

서울市域 漢江水界의 合成洗劑 分解細菌의 分布

裴京淑 · 李蕙珠* · 河永七 · 洪淳佑

(서울大 自然大 微生物學科, *東亞大 理科大 生物學科)

The distribution and annual variation of detergent-degrading bacteria in the Han river downstream

BAE, Kyung Sook, Hye Joo LEE,* Yung Chil HAH and Soon Woo HONG

(Dept. of Microbiology, Seoul Natl. Univ. and *Dept. of Biology, Dong-A Univ.)

ABSTRACT

The distribution and annual variation of detergent-degrading bacteria which were isolated from the Han River downstream running through the center of Seoul area were studied.

The concentration of dissolved detergent was the lowest, 2.16ppm at site 1 and it was gradually increased to downstream, the highest, 2.67ppm at site 4.

Population density of detergent-degrading bacteria was about $10^2 \sim 10^3$ cells/ml. The density of LAS-degrading bacteria was 1.1~1.8 times larger than that of SDBS-degrading bacteria. In annual variation the lowest density was appeared on January and the highest on July.

In seasonal distribution of LAS-degrading bacteria, annual dominant group was genus *Pseudomonas*. There were few except genus *Pseudomonas* in winter and the subdominant group in spring and summer was genus *Aeromonas* and *Enterobacteriaceae* respectively. In autumn genus *Pseudomonas*, *Aeromonas* and *Enterobacteriaceae* were equally distributed. In SDBS-degrading bacteria, the annual dominant group was also genus *Pseudomonas*.

緒 論

Alkyl Benzene Sulfonate(ABS)는 家庭 및 工場에서 세탁이나 세척의 용도로 사용되는 洗劑의 중요한 原料로 쓰인다. 이것은 일종의 석유 산업산물인 tetrapropylene으로부터 얻어지는데 平均 12개의 탄소를 가지는 側鎖가 매우 다양한 isomers와 homologs가 섞여 있는 화합물이다. 이것이 水質汚染에 있어 問題가 되고 있는 것은 下水나 河川水 中에서 水中細菌에 의한 分解능력이 저조하여 상당기간을 下水나 河川水에 잔류하게 되기 때문이다(Payne, 1963; Willets,

1972). 한편 ABS의 잔류분은 淨水過程 中에도 1ppm 以上이면 심한 發泡性을 나타내어 병원균을 전파시키는 등의 環境汚染을 야기시키며, 流水에 있어서는 산소흡수율을 저하시켜 湖沼나 江의 自淨作用을 방해한다(Cain, 1977). 이와 같은 여러 문제점들은 서울시민의 젖줄기인 漢江에서도 이미 오래전부터 問題가 되어왔다(김, 1976; 홍 등, 1981). 정부에서는 1980년 8월 이러한 難分解性的 ABS를 分解가 容易한 軟性洗劑(Linear Alkyl Benzene Sulfonate=LAS)로 일부 전환토록 하였다. 그러나 아직도 완전한 전환은 이루어지지 않고 일부 家庭用 洗劑類만이 LAS로 대체되었을 뿐이다.

따라서 合成洗劑에 의한 漢江 汚染의 進行程度와 이들 合成洗劑의 分解에 關係하는 微生物群에 대하여 考察해 보고자 몇 가지 실험을 수행하였다. 본 보고서는 앞서의 보고(배 등, 1982)에 이어 漢江本流의 合成洗劑에 대한 汚染度 測定 및 合成洗劑 分解能를 갖는 細菌의 總菌體數, 合成洗劑 分解細菌의 分離·同定の 結果를 토대로 이들 菌種의 계절적 분포 특성을 고찰한 것이다.

材料 및 方法

試料採取와 分離·同定은 앞서의 보고(배 등, 1982)에서와 같은 方法으로 進行하였다.

1. 合成洗劑의 溶存量 測定

Hayaishi 方法(Hayaishi, 1975)을 사용하였다.

채취한 試料를 4°C에서 10,000rpm으로 10분간 원심분리하여 그 상층액 2ml과 methylene blue 용액* 1ml을 첨가하여 잘 섞은 뒤 chloroform 6ml을 첨가하고 격렬하게 흔들어 주었다. 수용액층과 chloroform층은 4°C에서 2,000rpm으로 3분간 원심분리하여 試料가 상층으로 돌아올 때까지 10분 정도 실온에서 방치하였다. 그리고 나서 수용액층을 제거하고 chloroform층을 655nm에서 分光光度計(Gilford, U.S.A.)를 사용하여 흡광도를 測定한 다음, 보정곡선에 의거하여 試料 中の 合成洗劑의 溶存量을 ppm단위로 환산하였다.

*Methylene blue 용액의 製造

Methylene blue stock solution으로는 methylene blue (Wako pure chemicals industries, LTD.) 0.5% 水溶液을 빛이 차단된 용기에 준비하였다. 洗劑定量 때에는 이 용액을 pH7.2의 0.7mM 나트륨-인산 완충용액으로 100배 희석하여 사용하였다.

2. 合成洗劑 分解細菌의 菌體數 測定

試料는 시험관 벽에 부착되어 있는 菌體數를 줄이기 위하여 Vortex homogenizer(Corning, U.S.A.)를 사용하여 低速으로 1분간 잘 섞은 후, 10^{-1} , 10^{-2} 으로 연속희석하였다. 試料原液과 10^{-1} , 10^{-2} 희석액에서 試料를 취하여 LAS와 SDBS를 유일한 탄소원으로 가지는 한천배지에 각각 3장씩 접종하였다. 25°C에서 일주일 배양한 후 평

관계수법으로 colony forming unit(C.F.U.)를 정하였다.

사용한 最小培地の 造成 및 LAS, SDBS는 앞서의 보고(배 등, 1982)와 같다.

結果 및 考察

1. 合成洗劑의 溶存量

각 조사지점에서 年中 溶存量의 변화는 1.38~2.95ppm의 범주에 속하였으며 전반적으로 2.5ppm 정도의 비슷한 分布를 보였다. Fig.1과 Fig.2는 각 지점의 合成洗劑 溶存量의 월별 변화와 계절별 평균값의 변화, 연평균값을 보인 것이다. 계절별로 봄철과 여름철에 더 높은 값을 나타냈다. 연평균값은 제1지점인 천호대교 부근이 2.16ppm으로 가장 낮았고 下流로 내려오면서 2.41ppm, 2.62ppm으로 약간씩 증가하였으며 제4지점인 성산대교 부근에서는 2.67ppm으로 가장 높았다.

이 結果에 따르면 漢江 전체가 合成洗劑에 상

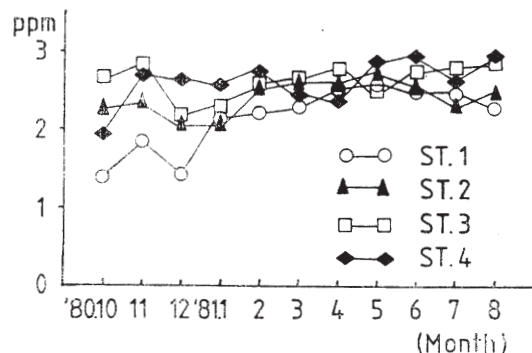


Fig. 1. Monthly variations of dissolved detergent at each site

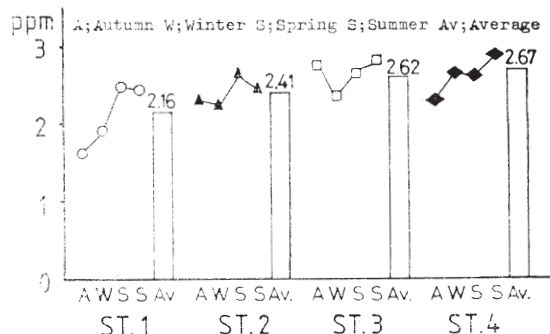


Fig. 2. Seasonal variations of dissolved detergent at each site

당히 汚染되어 상수도원으로 쓰일 수 있는 한계 값인 0.5ppm 수준(USPHS, revised 1962)을 훨씬 넘어서고 있어, 漢江本流는 이미 상수원으로는 부적합함을 알 수 있다. 비교적 上流地域인 천호대교 부근은 오염도가 약간 낮은 편이나, 제 2지점인 제 3한강교 부근에서는 溶存量이 증가되는데 이는 공장 및 주택밀집지대를 지나는 중량천, 청계천 등을 통한 공장폐수 및 家庭下水의 流入때문인 것으로 생각된다. 이러한 이유는 아파트 밀집지대를 통과하는 반포천이 流入되는 인도교 부근의 높은 溶存量도 說明해 주며 성산대교 부근의 가장 심한 汚染度는 이와 같은 支川流入의 축적된 結果라 생각된다.

한편 Fig.2의 계절별 변화를 보면, 세척·세탁 등의 일상생활량이 전반적으로 줄어드는 가을·겨울철에는 溶存量이 감소되었다가 봄철이 되면서 급격히 증가한다. 이것은 일상생활량이 늘어날 뿐만 아니라 이때가 갈수기인 관계로 水量이 줄어든 것도 또 하나의 이유라고 생각된다. 여름철에 비교적 낮은 값을 보이는 것은 地域別環境 탓도 있겠지만 試料採取 時期가 장마철인 고로 계속되는 강우와 이로 인한 上流地域의 방류수(예: 팔당댐)로 각 支川에서 流入된 汚수가 희석되었기 때문이라 생각된다.

漢江의 合成洗劑 溶存量에 대한 김(1976)의 보고에 따르면 1976年の 용존량은 漢江本流地域에서 1ppm 미만이었지만, 本實驗에 의하면 平均 2.5ppm으로 그 汚染度가 近來 5년 사이에 극심해졌음을 알 수 있다.

2. 合成洗劑 分解細菌의 菌體數의 年中變化

유일한 탄소원으로 軟性形인 LAS를 첨가한 경우와 硬性形인 SDBS를 첨가한 경우 이를 분해하는 菌體數의 年中變化를 Fig.3과 Fig.4에 보였다. 試料 中の 合成洗劑 分解細菌의 平均체수(Fig.5)는 $10^2 \sim 10^3$ cells/ml 정도로 分布하고 있으며, 연성형인 LAS를 分解할 수 있는 균체수가 경성형인 SDBS를 分解할 수 있는 균체수에 비해 각 지점별로 1.1~1.8배 가량 많았다. 이는 SDBS의 경우, 많은 側鎖를 가지는 구조상의 특징때문에 이를 공격하여 分解할 수 있는 菌種이 적기 때문인 것으로 생각된다.

LAS와 SDBS 分解細菌의 年中變化를 보면 4지점 平均 6.3×10^2 , 1.5×10^2 cells/ml로 1월에

가장 적은 균체수를 나타냈고 7月에는 4.3×10^3 , 4.0×10^3 cells/ml로 가장 많은 分布를 보였다. 이는 表層水를 試料로 사용하였기 때문에 表層

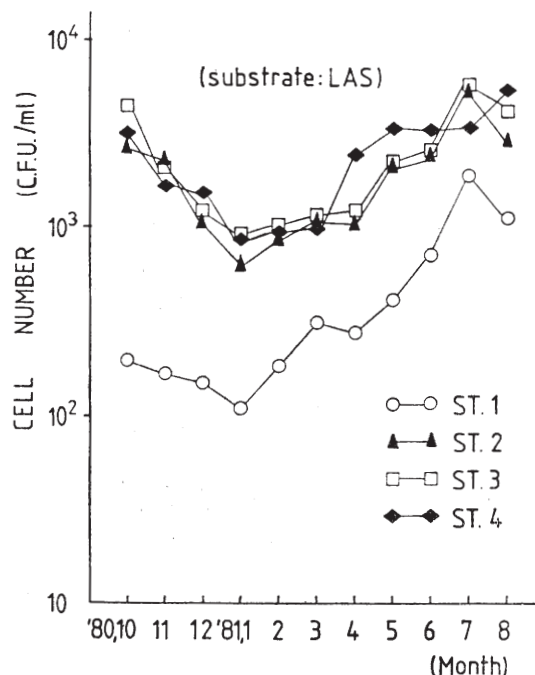


Fig. 3. Monthly variations of population size of LAS-degrading bacteria

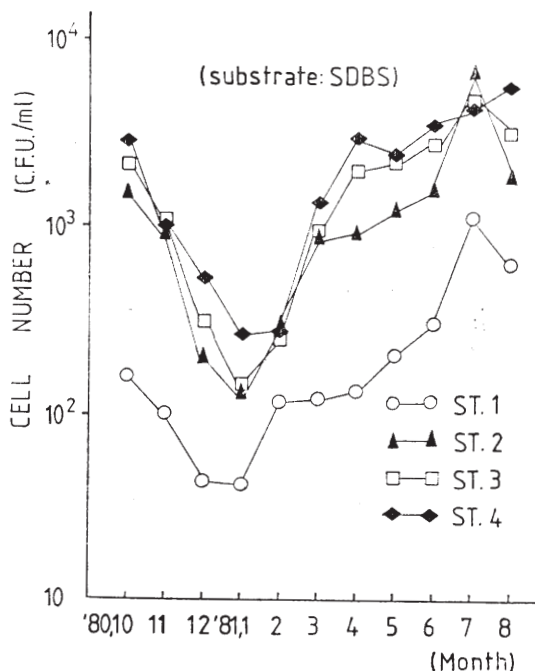


Fig. 4. Monthly variations of population size of SDBS-degrading bacteria

水の溫度가 0.3°C까지 내려가는 1월에는 低溫에 耐性이 있는 菌體들만이 生存할 수 있으므로 菌體수가 줄어들고, 7월의 경우는 表層水의 溫度가 25°C 부근으로 상승하며 家庭下水 등에서 流入되는 여러 유기화합물의 양의 증가로 여러 細菌의 生長에 적합한 環境이 造成되어 많은 菌株들이 번식하기 때문인 것으로 생각된다.

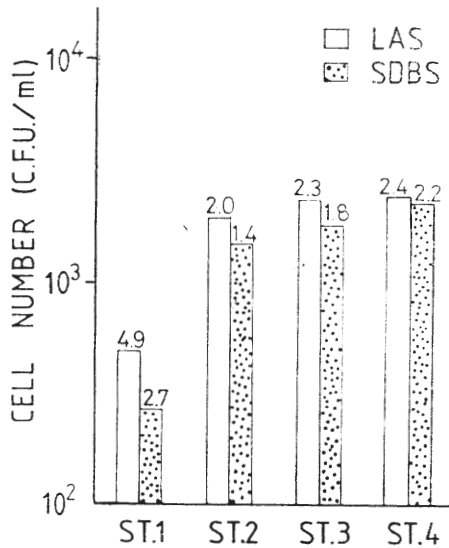


Fig. 5. Annual mean values of detergent-degrading bacteria at each site

地域別로는 천호대교 부근이 LAS와 SDBS 分解細菌이 각각 4.9×10^2 , 2.7×10^2 cells/ml로 약 2.0×10^3 cells/ml 수준인 下流地域보다 菌體수가

월등히 적었다. 이러한 結果는 Fig.1에서 보이듯이 탄소원으로 사용될 수 있는 合成洗劑의 양이 下流地域에서 늘어나기 때문도 한 이유가 되겠지만 제 3한강교 부근에서부터 流入되는 여러 支川의 家庭下水 및 工場廢水에 함유되어 있는 糞便세균과 多量の 유기물에 의해 菌體수가 증가되기 때문이라 생각된다(홍 등, 1981).

3. 合成洗劑 分解細菌의 季節別 分布

앞서의 보고(배 등, 1982)에서 매월 각 지점별로 분리한 合成洗劑 分解細菌을 同定하였다. 이 結果를 季節別로 정리하여 Fig.6와 Fig.7에 나타내었다. LAS分解細菌의 경우, 가을에는 천호대교 부근의 제 1지점에서 *Pseudomonas*속과 *Enterobacteriaceae*가 전체의 74%로 分解細菌의 主種을 이루고 있으나 제 3한강교 부근의 제 2지점에서는 *Pseudomonas* 속의 점유율이 24%로 낮아지는 반면 *Enterobacteriaceae*의 점유율이 48%로 급증하며 種類도 다양해진다. 인도교 부근의 제 3지점에서도 계속 *Pseudomonas* 속의 점유율이 낮아지며 *Enterobacteriaceae*와 *Aeromonas* 속의 점유율이 늘어나며, 가장 下流地域으로 支川의 流入이 없는 성산대교 부근의 제 4지점에서는 *Pseudomonas* 속이 약간 증가되어 *Enterobacteriaceae*와 *Aeromonas* 속의 3 세균군이 약 30%씩 서로 비슷한 점유율을 보이고 있다. 이러한 분포현상은 제 2지점 직전에서 중량천, 청계천을 통해 都市下水가 많이 流入되므로

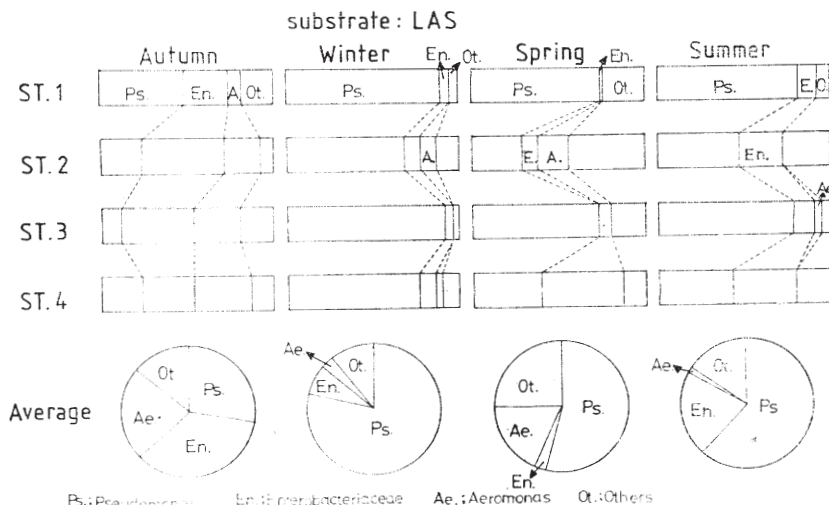


Fig. 6. Seasonal distributions of LAS-degrading bacteria

合成洗劑 分解細菌群에서의 *Enterobacteriaceae* 및 *Aeromonas* 속의 상대적인 중요도가 증가되어 *Pseudomonas* 속의 점유율이 낮아지는 것으로 생각된다. 이런 현상은 제 3 지점에서조차 마찬가지로 설명될 수 있으며, 제 4 지점의 分布현상

支川을 통한 *Enterobacteriaceae*의 流入이 증가될 뿐만 아니라 溫度 역시 이들의 生長에 적합하여 *Enterobacteriaceae*의 菌체수가 급증하므로 合成洗劑 分解細菌群에 있어서의 상대적인 점유율이 높아지는 것으로 보여진다.

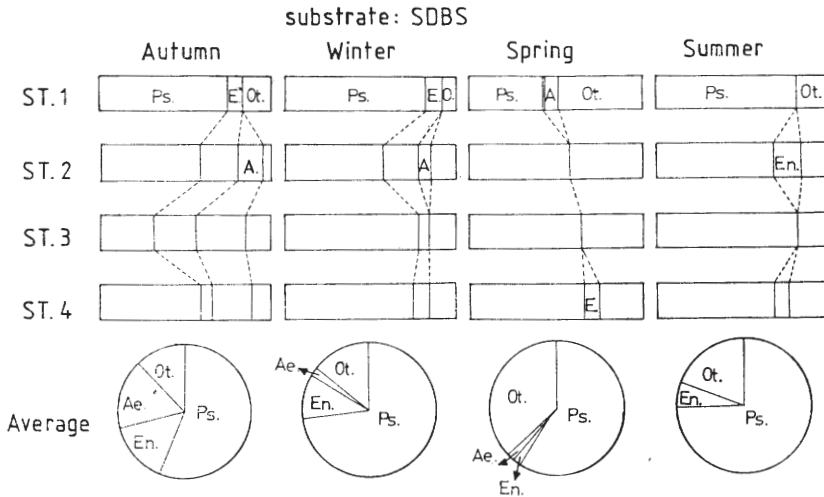


Fig. 7. Seasonal distributions of SDBS-degrading bacteria.

은 支川流入 등의 외부 압력이 作用하지 않으므로 이들 合成洗劑 分解細菌群의 여러 菌種의 分布가 평형을 이루고 있는 것으로 생각된다.

겨울철에는 각 지점에서 모두 *Pseudomonas*속이 80% 정도로 主種을 이루고 있으며 *Enterobacteriaceae* 및 *Aeromonas* 속은 그 점유율이 낮다. 이는 겨울철 漢江 表層水의 平均 溫度가 0~2°C이므로(홍 등, 1981) *Enterobacteriaceae* 및 *Aeromonas* 속의 生長에 溫度가 制限요인으로 作用하기 때문인 것으로 여겨지며, 또한 主種을 이루고 있는 *Pseudomonas* 속 中에서도 4°C에서 生長을 보이는 *P. fluorescens*, *P. putida* 등이 80% 이상을 차지하고 있었다. 겨울철의 이러한 분포현상은 溫度가 制限요인으로 作用하여 低溫에 耐性이 강한 菌種들이 우세하게 나타나기 때문이라 생각된다.

봄철의 경우는 *Enterobacteriaceae*의 증가보다 *Aeromonas* 속의 증가가 우세한데 이는 *Aeromonas* 속의 최적 生長온도가 *Enterobacteriaceae*의 경우보다 더 낮으므로 이들이 우선적으로 증가한다고 생각된다.

여름철에는 *Enterobacteriaceae*가 전반적으로 증가되고 있다. 이런 까닭은 인간활동의 증대로

이와 같은 계절별 분포현상은 溫度에 의한 영향으로 說明할 수 있는데 겨울철 表層水의 낮은 溫度가 合成洗劑 分解細菌群의 菌종을 制限하고 있으며 봄철과 여름철의 *Aeromonas*속 및 *Enterobacteriaceae*의 선택적인 급증 역시 이들 菌種의 生長溫度에 따른 선택성때문인 것으로 생각된다. 따라서 가을철의 *Pseudomonas* 속, *Aeromonas* 속, *Enterobacteriaceae*의 3 細菌群의 均衡한 分布는 LAS 分解細菌群에 있어서의 평형 상태로 漢江의 LAS 分解細菌群의 生態系에 있어 가장 分解가 잘되는 상태라고 여겨진다.

한편 많은 측쇄를 가지고 있어 일반적으로 分解가 잘 안되는 SDBS 分解細菌의 季節別 分布를 보면(Fig.6), *Pseudomonas* 속이 60% 이상으로 主種을 이루는데 이는 LAS 分解細菌의 分布와 거의 비슷하나 *Enterobacteriaceae* 및 *Aeromonas* 속의 점유율이 낮은 것이 특징이다.

가을철의 경우는 LAS 分解細菌에서와 마찬가지로 제 2 지점에서부터 *Enterobacteriaceae* 및 *Aeromonas* 속의 流入이 많으므로 상대적인 중요도가 늘어나 이들의 점유율이 높아지지만 分解가 어려우므로 큰 비중을 차지하지는 못한다. 겨울철에는 LAS에서와 거의 같은 分布를 보이

며 分解에 있어 *Acinetobacter* 속이 다소 큰 비중을 보이고 있다. 봄철의 경우는 *Enterobacteriaceae*가 거의 分解에 참여하지 않는 반면 기타 細菌群에서 *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Flavobacterium* 속 및 CDC group이 약 35%의 점유율을 보이고 있다. 여름철이 되면서 *Enterobacteriaceae*의 流入이 증가됨에 따라 제 2 지점에서 이들이 약간 나타나지만 그리 큰 점유율은 나타내지 않으며 기타 細菌群에서도 *Achromobacter* 속과 *Pasteurella* 속만이 어느 정도의 점유율을 나타내고 있을 뿐이다.

이와 같은 분포현상은 漢江本流를 전체적으로 볼 때, LAS 分解細菌과 마찬가지로 年中 *Pseudomonas* 속이 우점종이었으나 *Enterobacteria-*

ceae 및 *Aeromonas* 속은 그 점유율이 LAS 分解 細菌群에 비해 높지 않았다. 또한 겨울과 여름철에는 *Pseudomonas* 속이 75% 이상으로 대부분을 차지했던 반면 봄철에는 기타 細菌群의 점유율이 높아져 이들이 SDBS의 분해에서 다소 큰 비중을 차지하였다. 그러나 가을철에는 *Pseudomonas* 속이 55%로 역시 우점종이었고 *Enterobacteriaceae*, *Aeromonas* 속, 기타 細菌群의 3 細菌群이 균등한 점유율을 보였다. 이것은 SDBS의 구조에 側鎖가 많이 있어서 이를 分解할 수 있는 균종이 적기 때문에 봄·여름철에 *Enterobacteriaceae* 및 *Aeromonas* 속이 많이 流入됨에도 불구하고 큰 점유율을 보이지 못하는 것으로 생각된다.

摘 要

서울시를 흐르는 漢江의 本流 中 4개 지점을 선정하여 약 1년에 걸쳐 매월 시료를 채취, 合成洗劑 分解細菌에 대해서 研究하였다.

試料 中の 合成洗劑 溶存量은 제 1 지점에서 2.16ppm으로 가장 낮았고 下流로 갈수록 약간씩 증가하여 제 4 지점에서 2.67ppm으로 가장 높았다.

분해능을 갖는 세균의 총균체수는 $10^2 \sim 10^3$ cells/ml로 LAS 分解細菌의 균체수가 SDBS 分解細菌의 균체수보다 1.1~1.8배 가량 많았다. 年中變化는 1월에 가장 적은 균체수를 나타내었고 7월에 가장 많은 균체수를 보였다. 한편 지역별로는, 제 1 지점에서의 LAS 및 SDBS 分解細菌의 균체수가 각각 4.9×10^2 , 2.7×10^2 cells/ml이었고 下流로 갈수록 증가하여 제 4 지점에서는 2.4×10^3 , 2.3×10^3 cells/ml이었다.

分解細菌의 季節別 分布는 LAS를 유일한 탄소원으로 주었을 때는 1년을 통해 *Pseudomonas*속이 主種이었고 겨울철에는 *Enterobacteriaceae*, *Aeromonas*속, 기타 細菌群이 약간만 나타나는데 반해 봄철에는 *Aeromonas*속이, 여름철에는 *Enterobacteriaceae*가 급증하여 가을철에는 *Pseudomonas*속과 *Aeromonas*속, *Enterobacteriaceae*가 균등한 분포를 보였다.

SDBS를 유일한 탄소원으로 하였을 때도 역시 1년을 통해 *Pseudomonas*속이 主種이었고 봄철에는 기타 細菌群이 증가하여 分解에 있어 준우점종을 이루었으며 여름철에 *Enterobacteriaceae*가 약간 늘어나 가을철에는 *Enterobacteriaceae*, *Aeromonas*속, 기타 細菌群이 서로 비슷한 점유율을 보였다.

引用文獻

1. Bae, K.S., Y.C. Hah, and S.W. Hong, 1982. Isolation and identification of detergent degrading bacteria in the Han River downstream. *Kor. J. Microbiol.* 20(2), 98~104.
2. Cain, R.B., 1977. Surfactant biodegradation in waste water in Treatment of industrial effluents. ed. by A.G. Calley, C.F. Forster, and D. A. Stafford. Hodder and Strughton, London.
3. Hayaishi, K., 1975. A rapid determination of sodium dodecyl sulfate with methylene blue. *Analy. Biochem.* 67, 503~506.
4. Hong, S.W., et al., 1981. The study on the distribution of enteric bacteria and coliphages as biological indicators of pollution in the Han River. Research Ins. Basic Sci., S.N.U.
5. Kim, S.J., 1976. Study on ABS contamination of the Han River in summer. M.S. Thesis, Seoul National University, Korea.
6. Payne, W.J., 1963. Pure culture studies of the degradation of detergent compounds. *Biotech. Bioeng.* 5, 355~360.
7. United States Public Health Service, 1962. Drinking water standards, PHS Publication No. 956, US Government Printing Office, Washington, D.C. 22~25.
8. Willetts, A.J., 1972. Microbial aspects of detergent biodegradation in the environment. *J. Appl. Chem. Biotechnol.* 22, 879~892.