐수중에는 전분(澱粉)성분이 존재할 가능성이 크고, 또한 cellulose 성분이 함유되어 있을 가능성이 크다는 것에 착안하여 전분 또는 cellulose분해력이 있는 type culture들을 사용하였다. Type culture들중 예비실험결과 *Bacillus subtilis* KCTC 1028(BS-1028), *Bacillus circulans* KCTC 1662 (BC-1662)는 폐수에서 증식을 보였으나, *Bacillus macerans* KCTC 1822, *Bacillus licheniformis* KCTC 1026, *Bacillus amyloliquefaciens* KCTC 1660의 3주는 폐수에서 거의 증식하지 않았다. 따라서, 분리균 3주과 type culture 2주를 판지폐수에 접종배양하여 생균수를 비교한 결과를 Figure 3에 나타내었다. 그림에서와 같이 PP-1, PP-2, PP-3, BS-1028 및 BC-1662의 초기생균수는 1.6×10^4 /mL, 3.7×10^5 /mL, $1.8 \times$

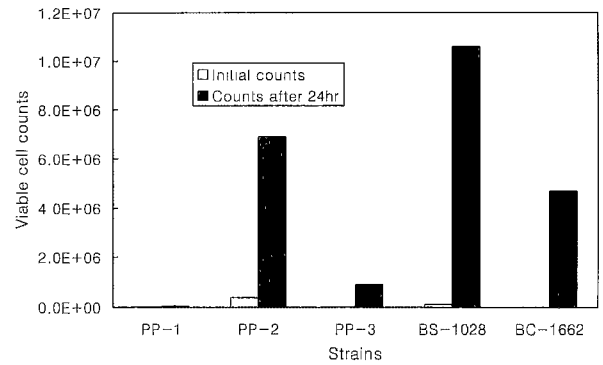


Figure 3. Cultivation of isolated strains and type cultures in a paperboard wastewater (temperature: 37°C, agitation speed: 160 rpm, PP-1: *Bacillus* sp. isolated from activated sludge, PP-2: gram-negative strain from activated sludge, PP-3: *Bacillus* sp. from polyurethane media, BS-1028: *Bacillus subtilis* KCTC 1028, and BC-1662: *Bacillus circulans* KCTC 1662).

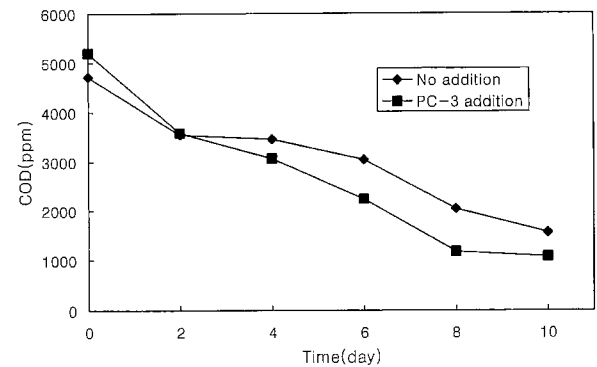


Figure 4. Batch treatment of a pharmaceutical wastewater by adding PC-3 (Cell paste of PC-3 was added by 0.5 g per day.)

10^4 /mL, 1.1×10^5 /mL 및 3.4×10^3 /mL이었고, 24시간후의 생균수는 5.0×10^4 /mL, 6.9×10^6 /mL, 9.0×10^5 /mL, 1.1×10^7 /mL 및 4.7×10^6 /mL이었다. BS-1028의 증식도가 가장 크게 얻어진 것은 이 균주가 α-amylase생산균주(9)이므로 폐수중에 함유된 전분을 분해이용하여 증식할 수 있었기 때문이라고 생각되었다. 증식도가 두 번째로 큰 것은 분리균인 PP-2였는데, 이 균은 비포자균이므로 증식도뿐만 아니라 안정성(stability)에 있어서도 포자균인 BS-1028보다 불리하다고 생각되었다. Huban(1)은 bioaugmentation에서 특정물질의 분해를 목적으로 하는 경우가 아닐 경우에는 *Bacillus*종이 매우 높은 yield와 안정성을 가지므로 유리하다고 하였다. BC-1662도 비교적 높은 증식을 보였으므로 이 균이 cellulose분해력을 가진 것(9)과 관련이 있다고도 생각되었다.

폐수처리실험

제약폐수의 경우 1차분리균들 중에서 제약폐수에의 배양적 성이 가장 우수한 PC-3균주를 사용하여 회분식 폐수처리실험을 수행하였다. 예비실험을 통하여 균첨가량과 처리액의 pH 조정빈도를 결정하였는데, 균은 24시간 간격으로 0.5 g씩 첨가하고, pH는 하루에 3회 7.0으로 조정하는 것으로 하였다. 실험결과는 Figure 4와 같다. 그림에서와 같이 실험초기에는

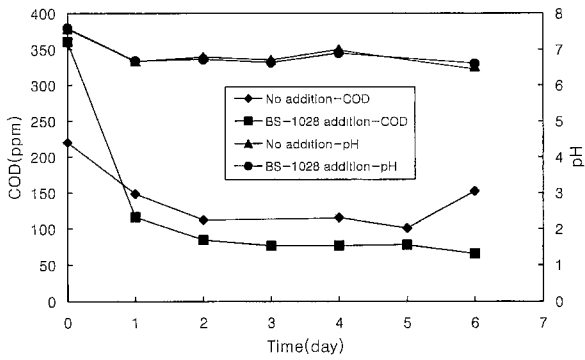


Figure 5. Batch treatment of a paperboard wastewater by adding *Bacillus Subtilis* KCTC 1028 (BS-1028) (Cell paste of 0.5 g was added one time in the beginning).

무첨가구의 COD는 4720 ppm이고 첨가구의 COD는 5200 ppm으로써 첨가구의 COD가 더 높았음에도 불구하고 2일째에는 무첨가구와 거의 같아졌고, 4일째부터는 첨가구의 COD가 더 낮아져서 8일째에는 첨가구는 2040 ppm이고 무첨가구는 1170 ppm이었다. 8일째의 무첨가구의 COD제거율은 57%인데 대하여 첨가구의 COD제거율은 75%로써 무첨가구보다 18% 더 높았다. 이러한 결과로 볼 때, PC-3에 의한 처리효율의 향상이 뚜렷하였다. 따라서, 처리가 까다로운 제약폐수의 경우에도 폐수처리장에서 분리한 균주를 이용하여 처리효율을 향상시킬 수 있음을 알았으며, 이러한 균주를 여러주 확보하여 처리상의 문제가 발생할 때마다 적절한 균주를 선발하여 첨가한다면 효과를 볼 수 있다고 생각되었다. PC-3보다 더 우수한 능력을 갖는 균주를 탐색하기 위하여 2차분리를 수행하여 활성슬러지로부터 그래양성간균 1주, charcoal media로부터 그래양성간균 3주 및 그래음성간균 1주를 분리하고 이들 5균주에 대하여 직접 회분식 폐수처리실험을 수행하였으나, 보조처리효과가 인정되는 균주를 발견할 수 없었다. 또한, 본 제약폐수의 원료중에는 여러가지 종류의 방향족 화합물들이 포함되어 있으므로 방향족 화합물을 분해하는 세균을 첨가하면 효과가 있을 것으로 생각되었으므로 방향족 화합물을 분해하는 균주인 *Pseudomonas acidovorans* K82-104 (PA) (10)와 *Bacillus benzoevorans* ATCC 49005(BB)(10)를 첨가하는 폐수처리실험을 수행하였으나 균첨가의 효과가 인정되지 않았다. 이것은 제약폐수에 포함된 방향족 화합물의 종류가 여러 가지이고 PA와 BB가 다양한 방향족화합물을 분해하지는 못하기 때문이라 생각되었다. 따라서, 제약폐수와 같이 다양한 화학물질을 함유하는 폐수의 bioaugmentation에는 폐수처리장에서 해당폐수에 순화(馴化)된 균주를 분리하여 사용하는 것이 더 바람직하다고 생각되었다.

판지폐수의 경우에는 분리균과 수집균중에서 판지폐수에의 배양적성이 가장 우수한 BS-1028을 사용하여 폐수처리실험을 수행하였다. 균은 초기에 0.5 g 첨가하였으며, pH조정은 하지 않았다. 실험결과를 Figure 5에 나타내었다. 그림에서와 같이 초기에는 무첨가구의 COD는 220 ppm이고 첨가구의 COD는 360 ppm으로써 첨가구의 COD가 더 높았으나, 24시간이후부터 균첨가구의 COD가 더 낮아졌고 그러한 양상이 계속 유지되었다. 1일째의 무첨가구의 COD는 150 ppm이고 첨가구는 120 ppm으로써 무첨가구의 COD제거율은 32%였고,

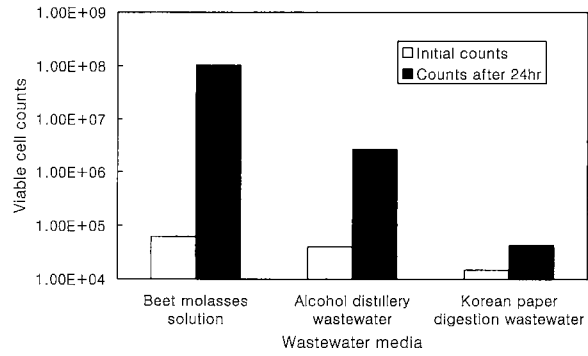


Figure 6. Cultivation of PC-3 in three wastewater media (The dilution rates of a beet molasses solution and a Korean paper digestion wastewater were 20 and 7.5, respectively).

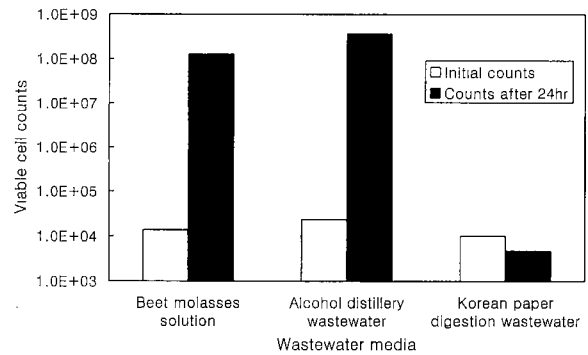


Figure 7. Cultivation of BS-1028 in three wastewater media.

첨가구의 COD제거율은 46%로써 무첨가구보다 14% 더 높았으므로 BS-1028에 의한 처리효율의 향상이 뚜렷하였다. 초기에 균첨가구의 COD가 더 높은 것은 첨가된 균이 침전되지 못하고 부유하기 때문이라 생각되었다. 첨가구와 무첨가구의 pH는 처리전기간에 걸쳐서 큰 변화가 없었으며, 6.52~7.59로서 중성범위를 유지하였다. 이러한 결과로 볼 때, 본 연구에서 사용한 판지폐수의 처리시 BS-1028을 첨가할 경우 보조처리효과가 있을 것으로 생각되었으나, 활성슬러지 처리실험을 통하여 더 확인할 필요가 있다고 생각된다.

폐액배지를 이용한 PC-3 및 *Bacillus subtilis* KCTC 1028의 배양

보조처리효과가 인정된 PC-3와 BS-1028의 생산에 폐액배지를 이용하면 경제적인 것이므로 이들 균주를 폐당밀, 주정폐액 및 한지자숙폐액에 배양하여 증식도를 서로 비교한 결과를 Figure 6과 Figure 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 PC-3의 경우에는 폐당밀, 주정폐액 및 한지자숙폐액에서 초기 생균수는 각각 6.2×10^4 /mL, 4.0×10^4 /mL 및 1.5×10^4 /mL 이었고, 24시간후의 생균수는 1.0×10^8 /mL, 2.7×10^6 /mL 및 4.3×10^4 /mL이었으며, BS-1028의 경우에는 폐당밀, 주정폐액 및 한지자숙폐액에서 초기 생균수는 각각 1.4×10^4 /mL, 2.3×10^4 /mL 및 1.0×10^4 /mL이었고, 24시간후의 생균수는 1.3×10^8 /mL, 3.6×10^8 /mL 및 4.7×10^3 /mL이었다. PC-3는 당밀액에서 증식도가 가장 높았으며, BS-1028은 주정폐액에서 증식도가 가장 높게 나타났다. 한지자숙폐액에서는 PC-3의 경우에는 약간 증식하였고, BS-1028의 경우에는 증식하지 않았다.

BS-1028의 경우에 주정폐액에서의 증식도가 당밀액보다 높게 나타난 것은 특이하다. 본 연구에서 사용한 주정폐액은 전분질 원료로부터 생성된 폐액이므로 미처 분해되지 않은 전분이 잔류할 가능성이 높다. 따라서, BS-1028이 주정폐액중의 환원당성분은 물론 전분까지 이용하여 증식한 결과 증식도가 높아졌다고 생각되었다. 주정폐액은 국내에서도 많이 배출되는 폐액이므로 생산원료로서 사용할 경우 경제적인 균의 생산이 가능하다. 판지폐수의 경우에 BS-1028의 주정폐액 배양액으로부터 균을 수집하지 않고 배양액을 그대로 첨가한다면 경제적인 것이므로 주정폐액 배양액을 첨가하여 무첨가구와 비교하는 실험을 수행하였으나, 무첨가구에 비하여 상등액의 COD가 오히려 높았는데, 이것은 주정폐액에 들어있는 유기물이 미처 분해되지 못하는 결과라 생각되었다. 따라서 판지폐수의 처리시 BS-1028의 주정폐액 배양액을 그대로 첨가할 경우에는 처리효율의 향상을 기대할 수 없다고 생각되었다.

요 약

제약폐수처리장과 판지폐수처리장의 활성슬러지 또는 폭기조 media로부터 분리한 균들과 type culture들을 첨가할 경우 제약폐수와 판지폐수의 처리에 도움을 주는지를 알아보았다. 폐수에 균들을 배양하였을 때, 제약폐수에서는 charcoal media로부터 분리한 *Bacillus*종 (PC-3)이 특이하게 잘 증식하여 24시간 배양후의 생균수가 1.1×10^6 /mL를 나타내었으며, 판지폐수의 경우에는 type culture인 *Bacillus subtilis* KCTC 1028이 가장 잘 증식하여 24시간 배양후의 생균수가 1.1×10^7 /mL를 나타내었다. PC-3를 첨가하는 제약폐수의 회분식처리실험에서 균첨가효과가 확인되었으며, 8일째의 첨가구의 COD제거율이 무첨가구의 COD제거율에 비해 18% 더 높았다. *Bacillus subtilis* KCTC 1028을 첨가하는 판지폐수의 회분식처리실험에서도 균첨가효과가 확인되었으며, 24시간후의 첨가구의 COD제거율이 무첨가구의 COD제거율에 비해 14% 더 높았다. *Bacillus subtilis* KCTC 1028은 전분질원료 주정폐액에서 잘 증식하였으므로, 전분질원료 주정폐액을 *Bacillus subtilis* KCTC 1028의 경제적인 생산배지로 이용할 수 있다.

감 사

본 논문은 서원대학교 응용과학연구소의 지원에 의하였습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Huban, C. M. and R. D. Plowman (1997), Bioaugmentation: put microbes to work, *Chemical Engineering*, 104(3), 74-84.
- Limbergen, H. V., E. M. Top, and W. Verstraete (1998), Bioaugmentation in activated sludge: current features and future perspectives, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 50, 16-23.
- Kennedy, M. S., J. Grammas, and W.B. Arbuckle (1990), Parachlorophenol degradation using bioaugmentation, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 62, 227-233.
- Selvaratnam, S., B. A. Schoedel, B. L. McFarland, and C. F. Kulpa (1997), Application of the polymerase chain reaction (PCR) and reverse transcriptase/PCR for determining the fate of phenol-degrading *Pseudomonas putida* ATCC 11172 in a bioaugmented sequencing batch reactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 47, 236-240.
- Leopoldo, M. E. and S. Tom (1996), Grease biodegradation: Is bioaugmentation more effective than natural populations for start-up?, *Wat. Sci. Technol.*, 34(5-6), 303-308.
- Lee, H. C. (2000), Cultivation of a *Saccharomyces cerevisiae* in a Korean Paper Digestion Wastewater, *Kor. J. Biotechnol. Bioeng.*, 15(3), 274-279.
- Brock, T. D. and M. T. Madigan (1991), *Biology of Microorganisms*, 6th ed., p310, Prentice-Hall International, London.
- APHA, AWWA, and WPCF (1992), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed., APHA, Washington, DC.
- Park, Y. H. and K. S. Bae (1996), *Catalogue of Strains*, 4th ed., p35, Korean Collection for Type Cultures, Taejon.
- Culture Collection Center Institute of Microbiology Seoul National University (1998), *Catalogue of Microbial Strains*, 4th ed., IMSNU, Seoul.