

합성세제의 환경성 평가

배 재근

(서울산업대학교)

1. 서론

산업의 발달과 생산기술의 향상으로 인하여 다양한 종류의 생활용품들이 생산되고 있으며, 그 중에서도 합성세제는 인간 생활과 가장 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 청결한 생활을 영위하기 위해서는 필수 불가결한 것이다. 인류는 신체와 의복, 주거환경을 청결하게 유지하여 건강한 생활을 영위하기 위한 노력을 해왔고, 이에 따라 다양한 합성세제가 개발되어, 다양한 제품의 형태로 사용되고 있다. 이러한 합성세제의 사용으로 환경에 미치는 영향에 대한 논란이 계속 되면서 환경오염에 기여도가 낮은 저공해세제 개발의 동기가 되기도 하였다.

대표적인 예로 2차 세계대전 당시에 개발되어 세정력에 탁월한 효과를 보였던 ABS도 자연에서 분해력이 문제가 되어 생분해성이 우수한 LAS로 대체되었으며, 빌더로 사용되었던 인산염이 부영양화가 문제되어 제올라이트(Zeolite)로 대체되기도 하였다. 외국에서는 환경성과 관련된 연구 결과가 축적되어 있고 지속적인 연구가 진행되고 있으나 우리나라의 경우는 매우 미흡하여 환경성에 대한 논란도 비등한 실정이다.

이에 따라 우리나라에서 생산되고 있는 합성세제가 환경에 미치는 영향에 대하여 종합적으로 조사검토하기 위하여 다음과 같은 내용에 대하여 조사하였으며 조사방법은 국내외 관련문헌과 자료를 종합분석하고 필요한 부분에 대하여는 실험을 통해 확인하였다. 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 표본 하천에서의 합성세제 및 합성세제와 관련성이 큰 오염지표에 대한 수질현황과 부하량을 조사하고 실제하천에 있어서 오염에 대한 합성세제의 점유비율을 비교 검토
- 2) 쌀뜨물, 밀가루, 폐식용유로 제조된 재생비누 등 세제대체물질과 합성세제의 오염부하량을 비교하고 재생비누 사용시의 문제점에 대해 조사
- 3) 제안된 생분해 측정방법과 합성세제의 측정방법에 대하여 비교 검토한 후, 국내에서 생산되는 합성세제의 생분해도 측정

2. 하천에서 음이온 계면활성제의 분포

2.1 한강

<표 1>~<표 4>는 1993년도 한강의 8개 지점에서 계절별 수질오염도를 나타낸 것으로 1993년도 환경연감을 참조하여 정리한 것이다.

수질오염 항목별로 살펴보면 pH는 계절별에 상관없이 대체로 수질환경기준인 6.5~8.5 범위에 포함되는 7 전후의 중성상태를 나타냈다. DO는 3월(8.0~11.8 mg/l)과 6월(6.3~10.0 mg/l)에는 지점별로 농도 차이가 적은 반면에 9월(3.3~9.1 mg/l)과 12월(1.9~10.3 mg/l)에는 지점별의 농도차가 컸다. 한강 본류구간의 DO농도는 수질환경기준의 I~III등급 수준으로 대체로 양호하나 9월과 12월사이 가양과 행주지점에서 매우 낮은 DO농도를 보였다.

BOD의 경우는 계절별에 상관없이 수질환경기준의 II~III등급 수준이었으며, 특히 3월에 농도가 높았고, 우기가 시작되는 6월부터 점차 낮아지다가 12월에 다시 농도가 증가하는 경향을 보였다. 따라서 한강의 수질변화는 강우의 영향을 받고 있음을 보여주고 있다. SS는 대체적으로 수질환경기준인 25 mg/l 보다는 낮았으나 12월의 행주지점에서 34.0 mg/l 이라는 가장 높은 농도를 보인 때도 있었다.

Total-P와 Total-N은 계절별로 약간의 차이를 보이고 있는데 12월에는 다른 달보다 두 항목 다 높게 측정되었으며, 음이온 계면활성제의 경우에도 한강본류의 상류지점에서는 거의 검출되지 않는 반면에 하류지점인 가양 및 행주지점에서 적은 농도로 측정되었다. 그러나 음이온 계면활성제의 수질환경기준인 0.5 mg/l를 초과하는 지점은 없었다.

<표 1>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (환경처자료: 93년 3월).

River	Sam-pling Site	수온 (°C)	pH	DO (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Total-P (mg/l)	Total-N (mg/l)	음이온 계면활성제 (mg/l)
Han River	HR-1	4.0	7.6	11.8	14.0	4.2	2.3	0.066	2.089	0.000
	HR-2	4.0	7.5	11.6	8.0	4.3	2.3	0.063	1.935	0.000
	HR-3	4.0	7.3	11.6	6.8	4.9	3.7	0.111	3.273	0.064
	HR-4	4.0	7.7	11.4	10.4	5.7	3.9	0.115	3.266	0.046
	HR-5	6.0	7.6	11.3	7.4	5.7	4.5	0.167	4.094	0.054
	HR-6	4.0	7.4	11.3	12.0	6.2	5.4	0.205	4.416	0.025
	HR-7	7.0	7.6	9.3	8.2	7.8	6.0	0.219	4.315	0.046
	HR-8	4.0	7.2	8.0	12.0	8.2	7.4	0.231	4.486	0.128

(주) HR-1: 암사 HR-2: 구의 HR-3: 독도 HR-4: 보광
 HR-5: 노량진 HR-6: 영등포 HR-7: 가양 HR-8: 행주

<표 2>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (환경처자료: 93년 6월).

River	Sam-pling Site	수온 (℃)	pH	DO (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Total-P (mg/l)	Total-N (mg/l)	음이온 계면 활성제 (mg/l)
Han River	HR-1	17.0	7.8	9.4	5.6	1.9	1.5	0.042	2.102	0.000
	HR-2	17.0	7.7	9.8	6.0	1.6	1.5	0.049	1.975	0.000
	HR-3	18.0	7.8	10.0	8.0	1.8	1.6	0.047	2.156	0.051
	HR-4	19.0	7.4	7.4	10.0	4.3	3.0	0.327	3.215	0.029
	HR-5	18.0	7.6	8.9	9.3	3.3	2.4	0.094	1.227	0.064
	HR-6	18.0	7.5	8.6	12.4	4.1	3.1	0.135	2.755	0.024
	HR-7	19.0	7.4	7.1	11.7	4.7	3.5	0.128	1.907	0.000
	HR-8	19.0	7.4	6.3	20.8	6.2	5.4	0.165	4.278	0.133

<표 3>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (환경처자료: 93년 9월).

River	Sam-pling Site	수온 (℃)	pH	DO (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Total-P (mg/l)	Total-N (mg/l)	음이온 계면 활성제 (mg/l)
Han River	HR-1	24.0	7.7	8.5	12.0	2.1	1.4	0.060	1.009	0.000
	HR-2	24.0	7.7	8.5	12.0	2.1	1.5	0.045	0.928	0.000
	HR-3	25.0	7.6	9.1	13.0	2.2	1.6	0.077	1.116	0.000
	HR-4	25.0	7.5	7.4	10.2	5.4	3.7	0.343	3.094	0.000
	HR-5	25.0	7.4	6.3	8.7	3.2	2.1	0.165	2.647	0.000
	HR-6	25.0	7.4	5.8	14.8	1.8	1.6	0.126	1.854	0.000
	HR-7	25.0	7.3	3.3	14.1	3.7	2.8	0.215	4.024	0.020
	HR-8	26.0	7.2	4.6	18.6	3.8	2.9	0.137	3.124	0.020

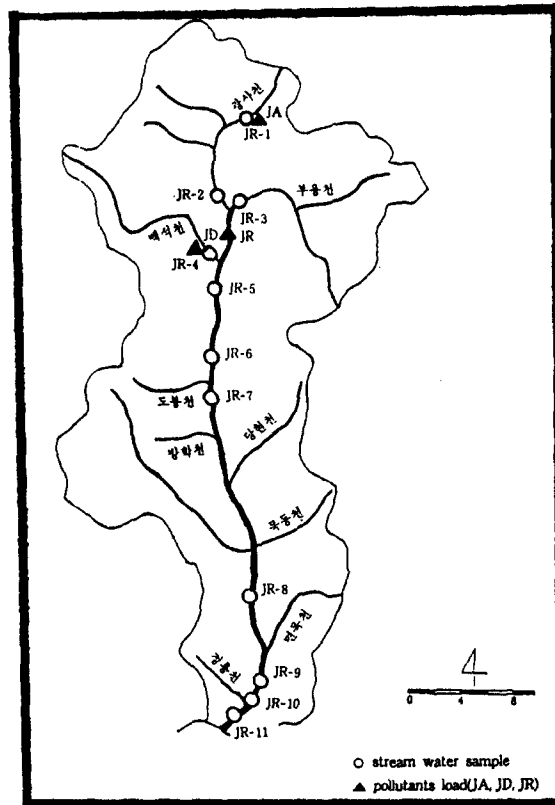
<표 4>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (환경처자료: 93년 12월).

River	Sam-pling Site	수온 (℃)	pH	DO (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Total-P (mg/l)	Total-N (mg/l)	음이온 계면 활성제 (mg/l)
Han River	HR-1	10.0	7.2	10.3	8.8	3.3	2.2	0.070	1.136	0.000
	HR-2	9.0	7.3	10.2	9.8	3.1	2.3	0.088	0.995	0.000
	HR-3	11.0	7.2	8.2	11.2	6.8	3.9	0.320	4.526	0.000
	HR-4	10.0	7.4	8.9	8.0	4.8	3.6	0.221	2.852	0.040
	HR-5	6.0	7.2	8.0	5.4	4.7	2.6	0.253	4.615	0.005
	HR-6	10.0	7.3	3.6	4.6	3.4	1.8	0.225	3.501	0.000
	HR-7	6.0	7.2	6.0	9.7	5.4	3.2	0.303	5.223	0.070
	HR-8	10.0	7.5	1.9	34.0	5.9	5.7	0.393	5.620	0.080

2.2 중랑천

본 연구를 위해 중랑천에서 1993년 4월~1994년 1월까지 수질오염도를 직접 측정조사한 결과, 예년에 비해서 상당히 수질 상태가 개선되고 있음을 알 수 있었다(<표 5>~<표 8>). 본 조사는 환경오염공정 시험법에 의거하여 실험하였다. 중랑천의 경우, 상류지역을 제외하고는 거의 모든 하수구가 분류하수관거로 되어 있으며, 이전에는 의정부 하수처리장의 수처리용량이 부족하여 일부의 하수를 미처리한 상태로 중랑천에 방류시켰으나, '92년에 의정부 하수처리장의 확장공사가 끝나 모든 하수를 처리할 수 있게 된 것이 수질개선에 큰 역할을 한 것으로 예상된다.

한편 이전에 중랑천에서 낚시를 한다는 것은 특별한 경우를 제외하고는 어려웠으나, 최근에는 석계역 부근과 중랑교 부근에서 낚시를 하는 사람들이 점차 증가하고 있으며, 실제로 붕어, 잉어, 금붕어 등의 물고기들이 잡히고 있어 수질의 개선이 진행되면서 어종이 증가하고 있는 것으로 보이며, 상세한 분석결과는 다음의 각 그림과 표를 통하여 설명하기로 하겠다.



<그림 1>. 중랑천의 유역도 및 시료 채취 지점

<표 5>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (93년 4월 1일).

Stream	Sam-pling Site	수온 (°C)	pH	DO (mg/l)	Total Hardness (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Nitrogens (mg/l)			Phosp. (mg/l)		음이온 계면 활성제 (mg/l)
									NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Total P	PO ₄ -P	
Jung-ryang stream	JR-1	10.5	7.2	14.3	128	11.0	9.6	21.5	3.23	0.16	1.80	0.887	0.133	0.126
	JR-2	11.4	9.1	15.0	85	4.0	5.0	11.3	1.54	0.08	4.10	0.360	0.116	0.512
	JR-3	11.6	7.5	12.6	102	57.0	5.0	16.4	3.08	0.12	2.57	0.639	0.117	0.386
	JR-4	13.2	7.7	7.4	81	67.0	8.6	32.6	7.44	0.22	2.32	0.923	0.226	0.986
	JR-5	13.9	7.9	6.2	108	45.5	12.0	37.8	8.51	0.03	0.80	1.039	0.358	0.769
	JR-6	14.7	8.0	5.1	121	57.0	10.0	30.3	8.60	0.08	1.40	1.010	0.256	0.707
	JR-7	14.5	8.1	6.8	122	55.5	8.8	46.5	8.08	0.12	1.07	0.916	0.237	0.256
	JR-8	11.4	7.8	4.9	128	45.5	8.7	21.5	8.41	0.17	1.36	0.919	0.202	0.688
	JR-9	14.1	7.9	5.9	107	26.5	8.2	31.4	10.24	0.20	0.41	0.967	0.208	1.076
	JR-10	11.4	8.0	10.2	126	8.0	8.2	16.4	9.10	0.12	0.77	0.861	0.174	0.729
	JR-11	12.6	7.4	4.7	97	33.5	7.0	12.6	2.21	0.16	1.21	0.786	0.301	0.569
	평균	12.7	7.2	8.5	109.5	37.3	8.3	25.3	6.40	0.13	1.62	0.846	0.212	0.619

<표 6>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (93년 8월 1일).

Stream	Sam-pling Site	수온 (°C)	pH	DO (mg/l)	Total Hardness (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Nitrogens (mg/l)			Phosp. (mg/l)		음이온 계면 활성제 (mg/l)
									NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Total P	PO ₄ -P	
Jung-ryang stream	JR-1	21	7.4	6.9	87	14.0	2.6	13.3	0.91	0.60	2.24	0.199	0.420	0.672
	JR-2	23	7.5	5.7	20	12.0	3.0	7.2	2.83	0.70	2.40	0.220	0.240	1.275
	JR-3	21.4	7.3	6.6	19	4.0	3.2	8.5	0.61	0.56	2.72	0.144	0.256	0.792
	JR-4	21.8	7.6	4.5	61	12.0	4.6	14.5	2.15	0.88	1.36	0.213	0.287	1.758
	JR-5	22.7	7.5	4.7	34	6.0	4.8	13.3	3.37	1.06	1.56	0.489	0.356	3.154
	JR-6	22.8	7.6	3.6	34	42.0	5.4	20.5	3.01	1.24	1.80	0.422	0.322	1.516
	JR-7	23.3	7.7	4.0	41	42.0	4.6	9.7	2.93	1.17	2.08	0.388	0.342	0.792
	JR-8	22.7	7.8	5.0	114	64.0	4.4	3.6	3.23	1.27	1.80	0.294	0.245	0.672
	JR-9	22.3	7.9	5.5	49	18.0	4.0	9.7	1.96	1.13	2.24	0.302	0.356	0.491
	JR-10	22.9	7.6	5.1	39	8.0	3.6	7.2	3.55	1.73	3.00	0.260	0.210	2.180
	JR-11	23.4	7.5	3.3	41	38.0	6.5	12.1	4.88	1.09	2.50	0.655	0.488	1.758
	평균	22.5	7.6	5.0	49	23.6	4.2	10.9	2.68	1.04	2.15	0.326	0.320	1.369

<표 7>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (93년 10월 1일).

Stream	Sam-pling Site	수온 (°C)	pH	DO (mg/l)	Total Hard-ness (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Nitrogens (mg/l)			Phosp. (mg/l)		음이온 계면 활성제 (mg/l)
									NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Total P	PO ₄ -P	
Jung-ryang stream	JR-1	14.6	7.4	7.7	85	17.0	4.7	20.2	0.85	0.23	1.46	0.038	0.120	0.571
	JR-2	16.5	7.5	8.5	74	38.0	6.9	15.6	5.26	0.55	1.04	0.176	0.220	1.164
	JR-3	14.5	7.9	10.8	72	12.0	6.2	13.2	1.52	0.32	1.72	0.088	0.230	0.680
	JR-4	16.0	7.9	2.7	110	48.0	16.1	14.4	0.96	0.35	0.36	1.022	1.340	1.523
	JR-5	19.0	7.9	6.7	116	21.0	15.9	25.6	17.52	0.99	1.56	0.747	1.140	2.540
	JR-6	19.0	8.0	3.2	108	30.0	14.4	29.8	16.45	0.61	0.52	0.688	1.010	1.35
	JR-7	20.0	7.5	3.9	115	45.0	12.4	11.2	10.15	0.61	0.67	0.546	0.780	0.670
	JR-8	17.0	8.0	5.9	130	48.0	8.5	20.3	12.01	0.69	1.87	0.390	0.610	0.546
	JR-9	16.0	8.1	6.0	136	15.0	8.2	13.4	13.78	0.81	0.97	0.291	0.560	0.654
	JR-10	17.0	8.0	8.9	140	24.0	9.3	22.8	10.84	0.81	0.89	0.212	0.490	2.040
	JR-11	19.0	7.5	4.5	88	20.0	9.7	37.5	14.53	0.43	2.72	0.495	0.770	1.654
	평균	17.1	7.8	6.2	106.7	28.9	10.2	20.4	9.44	0.58	1.25	0.427	0.661	1.217

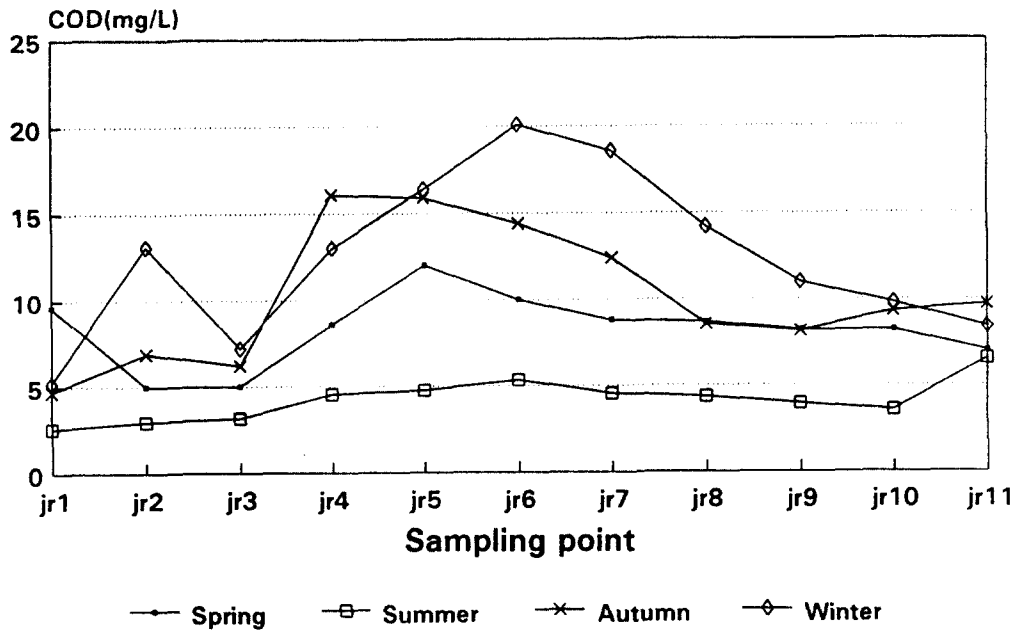
<표 8>. 조사지점별 수질 및 세제 성분 측정 결과 (94년 1월 1일).

Stream	Sam-pling Site	수온 (°C)	pH	DO (mg/l)	Total Hard-ness (mg/l)	SS (mg/l)	COD (Mn) (mg/l)	BOD (mg/l)	Nitrogens (mg/l)			Phosp. (mg/l)		음이온 계면 활성제 (mg/l)
									NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Total P	PO ₄ -P	
Jung-ryang stream	JR-1	2.4	7.8	2.2	78	6.0	5.2	20.3	0.91	0.07	1.06	0.076	0.133	0.325
	JR-2	1.9	7.3	1.9	94	10.0	13.1	14.2	1.81	0.13	1.41	0.216	0.192	0.624
	JR-3	1.1	7.4	1.2	91	8.0	7.1	12.2	1.80	0.13	1.27	0.126	0.178	0.496
	JR-4	3.6	7.3	1.8	68	26.0	13.0	22.3	8.19	0.41	0.85	0.676	0.503	0.879
	JR-5	6.6	7.4	2.1	107	42.0	16.4	14.2	18.11	0.24	4.50	1.019	0.761	0.964
	JR-6	7.1	7.5	1.7	110	24.0	20.1	24.3	14.13	0.24	0.95	0.792	0.331	0.845
	JR-7	6.3	7.8	1.6	138	64.0	18.6	10.2	9.99	0.21	1.14	0.689	0.550	0.342
	JR-8	4.5	7.6	1.6	129	4.0	14.2	15.2	13.52	0.37	1.14	0.573	0.464	0.597
	JR-9	3.3	7.8	1.7	141	2.0	11.0	15.6	11.19	0.29	0.96	0.433	0.603	0.842
	JR-10	3.1	7.6	1.7	144	2.0	9.8	18.3	12.19	0.29	0.90	0.457	0.437	0.679
	JR-11	7.0	7.4	2.6	92	10.0	8.4	8.4	16.8	0.73	0.90	0.679	0.841	0.459
	평균	4.3	7.5	1.8	108	18.0	12.4	15.9	9.88	0.28	1.37	0.521	0.454	0.641

가. COD 변화 추이

COD의 측정범위는 춘계인 4월이 5.0~12.0 mg/l, 하계인 8월이 2.9~6.5 mg/l, 추계인 10월이 4.7~16.1 mg/l, 동계인 1월이 5.2~20.1 mg/l로 각각 나타났다. 각 지점별로 살펴보면 상류의 JR-1지점은 낮게 나타났고, 중류의 JR-4, 5, 6지점은 타지점에 비하여 평균치가 높음을 알 수 있다. 이는 생활하수 및 공장폐수 등의 유입으로 인한 유기물 양의 증가에 영향을 받은 것으로 볼 수 있다. COD가 중류에서 급증하였다가 하류로 갈수록 점차 감소되는 경향을 보인 것은 JR-8지점에 수중보의 설치와 분리하수관의 설치로 하수처리장의 정화처리가 이루어져 가정하수의 직접적인 유입이 감소되기 때문으로 볼 수 있다. 하계의 COD측정값이 낮은 것은 여름철 강우량의 증가로 인한 희석의 영향으로 사료된다.

환경처의 '92년 조사(성동교)에 따르면 COD는 15.9 mg/l 로 '85년에는 40.3 mg/l, '88년에는 27.1 mg/l 등으로 중랑천의 수질이 점차 향상되고 있음을 알 수 있으며, 1989년 홍 등이 조사했을 때의 농도인 9.8~27.7 mg/l 보다도 현저하게 감소하였다(<그림 2>).

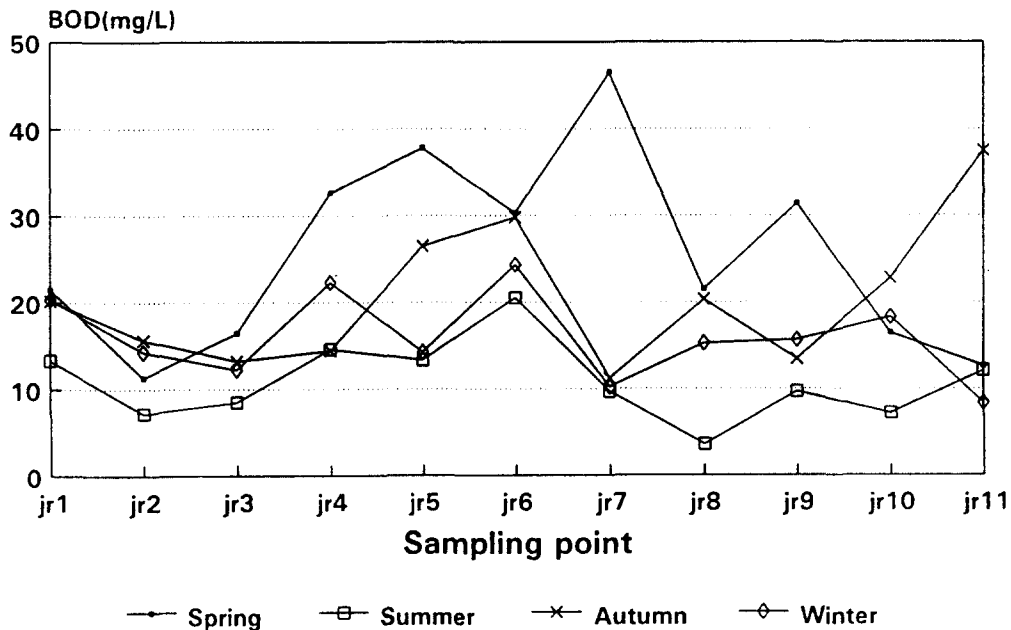


<그림 2>. 중랑천 조사지점의 계절별 평균 COD 변화.

나. BOD 변화 추이

춘계의 측정범위는 4월 11.3~46.5 mg/l, 하계의 측정범위는 8월 3.6~20.5 mg/l, 추계의 측정범위는 10월 11.2~37.5 mg/l, 동계의 측정범위는 1월 8.4~24.3 mg/l로 나타났으며, 계절별로 볼때 춘계의 평균 BOD농도가 25.3 mg/l로 가장 높게, 하계에 10.9mg/l로 가장 낮게 측정되었는데, 이는 하계 BOD측정치는 기온상승으로 유기물의 분해가 활발히 진행되어 낮아진 것으로 사료된다. 상류지역은 오염원의 유입저하로 BOD가 낮았으며, 중류지역은 백석천, 광사천의 폐하수 유입으로 BOD가 높았다. 하류지역은 추계에 조금 높았으나, 그 이외의 계절에는 유사함을 보였다. 하천의 수질환경기준은 생활환경 등급에 나타난 것으로 비교할 때 중랑천의 계절별 BOD농도는 매우 높게 나타나, 다만 하계의 지점에 따라 BOD농도가 적합성을 보인 곳을 제외하면 생활환경 구분에 적합하지 않은 것으로 판명되었다(〈그림 3〉).

본 조사결과는 홍 등(1989)이 조사했을때의 BOD농도인 20.5~41.4 mg/l과 '92년 환경처에서 측정조사한 38.9 mg/l 보다 낮게 조사되어 수질이 개선되고 있음을 보여주고 있다.



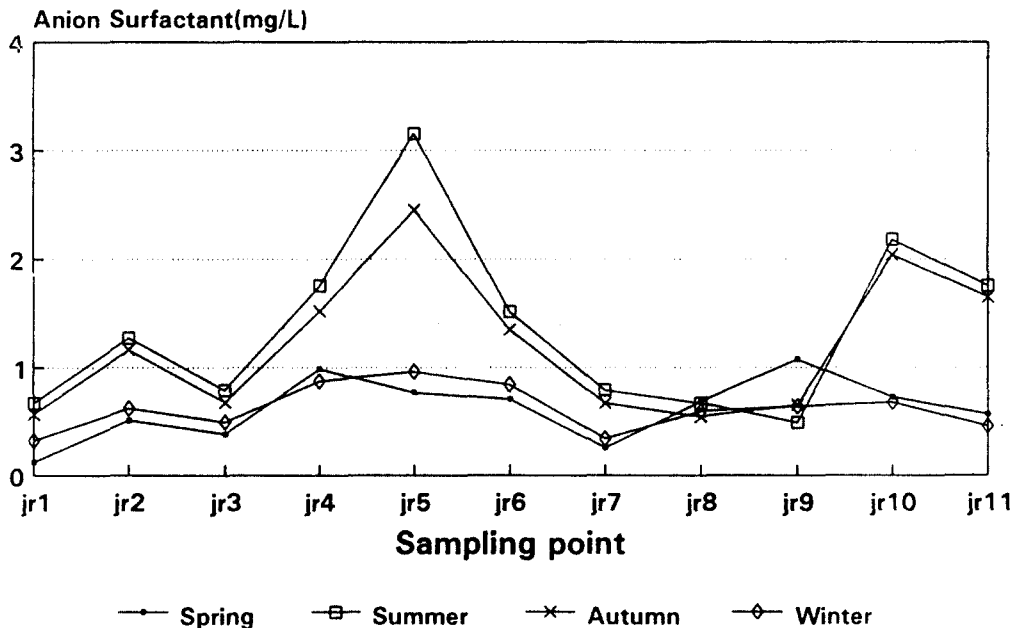
〈그림 3〉. 중랑천 조사지점의 계절별 평균 BOD 변화.

다. 음이온 계면활성제 변화 주이

음이온 계면활성제는 춘계에 0.126~1.076 mg/l, 하계에 0.491~3.154 mg/l, 추계에 0.546~2.540 mg/l, 동계에 0.342~0.964 mg/l로 각각의 계절별 농도분포를 보이고 있으며 평균농도를 보면, 하계에 1.369 mg/l로 가장 높고, 춘계에 0.169 mg/l로 가장 낮게 조사되었다.

각 지점별로 살펴보면 상류에서는 음이온 계면활성제의 농도가 거의 일정함을 볼 수 있고, 중류인 JR-4, 5, 6지점에서는 음이온 계면활성제의 농도가 높게 나타났다. 이는 하수종말처리장에서 방류되는 유입수의 영향을 받았기 때문으로 사료된다. 하류는 JR-11지점의 중랑천 하수종말처리장에서 유입되는 유입수의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 음이온 계면활성제의 하천 수질환경기준은 전수역에서 0.5 mg/l로서 사람의 건강보호 구분으로 정한다. 중랑천의 측정농도와 비교시 계절별 각 지점의 최저농도는 기준치와 유사함을 보이나, 춘계 및 동계에서 최고농도는 기준치에 비해 2배 가량 높음을 알 수 있고, 하계 추계에는 5배정도 높은 농도를 보였다.

홍 등(1989)의 조사에 따르면, 중랑천의 음이온 계면활성제 농도는 0.701~2.99 mg/l로 나타났으며, 환경처 환경연감에는 '92년에 0.352 mg/l로 조사되었다. 따라서 중랑천의 음이온 계면활성제의 농도변화는 본 조사 결과와 비교하여 볼때 전반적으로 낮은 평균치를 보여주고 있다. 이는 중랑천의 수질이 현저하게 향상하고 있음을 나타내나, 아직도 수질환경기준인 0.5 mg/l를 초과하는 곳이 다소 있어, 더욱 개선되어야 할 것으로 사료된다(그림 4).



<그림 4>. 중랑천 조사지점의 계절별 평균 음이온 계면활성제 변화.

2.3 옥천

옥천의 수질오염도는 1993년 2월부터 10월까지 3개 지점(W-1: 현저동, 무악동 새마을금고 옆 골목길, W-2: 용산전화국 건너편 도로에서 경부선철도 중간지점, W-3: 옥천 말구부.)을 대상으로 10월에는 시간별 변화를 보기 위해, 2월부터 8월까지는 일별 변화를 보기 위해 3차에 걸쳐 실시하였으며, 수질분석기준은 중랑천과 동일한 방법으로 하였고 수질분석항목은 수온을 포함한 6개 항목으로 하였다. 옥천의 경우에는 특히 음이온 계면활성제의 시간적 변화에 중점을 두고 검토하였다.

<표 9>은 옥천의 시간별 수질오염도 및 음이온 계면활성제의 농도를 나타낸 것으로 농도변화를 검토해보면, 측정 3개 지점에 대한 대부분의 결과가 가정의 생활시간과 밀접한 관계가 있음을 알 수가 있었다. 가정에서 합성세제를 가장 집중적으로 사용하는 시간대가 오전 9시~10시, 오후 6시~8시쯤임을 추정해 볼때, 측정된 결과는 이에 상응하는 정도의 오염농도를 보였다. 또한 BOD와 SS의 변화에 있어서도 이와 유사한 결과가 얻어져 일반적으로 가정에서 물의 사용량이 많은 시간대에서 수질오염도가 높음을 확인할 수 있었다. 그러나 수온과 pH는 대체적으로 일정한 변화를 보여주고 있다.

동일 시간대에 음이온 계면활성제의 지점별 농도분포를 보면 상류인 W-1, 중류인 W-2, 하류인 W-3에서 오전 10시대의 음이온 계면활성제 농도는 각각 6.8 mg/l, 5.2 mg/l, 3.6 mg/l 으로 하류로 내려갈수록 음이온 계면활성제의 농도가 저하되고 있었다. 이와는 반대로 오후 5시부터 6시사이 시간대의 상류부터 하류까지 음이온 계면활성제 농도는 2.6 mg/l, 3.7 mg/l, 10.2 mg/l 으로 점차 농도가 증가하였다. 이렇게 오전과 오후의 농도분포가 다른 것은 옥천지역의 가정에서 합성세제를 쓰는 시간대와 수질특성 및 생분해에 의한 자정작용으로 인해 나타난 것으로 사료된다. 시간에 따른 지점별 BOD, SS 및 음이온 계면활성제 농도변화는 역시 옥천 말구부인 W-3 지점에서 높게 나타났다.

<표 9>. 옥천의 시간별 수질오염도 변화.

측정 지점	측정 일시	수온 (°C)	pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	음이온계면활성제 (mg/l)
W - 1	10/27 09:52	15.5	7.3	27.7	21.8	6.8
		15.4	7.2	29.1	22.6	2.4
	17:51	15.3	7.1	14.1	11.5	2.6
		14.9	7.1	24.9	21.3	5.7
	10/28 01:55	14.8	7.1	13.6	9.2	1.7
W - 2	10/27 10:25	15.2	7.4	45.2	26.0	5.2
		15.7	7.5	25.2	21.9	2.8
	18:23	16.2	7.2	38.6	28.7	3.7
		14.6	7.1	45.0	31.6	9.2
	10/28 02:27	14.6	7.1	11.0	8.9	2.3
W - 3	10/27 10:13	15.5	7.4	115.4	71.6	3.6
		15.9	7.5	91.3	68.6	2.6
	18:14	15.0	7.4	93.2	67.9	10.2
		15.3	7.2	68.5	40.0	8.6
	10/28 02:10	13.5	7.3	22.8	14.2	2.8

※ W - 1: (현저) 현저동 무악동 새마을금고 옆 골목길
 W - 2: (용산) 용산전화국 건너편 도로에서 경부선철도 중간지점
 W - 3: (용산) 옥천 말구부

3. 하천에서의 합성세제의 점유비율

상기에서 서술한 각 하천에 있어서의 전체 오염도를 바탕으로, 이에 대한 합성세제의 점유비율을 계산할 수 있다. 즉 최근의 각종 연구결과 합성세제의 생분해가 가능한 것으로 보고되어 합성세제 성분이 BOD 및 COD내에 포함되어 측정될 것으로 추정되므로 이에 따라 합성세제의 점유비율을 예상할 수 있는데 아래와 같이 일본에서 연구보고된 자료를 참고로하여 한강 및 중랑천에 대한 합성세제의 점유비율을 추정하고자 한다.

I. 神奈川縣環境部 : 10 mg/l 의 LAS원료 용액은 BOD 0.5 mg/l, COD 2.5 mg/l, (1982) TOC 5.9 mg/l 으로 환산될 수 있음	
II. Berna 등(1992) :	$\frac{C \text{ in LAS}}{C \text{ in TOC}} = 3.8\% , \quad \frac{\text{Total C in LAS}}{\text{Total LAS}} = 61.8\% \text{ 로 환산됨}$

위의 방법에서 神奈川縣環境部는 LAS대 TOC 비율이 59%, Berna은 61.8%로 조사되어 두 연구결과에별 차이가 없어, 본 연구에서는 LAS농도를 대표적인 수질오염 지표인 BOD농도로 환산하여 환산된 BOD농도와 측정된 BOD농도를 가지고 한강 및 중랑천의 합성세제 점유비율을 구하였다. 여기에서 음이온 계면활성제의 농도는 모두 LAS로 가정하여 神奈川縣環境部の 계산법을 적용하였다.

3.1 한강

합성세제의 점유비율을 검토하기 위하여 한강유역에서 1992년 전체 평균 BOD농도, LAS를 BOD로 환산한 값과 음이온 계면활성제의 농도를 비교하여 보면 <표 10>와 같다.

<표 10>. 1992년도 한강의 각 지점에 있어서 평균 BOD값에 대한 음이온 계면활성제의 점유비율.

한강지점	구의	독도	보광	영등포	가양	행주
BOD (mg/l)	1.8	2.8	3.4	3.8	4.3	6.1
음이온계면활성제 (mg/l)	0.00	0.072	0.046	0.058	0.077	0.103
LAS를 BOD로 환산한 값(mg/l)	0.0000	0.0036	0.0023	0.0029	0.0039	0.0052
점유비율(%)	0.00	0.13	0.07	0.07	0.09	0.08

한강에 있어서 BOD값에 대하여 음이온 계면활성제가 차지하는 비율은 검출되는 지점에 따라 0.00~0.13%의 범위를 보이고 있다. 즉 이러한 점유비율에서 보는 바와 같이 전체 오염원에 대하여 계면활성제가 차지하는 오염부하는 극히 적은 값을 알 수 있다.

3.2 중랑천

상기 한강의 경우는 오염정도가 낮은 하천으로서, 오염의 정도가 대체로 높은 중랑천의 오염원에 대하여 합성세제의 점유비율을 검토하였다. 이에 대해 사용한 자료는 본 연구에서 측정 한 93년 4월의 중랑천 오염도 분석자료를 이용했다. BOD, 환산된 BOD, 및 음이온 계면활성제의 농도를 비교하여 합성세제의 점유비율을 나타내면 <표 11>와 같다.

<표 11>. 중랑천에 대한 음이온 계면활성제의 점유비율. (93년 4월 실측자료)

지 점	JR-1	JR-2	JR-3	JR-4	JR-5	JR-6	JR-7	JR-8	JR-9	JR-10	JR-11
구 분											
BOD (mg/l)	21.5	11.3	16.4	32.6	37.8	30.3	46.5	21.5	31.4	16.4	12.6
음이온 계면활성제	0.126	0.512	0.386	0.986	0.769	0.707	0.256	0.688	1.076	0.729	0.569
LAS를 BOD로 환산한 값 (mg/l)	0.0063	0.0256	0.0193	0.0493	0.0385	0.0354	0.0128	0.0344	0.0538	0.0365	0.0285
점유비율(%)	0.03	0.23	0.12	0.15	0.10	0.12	0.03	0.16	0.17	0.22	0.23

수질오염도가 한강보다 높은 중랑천에서는 BOD기준과 비교할 경우 음이온 계면활성제의 점유비율은 0.03~0.23%의 범위로 한강보다 높은 비율을 나타냈다. 이같은 결과는 오염도가 높은 하천의 경우 계면활성제의 농도가 높아 하천의 자정작용에 의한 생분해 속도가 일반유기물보다는 다소 늦어서 축적되기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 현상을 통해 보편적으로 하류로 갈수록 음이온 계면활성제의 점유비율이 높아지는 경향을 보일 것으로 예상할 수 있으며, 수질오염이 다소 높은 지천에서도 합성세제가 점유하는 비율은 매우 적다는 것을 볼 수 있었다.

4. 대체물질이 수환경에 미치는 영향

합성세제의 수환경에 미치는 영향은 크게 담수에 미치는 영향, 하천에 미치는 영향, 해역에 미치는 영향으로 분류할 수 있으며, 좁게는 우리의 생활환경과 밀접하게 관련이 있는 상수에 대한 영향, 하수에 대한 영향으로 분류할 수 있다.

인간의 생활활동에 의하여 배출되는 오수를 생활하수라고 하며, 가정하수, 가정폐수, 생활오수 등은 거의 같은 의미를 갖고 있다. 이를 더욱 확대하면 생활하수, 산업폐수, 농·축산폐수로 분류된다. 이러한 수환경중에서의 세제에 의한 오염이 최근에 문제를 야기하고 있어 합성세제를 생산하는 기업체에서는 환경보전을 고려한 제품생산에 전념하고 있다.

이러한 일련의 개발에 의하여 세제에 의한 환경오염은 많이 줄어들었으나, 아직까지도 많은 국민들은 불신감을 안고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 세제의 오염부하량을 구체적으로 검토하여, 세제가 환경오염에 미치는 영향을 조사할 필요성이 있다.

합성세제가 수질오염에 미치는 영향에 대한 체계적인 조사보고는 국내의 연구자료에서 거의 찾아보기 어렵다. 민간 환경단체들은 합성세제가 수환경에 미치는 영향이 크므로 합성세제의 사용을 억제하고 재생비누 혹은 밀가루, 쌀뜨물로 식기를 세척하자는 운동을 전개하고 있다. 이러한 운동들은 과학적인 검토없이 경험적인 자료에 근거하고 있기 때문에 많은 논란의 대상이 되고 있다.

가. 합성세제, 비누 및 음식류

1992년 우리나라의 하수처리인구는 전 인구의 33%이며, 합병처리 정화조에 의한 처리인구는 10% 정도로 추정되고 있기 때문에, 총 생활 잡배수처리 인구는 43% 정도로 추측된다. 그러므로 가정에서 사용하는 비누의 약 57%는 처리되지 않고 수환경중에 배출되고 있다고 추산할 수 있다. 즉 하수처리장이나 합병처리 정화조에서 계면활성제가 100% 제거된다고 하여도, 이들을 발생 부하량으로부터 단순계산하면 일반가정 및 병원, 학교, 상점 등으로부터 국민 1인당 매일 5g정도의 계면활성제 및 약 2g의 비누가 배출하게 된다. 또한 집단 주택가정으로부터 미처리된 잡배수 중의 계면활성제의 배출부하량을 조사하면 실제보다 약간 적은 값이 얻어지는 경우가 많이 있는데, 이것은 가정용으로 되어있는 세제중 일부가 업무용으로 사용되며, 배출후 조사지점까지의 배수로에서 흡착이나 미생물 분해를 받아서 감소하기 때문으로 추측할 수 있다.

현재 사용되는 합성세제와 비누의 성분을 약 10년전의 성분과 비교하여 보면, 비누의 경우에는 큰 변화가 없지만 합성세제는 무인화, 농축화가 이루어지는 등 큰 변화를 보였다. 일본에서 시판되어 이용되고 있는 합성세제와 비누의 오염부하단위를 비교하면 다음의 <표 12>와 같다.

<표 12>. 세제의 부하원단위.

세제명	합성세제	합성세제(농축형)	분말세제
BOD(mg/kg)	132,000	95,000	750,000

(자료: 松重一夫 등, 1990)

합성세제, 농축형 합성세제(이하 “농축합성세제”라 한다), 분말비누 시판품의 1kg당 유기오염부하량은 각각 BOD로 합성세제 132 g, 합성세제(농축형) 95 g, 분말비누 750 g 이다. 이들 세제를 이용하여 매일 1회 세탁을 한다고 가정할 때, 1회 표준사용량을 합성세제는 40 g, 농축합성세제는 25 g, 비누는 50 g(계면활성물질 함유율 70%이상의 경우)로 하면 각각의 1회 세탁당

BOD 부하량은 5.3 g, 2.4 g, 37.5 g 이 된다. 최근 들어 거의 대부분의 합성세제가 농축형 합성 세제로 전환되고 있는 추세에 비추어 볼 때 비누와 합성세제의 유기오염부하량을 비교하면 비누의 BOD부하량은 농축합성세제의 15.8배가 된다. 이러한 결과로부터 비누의 사용비율이 증가하면 환경에 대한 유기오염부하량은 극히 증가한다는 것을 알 수 있다(<표 13>).

<표 13>. 세제의 오염부하량(1회 세탁시).

(단위: g)

구 분	합성세제	농축합성세제	비누
1회 표준사용량	40	25	50
BOD부하량	5.3	2.4	37.5

(자료: 松重一夫 등, 1990)

일반적으로 식사를 준비하기 위하여 쌀을 3회정도 세척할 때에 쌀뜨물의 1 l당 평균 BOD가 2,400 ppm, 된장국이 37,000 ppm, 튀김기름이 1,400,000 ppm을 보이는 것에 비해 합성세제는 180 ppm, 비누는 1,250 ppm, 주방용 세제는 300 ppm, 샴푸는 300 ppm으로 합성세제가 가정에서 배출되는 생활하수에 대해 미치는 영향은 다른 음식물과 비교할 때 상당히 낮은 값을 보인다. 각 음식물에 사용하는 물의 양을 계산하여 최종적으로 배출되는 BOD를 추정해도 합성세제는 낮은 값을 보이고 있다. 이들에 대한 결과를 <표 14>에 요약하였다.

<표 14>. 음식류 및 세제가 BOD값에 미치는 영향.

항 목	BOD(mg/l)	추정배출량 (ml)	BOD 부하량 (g)
쌀세정물	2,400	4,500	10.8
된장국	37,000	180	6.7
큰크림스프	126,000	180	22.7
튀김기름	1,400,000	10	14.0
오뎅국	95,000	180	17.1
청국장	188,000	180	34.0
우유	83,000	180	14.9
합성세제 (1.3g/l)	180	30,000	5
비누 (1.7g/l)	1,250	30,000	38
접시세정용세제 (1.5ml/l)	300	3,000	1
샴푸 (1.5ml/l)	300	3,000	1

(자료: Yoshiaki Komeda, 1992)

한편, 비누에는 질소, 인과 같은 영양염류가 거의 포함되어 있지 않으나, 합성세제의 경우에는 폴리인산을 포함하는 유기인 합성세제가 부영양화 문제를 일으켜, 세제업계에서는 1988년부터 자체 규제에 의하여 세탁용 합성세제중 인 성분을 포함하지 않는 완전한 무인 합성세제를 개발하였다. 따라서 현재의 가정용 합성세제는 거의 무인화가 되었다. 합성세제중에 질소 성

분은 거의 포함되어 있지 않으나 농축화 지향으로 세정력을 높이기 위하여 단백질 분해효소, 지방 분해효소 등을 이용하나, 질소성분이 포함된 효소 안정화 성분을 제외하면 효소함량이 1% 내외로서 미생물의 질소원으로 작용할 수 있는 단백질의 함량은 거의 무시할 정도이다.

또한 유기물질, 질소, 인 부하 이외의 중요한 요인으로서 계면활성제의 질적, 양적파악이 필요하다. 특히 합성세제의 유기오염부하량이 비누에 비하여 적은 것은 사실이지만, 합성 계면활성물질이 포함되어 있기 때문에 그 생분해성을 높이는 것이 요구된다. 그러므로 오염부하량은 유기물질부하량, 질소와 인부하량, 계면활성물질 부하량과 생분해성의 상호관계를 통해 평가할 필요가 있다.

주방세제와 쌀뜨물의 오염부하량에 대한 연구조사를 하였는데 이를 살펴보면 <표 15>와 같다. 주방세제와 쌀뜨물의 BOD경우 쌀뜨물의 1차 세정시는 주방세제에 비해 40배, 4차 행균시의 평균에 비해 8배 정도 높고, 추정된 BOD양도 주방세제보다 매우 높은 것으로 보고되었다. 따라서 쌀뜨물은 주방세제에 비해 세정력은 낮으나 수질오염부하량은 오히려 높은 것으로 조사되어 향후 이에 대한 검토가 있어야 하겠다.

<표 15>. 주방세제, 쌀뜨물의 오염부하량.

구 분		쌀 뜨 물		주방세제(1.5ml/l)
		1차 세정	4차 평균	
오염부하량	BOD(mg/l)	12,000	2,400	300
	추정배출량(l)	500	3,500	3000
	추정BOD(kg)	6	8	0.9

(자료: Yoshiaki Komeda, 1992)

나. 재생비누(폐식용유 이용)

현재 국내의 일부 기업에서는 폐식용유를 이용하여 재생비누(정확한 생산량 추정 불가)를 생산하고 있는데 이들 기업에서 생산되는 재생비누는 주로 "검화법"을 이용하여 제조되고 있다. 검화법은 폐식용유와 수산화나트륨 수용액을 함께 끓여서 비누를 만드는 방법으로 "고급지방산과 글리세롤이 ester로 되어 있는 유지를 알칼리와 함께 가열하면 유지가 가수분해되어 지방산나트륨인 비누와 풍부한 글리세롤이 생성, 좋은 질의 비누를 만들 수 있다"는 특징을 지니고 있다고 한다. 또한 이들 기업들은 이렇게 만든 재생비누가 합성세제에 비해 인체에 안전하며, 무해하다고 말하고 있다.

그러나 지금까지 국내의 일부 기업에서 생산된 재생비누에 대한 공식기관의 환경성 및 안전성에 대한 조사와 평가는 전혀 없었으며, 이에 대한 어떠한 연구도 이루어지지 않고 있는 상태에서, 현재 일부에서 생산되고 있는 재생비누에 대해 어떠한 평가를 한다는 것은 무척 위험스러

운 일이라 하겠다. 하지만 일부 환경 및 시민단체에서는 “폐식용유로 만든 재생비누가 하천의 수질오염을 발생시키지 않고, 인체에 전혀 해롭지 않으며, 자원의 재이용면과 환경보호 측면에서 무척 유용하다”고 소비자에게 오도된 홍보를 전개하고 있는 실정이다.

폐식용유로 만든 비누의 성상 및 수생 생물에 미치는 영향 등과 같은 조사는 국내는 물론 외국에서도 아직까지 거의 연구된 바가 없어 폐식용유로 만든 비누에 대한 전반적인 논의를 기대하기는 어려운 실정이다. 따라서 향후 이에 대한 철저한 연구조사를 실시하여 폐식용유를 이용하여 생산된 재생비누에 대한 환경성 및 안전성을 정확히 평가하여 국민보건 향상에 기여함은 물론 자원의 재이용 차원에서 신중히 고려되어야 할 것으로 생각된다.

한편 폐식용유를 이용하여 만든 재생비누를 가지고 세탁과 식기 세척에 사용하여 폐식용유에 의한 하수나 쓰레기 오염을 감소시킨다는 것은 매우 고무적인 일이나 폐식용유를 이용하여 비누를 제조하는 과정은 보다 전문성을 필요로 한다. 가성소다와 같은 비누화제는 강알칼리로서 유독물로 분류될 정도로 취급에 세심한 주의가 요구되며 폐식용유에 잔류된 음식물 찌꺼기나 탄화물의 경우 의류에 얼룩 등을 발생시킬 우려가 있다. 따라서 이같은 문제점을 보완하기 위해서는 폐식용유의 수집, 정제, 비누의 제조에 이르는 모든 과정의 전문화가 필요하다. 또한 폐식용유로 제조된 비누는 무공해라는 인식도 다소 바뀌어야 하며, 과다한 사용은 어떠한 경우에도 수질오염을 가중시킨다는 점을 알아야 한다. 또한 세제로서의 기능인 세척력과 의류에 미치는 영향 등을 감안한 현명한 폐식용유의 재활용이 전개되어야 한다.

<표 16>. 폐식용유 비누와 합성세제의 유기오염 부하량.

항 목	폐식용유비누	일반세탁분말세제	농축세제
시 료			
표준사용량	40g/30L	30g/30L	20g/30L
계면활성제	85%	25%	40%
부하계면활성제	34.0g	7.5g	8.0g
1kg당 BOD농도(mg/kg)	1,250	132	95
BOD(g)	42.5	3.96	1.9

(자료: Yoshiaki Komeda, 1992)

한편 수질오염 부하량 측면에서 BOD농도를 산출한 결과, <표 16>에 나타낸 바와 같이 폐식용유 비누의 유기오염 부하량은 BOD의 경우 일반세제의 10.7배, 농축세제의 22.3배에 달하였다.

생분해도와 유기오염 부하량 측면에서 볼 때 폐식용유 비누의 생분해도는 일반세제에 비하여 매우 빠른 편이나 오염의 부하량으로 볼 때 BOD는 10.7배로 높게 나타나 수질오염의 전체적인 관점에서 오히려 수질오염 부하율을 높히는 결과를 초래할 가능성이 크다.

5. 하수처리장에서의 MBAS의 제거 실태

5.1 일본의 처리장별 제거 실태

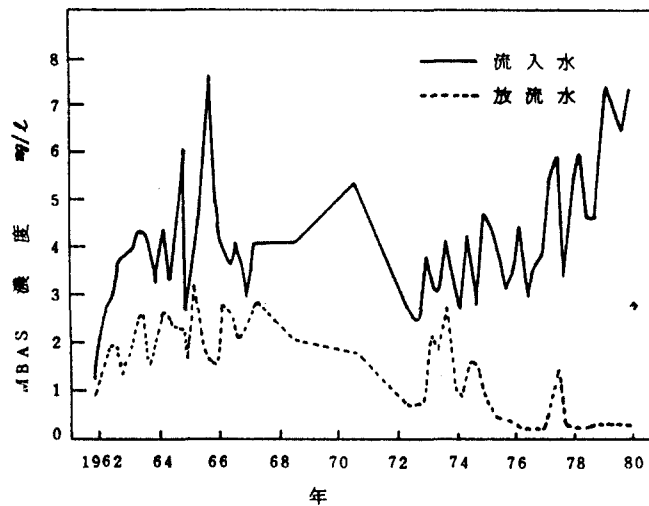
우리나라의 경우 하수처리장에서 합성세제를 측정하는 것이 정례화되어 있지 않은 관계로 자료의 축적이 많지 않으나, 일본의 경우에는 오랜동안 자료를 축적해왔다.

1974년부터 81년까지 8년간 동경, 横浜, 川崎 등 전국 주요도시의 하수처리장의 연간 평균 수질을 <표 17>에 나타냈다. 1974년의 MBAS제거율 85%가 1981년도에는 94%로 향상하여 일반유기물의 지표인 BOD제거율과 거의 동일한 정도를 나타내고 있다. 이것으로부터 세제의 주성분은 통상의 가정잡배수, 분뇨와 같은 정도로 분해제거됨을 알 수 있다.

<표 17>. 일본의 주요 10개 도시하수처리장에 있어서 수질의 변화.

년 도	MBAS			BOD		
	유입하수 (mg/l)	방류수 (mg/l)	제거율 %	유입하수 (mg/l)	방류수 (mg/l)	제거율 %
74	7.4	1.1	85	183	19	90
75	4.9	0.7	86	190	14	93
76	6.0	0.5	92	173	11	94
77	5.9	0.4	93	175	11	94
78	6.0	0.4	93	175	11	94
79	5.2	0.3	94	147	9.6	93
80	5.6	0.4	93	162	9.6	94
81	5.2	0.3	94	158	8.4	95

東京都의 S처리장에 있어서 약 20년간의 처리실적을 <그림 5>에 나타냈다. 일본은 1967년 ABS에서 LAS로 전환(연성화)하였으며, 그 효과를 보고 있다. 즉 1973년부터 유입수의 MBAS는 증대하고 있지만 처리한 후의 MBAS는 낮아지고 있어 세제 주성분인 LAS가 분해되기 쉬움을 알 수 있다.



<그림 5>. 東京都 S처리장의 MBAS농도 변화.

5.2 외국의 처리방법별 제거 실태

외국에서의 하수처리를 통한 LAS제거에 관한 자료를 <표 18>에 나타냈다. 활성오니 시설이 과부하되지 않고 효율적으로 가동된다면, DS-GC나 HPLC를 이용하여 측정할 때 LAS의 제거율은 95~99%로 높았고, MBAS는 95% 이상이 제거되었다. 그러나 생물학적 여과공정(살수여상)은 부하율, 체류시간, 온도와 같은 인자에 영향을 받아 제거효율의 변동이 매우 심한 편이었다.

Full-scale 생물학적 여과장치의 처리효율은 영국의 경우 67~85%의 MBAS 제거율을 나타냈고, 미국내 일부 처리장치에서는 73~87%의 제거효율을 나타내었다. 반면에 더 큰 규모의 Pilot 생물학적 여과장치에서는 96%의 MBAS 제거가 관찰되었다(Paintner와King, 1979b). 혐기성 슬러지 소화공정에서 LAS가 분해되지는 않았으나, 중간물질은 혐기성소화 동안 더욱 분해될 것으로 추정된다.

<표 18>. 하수처리시 LAS의 제거.

처리 유형	% 제거율		참고문헌
	MBAS	LAS	
활성슬러지	95	-	Klein & McGahey, 1965
살수 여상	85	-	
활성슬러지	93-98	-	Painter & King, 1979a, b
대규모 pilot 여과기	85-96	-	
여과기·활성슬러지	85-98	-	STCSD, 1967-1978
여과기·활성화된 과부하 문제	67-85	-	
장기폭기법	96	95	Simko 등, 1965
소규모 활성슬러지	>97(20℃)	-	Stiff & Rootham, 1973
슬러지	>90(5-8℃)	-	
슬러지	87	-	Janicke & Niemitz, 1973
활성슬러지-1년	95	-	Wagner, 1978
활성슬러지	94-95	99	Sedlak & Booman, 1986a, b
활성슬러지			
미국	-	98	De Henau 등, 1986b
캐나다	-	96	
독일	-	99	
여과기(미국)	-	73-87	Woltering 등, 1987
활성슬러지 5개 시설	-	99.5	Giger 등, 1987

(1993년 실측자료)

5.3 국내 주요 하수처리장에서의 제거 실태

하수도법에 근거하여 하수처리 구역내에서 발생하는 생활하수와 산업폐수의 처리를 1차적으로 하는 하수종말처리장의 건설이 80년대에 본격화되어, 1991년 현재 20개 도시에서 22개 처리장이 설치, 가동되고 있으며, 92년 현재 하수처리율은 처리시설기준 용량으로 약 37%에 달하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 하수관거의 정비가 미비하여 발생하는 폐하수를 처리장으로 수송하는데 어려움이 있으며, 처리장의 운전상 여러가지 문제점이 발생하고 있다. 또한 대부분이 합류식 관거시설이기 때문에 유입하수의 수질이 설계수준에 미치지 못하는 경우도 많이 있다.

1993년 8월에 전국 하수처리장의 유입수와 유출수를 분석하여 합성세제의 처리효율을 비교하였다(<표 19>참조).

<표 19>. 조사대상 하수처리장의 음이온계면활성제(MBAS) 및 BOD 제거율.

종말처리장 명		음이온계면활성제(MBAS)			BOD		
		유입하수 (mg/l)	방류수 (mg/l)	제거율 (%)	유입하수 (mg/l)	방류수 (mg/l)	제거율 (%)
서울중랑	8월	8.36	0.86	89.7	152	12	92.1
	11월	10.05	0.92	90.8	212	18	91.5
의정부	8월	10.12	1.2	88.1	160	22	86.2
	11월	8.6	0.94	89.1	110	16	85.4
대구달서	8월	15.8	1.86	88.2	220	19	91.3
	11월	11.7	3.42	70.7	148.7	8.9	94
대구공단	8월	75.71	1.76	97.6	292	109	50.4
	11월	50.5	3.24	93.6	198.5	43.8	77.9
대전	8월	11.1	0.65	94.1	98	18	81.6
	11월	9.26	1.07	88.4	81.9	14.9	81.8
부산	8월	6.88	1.23	82.1	104	10	90.3
	11월	5.67	0.98	82.7	110	16	85.4
전주	8월	6.16	2.52	59.1	126	16	87.3
	11월	5.2	0.76	85.4	52.3	16.4	68.6
광주	8월	8.38	1.5	82.1	135	18	86.7
	11월	6.25	0.94	84.9	121	15	87.6
문의	8월	22.54	3.26	85.5	111	16	85.6
	11월	8.27	1.08	86.9	60	7	88.3
청주	8월	9.42	2.1	77.7	96	11	88.6
	11월	6.39	1.68	73.7	84.6	17.7	79.1
구미	8월	6.22	0.88	85.8	68	13	80.1
	11월	5.09	0.93	81.7	60	13	78.3

대상은 서울 증량하수처리장, 경기 의정부하수처리장, 대구 달서천, 대구 공단천, 대전 하수처리장, 구미 하수처리장, 부산 하수처리장, 전주 하수처리장, 공주 하수처리장, 문의 하수처리장, 청주 하수처리장 등 11개 하수종말처리장 이었다.

대부분의 하수처리장에서 높은 처리효율을 보이고 있다. 일부의 하수처리장의 경우에는 시료를 채취한 시기가 장마철이었던 관계로 하수처리를 중단하는 사례가 있어 제거효율이 다소 떨어지는 결과를 보였다. 이것은 합성세제의 생분해성과는 관계 없이 시설의 운영관리측면에서 다소 유출수의 농도가 높아졌다고 생각된다. 우리나라의 하수도보급은 구미선진국에 비해 늦게 시작했으며, 보급을 또한 매우 낮은 실정이다. 1992년도의 전국보급율은 37%에 미치지 못하고 있지만 도시부에서는 60% 이상인 곳도 많이 있다.

6. 계면활성제의 생분해성 검토

6.1 생분해성 개요

합성세제는 국민의 청결유지를 위하여 유익한 필수품이지만, 사용후에는 하천, 호수, 바다 등에 유입되고 있다. 그러므로 합성세제의 주요 성분인 계면활성성분, 특히 LAS가 환경에 미치는 영향에 대하여 지금까지 많은 관심이 있어 왔다. 예를 들면 각종 합성세제에 대한 국제심포지움에서도 LAS는 환경에 대하여 문제가 없고, 또한 각 도시의 하수처리장에 대한 조사에서도 분해율이 좋다는 것이 확인되었다. LAS를 포함하는 합성세제는 1970년도에 처음 등장한 이후 수환경에 유입되었으나, 하천 등에서 LAS는 검출되지 않았으며, MBAS농도로 하여도 수도수 수질 기준 0.5 mg/l를 넘는 것은 없어 LAS를 포함하는 합성세제의 환경문제는 해결을 보고 있는 것이다. 그렇지만 최근 환경상의 문제는 중소하천, 특히 도시 하천의 수질개선에 방향의 초점이 맞추어져 생활폐수로 인한 오탁을 정화하는 대책이 논의 되고 있다. 한편으로 환경중의 LAS는 최종부산물로 탄산가스과 물로 분해되는 생분해(즉, 궁극적 생분해)에 대하여 관심의 초점이 되고 있다.

계면활성제가 수환경중에 영향을 미치는 중요한 과정으로 흡착과 생분해가 있다. 흡착에 의해 물질은 수중에서 저질 또는 토양 등에 재분배되나, 생분해에서는 최종분해물(물, 탄산가스, 황화물 등)까지 분해될 가능성이 있고, 환경계로부터 물질을 제거할 수 있는(유기물질을 무기화 시킴) 중요한 역할을 담당하고 있다. 또 환경중의 거동에 관련한 흡착과 생분해 이외의 과정으로서 광분해, 가스분해, 흡착된 저질에서부터 탈착(재용해), 다른 화학물질과의 반응 등이 거론된다. 여기에서는 이후 검토해야만 할 과제를 거론함에 있어 환경중의 동태를 생분해와 흡착 등의 관점에서 정리해 보았다.

6.2 평가와 시험방법

생분해성이라는 것은 미생물의 생화학적인 힘에 의하여 화학물질을 분해하는 것을 말하고, 생분해의 정도에 대하여 해석은 다음과 같다(黑岩幸雄, 1981: 日本石けん洗劑工業會).

1) 제1차 생분해

그 물질자체를 변화시키기 위하여 필요한 최소한의 생분해

2) 환경에 적응 가능한 정도까지의 생분해

발포의 미관상문제와 수생생물에 대한 영향 등 좋지 않은 물성을 나타내지 않을 정도까지의 생분해

3) 궁극적 생분해

탄산가스와 물, 다른 무기화합물까지의 생분해

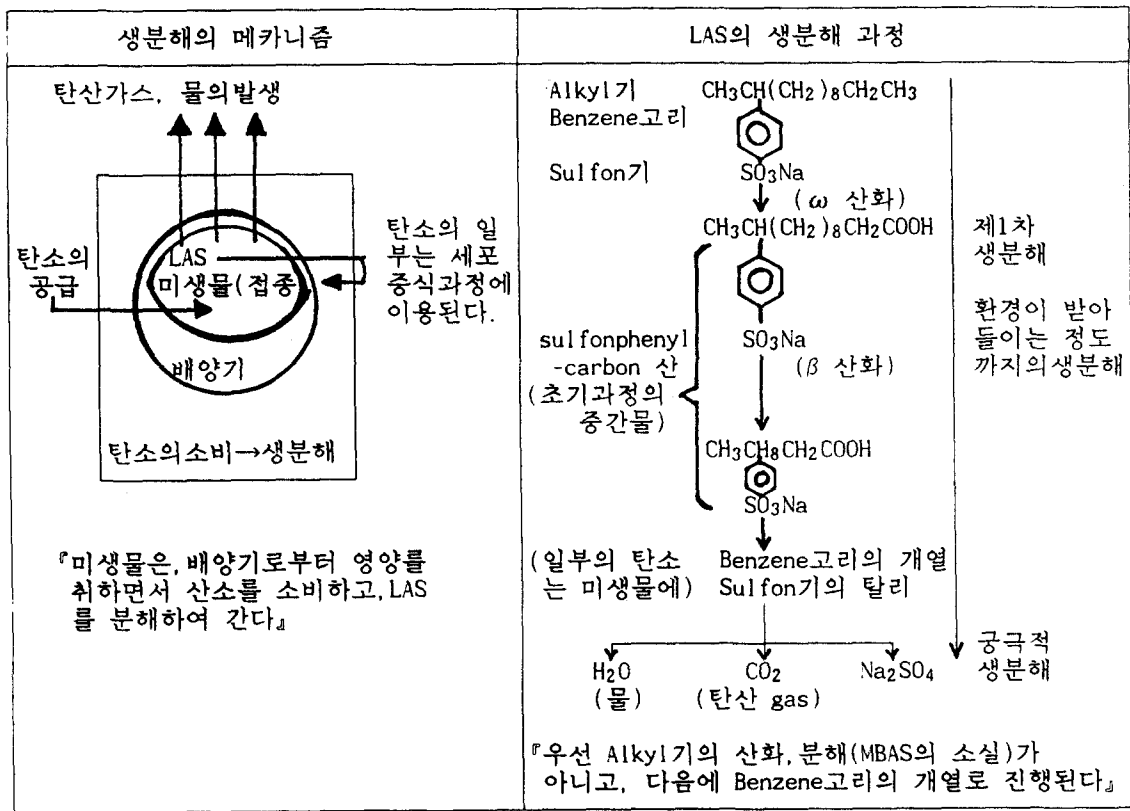
LAS 등의 음이온계면활성제의 생분해에 대해서 먼저, 1) 또는 2)에 대한 관점이 평가되어 왔다. MBAS(메틸렌블루-활성물질)의 분해가 바로 그것이다. ABS(hard형 알킬벤젠설포산나트륨)로부터 LAS로의 전환은, 1960년대에 영국, 서독, 미국, 일본 등에서 종료되었다. 이 시기의 MBAS분해에 의한 공정시험도 상기 각국과 OECD와 EC의 국제기관에서 제정하여 생분해도는 80% 또는 90% 이상으로 규정되었다. 그 이후 하수처리장에서 MBAS의 제거율은 매년 향상되어, 하천 등의 MBAS 수중농도가 매년 현저하게 저하되어 왔고 이 기간 동안에 발포 등 미관상의 문제와 수생생물에 대한 영향 등에 관한 우려를 감소시켰다.

다음으로 환경에 배출되어진 화학물질은 하수처리 등의 인공적 정화기능과 하천수내에서의 자연 정화기능을 통해 무기화합물까지 생분해(궁극적생분해)되는 것이 이상적이다. LAS에 대해서는 환경상의 감시와 하천수등의 MBAS농도를 측정하는 것으로 계속되어 왔으며, 한편으로 궁극적 생분해에 대해서는 1960년대부터 학술적 연구보고도 많이 축적되어 왔다.

1973년 일본에서는 화학물질의 심사 및 제조 등의 규제에 관한 법률(이하, 化審法)이 제정되었다. 자정작용에 의하여 화학적으로 변화를 일으키기가 어려운 물질인가 여부를 판정할 때에는 주로 미생물 등에 의한 분해도시험을 참고로 하는 것으로 되어 있어 표준시험방법(이하, MITI)이 정해졌다. 동시에 시험결과의 판정순서도 정해져 화학물질의 생분해성 평가가 처음으로 제도화 되었다. MITI시험법에서는 표준화 되어진 활성오닐을 사용하여 소비되어진 산소만을 측정하여 보충해가는 방식을 채택하고 있다.

1981년 OECD는 OECD 화학물질 테스트 가이드라인을 결정하여 보고하였다. 이것은Step-system 방식의 채택을 통해 환경이 가지고 있는 다방면성에 근접하게 접촉시키려 하는 평가제도라고 말할 수 있다. 즉 먼저, 평가를 이생분해성, 본질적 생분해성, 시뮬레이션 테스트의 3단계로 나누어 다음에 각각의 단계에서 얼마간의 시험방법을 취하고 있고 화학물질의 궁극적인 생분해성도 이 단계의 순서대로 평가하고 있다. 또한 OECD가이드라인에 따라 행해진 시험결과는 가맹각국과 함께 유효한 결과로서 서로 받아들일도록 결정되어 있다.

우리나라는 KS M 2714에 합성세제 생분해에 대한 시험방법을 규정하고 있는데, 이는 활성오니를 분해생물원으로 합성세제를 적응배양하여 만든 오니를 시료중에서 진동배양하여 이의 생분해도를 시험하는 방법이다. 여기에서 LAS의 궁극적인 생분해에 대하여 모식을 이용하여 해결하고 생분해시험법의 의미와 생분해성을 살펴보겠다.



생분해정도를 측정하기 위해서 아래 표에 있는 지표들이 사용되고 있다.

	생분해증거	설 명	지표
(1)	산소의 소비량	LAS의 생분해에 사용된 산소량으로부터 분해도를 알수 있다.	BOD
(2)	유기탄소의 잔존량	수중에 남아있는 LAS유기탄소의 잔존량으로부터 분해량을 알수 있다.	TOC DOC COD
(3)	분해생성물의 발생량	LAS유기탄소의 일부는 미생물에 동화되기 때문에 CO ₂ 발생량은 이론량보다도 낮게된다.	CO ₂ 발생량

6.3 국내제품의 생분해성 검토

국내에서 생산, 판매되고 있는 합성세제에 대하여 생분해 시험을 실시하였다(<표 20>). 생분해시험은 한국공업규격에 명시된 KS M 2714의 방법에 의거하여 의류용 및 공업용, 삼푸류, 주방 및 세정용 기타로 분류하여 실시하였다. 분석항목은 음이온 계면활성제성분으로 하였다.

가. 의류 및 공업용류

합성세제를 의류용 합성세제와 의류용 복합합성세제, 공업용 합성세제로 구분하여 구입을 하여 시험을 실시하였다. 시험결과 대부분의 합성세제는 시험 1일째 70%에 가깝게 분해되었으며, 2일째에는 90%이상, 그리고 약 7일후에는 거의 100%에 가깝게 분해되는 결과가 관찰되었다.

나. 삼푸·린스류

삼푸와 린스에 대한 생분해시험 결과, 시험 1일만에 평균 95% 수준이 분해되는 등 합성세제와 비교하여 탁월한 생분해력을 보였다. 각 회사의 제품에 따라 조금씩 차이는 있었으나 생분해도는 우수한 것으로 나타났으며, 2일째에는 거의 100% 가깝게 분해되었다.

다. 주방 및 세정제류

상기의 분류에 들어가지 않는 합성세제에 대해서는 기타로 묶어서 생분해 시험을 실시하였는데 크게 주방용과 과일용세정제로 분류하였다. 주방용에 있어서는 합성세제가 차지하는 비율이 낮아서 생분해에 대한 결과를 추론하는 것이 어렵지만, 모든제품에서 음이온계면활성제 성분은 8% 이내였다. 주방용에 대한 생분해도는 제품에 따라 다소 차이는 있었으나, 2일째에 90% 전후의 생분해율을 보여 생분해가 원활하게 진행됨을 알 수가 있었다.

<표 20>. 세제류 성분조사 결과

구분	상품명	제조회사명	계면활성제						
			상당분(%)	생분해도(%)					
				1일	2일	3일	7-8일		
가. 의류 및 공업용	의류용 합성세제	분말 액체	p	A	30.4	74.9	92.0	94.9	99.7
			b	B	22.8	73.2	98.7	98.9	99.6
			s	C	44.3	94.1	96.5	98.8	99.9
			s	A	23.3	70.2	94.3	98.8	99.8
	의류용 복합 합성세제	분말	w	D	20.2	69.7	91.4	95.8	99.4
	공업용 합성세제	액체	h	E	38.3	66.2	93.4	97.7	99.8
나. 삼푸	삼푸류	액체 액체 액체*	d	B	8.9	97.9	99.5	99.5	99.9
			r	F	12.9	98.5	98.7	99.1	99.9
			s	C	19.9	96.4	99.2	99.2	99.8
			s	G	14.8	80.6	92.2	98.4	99.8
			s	G	14.8	80.6	92.2	98.4	99.8
다. 주방 및 세정용	주방용	액체 액체 액체	h	B	6.1	83.8	97.4	97.7	99.1
			c	E	1.8	48.6	89.9	96.2	97.7
			d	J	8.5	-	-	-	-
	과일세정용	액체 액체 액체	s	F	22.2	98.3	98.6	99.2	99.7
			b	C	19.5	77.0	90.7	98.9	99.6
			n	B	19.7	97.5	98.8	99.4	99.7

* : 수입품

7. 결론

산업의 발달에 의하여 생활수준이 향상됨에 따라 합성세제의 사용량도 매년 증가하고 있다. 세제의 사용량 증가에 따른 환경에 대한 영향을 무시할 수는 없으나, 본연구에서 합성세제의 의한 환경성평가를 크게 하천의 조사, 오염부하량의 조사, 수생식물에 대한 조사, 수처리에 미치는 영향에 대한 조사, 생분해도 조사로 나누어 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

한강, 중랑천 및 옥천 등의 수질오염현황을 조사하고, 80년대 중반의 값과 비교 검토한 결과, 전반적인 수질오염도는 점차 개선되고 있으며, 특히 음이온 계면활성제의 경우에는 상당한 수준으로 저하되고 있었다. 이것은 세계업계의 환경오염에 대한 대응효과로 나타나고 있으며, 하천정비 및 하수처리장의 보급도 기여했을 것으로 판단된다. 농도면에서는 한강 본류에서는 대부분이 환경기준치 보다 낮은 수준이나 도시하수가 집중적으로 유입되는 중랑천 및 옥천 등 지천에서는 환경기준치에 육박하거나 다소 상회하고 있었다.

각 하천에 있어서 오염부하량중 BOD에 대한 합성세제의 점유비율은 한강의 6개지점에서는 0.00~0.09%, 중랑천의 11개 지점에서는 0.03~0.23%의 비율로 한강보다는 다소 높았으나 합성세제로 인한 전체적인 오염부하량은 낮은 것으로 조사되었다. 즉 합성세제가 전체오염에 기여하는 비율이 상당히 낮은 값으로 조사되었다.

비누, 폐식용유로 만든 재생비누, 밀가루 및 쌀뜨물의 사용을 권장하고 있어 이들에 대한 명확한 오염부하량을 조사한 결과, 재생비누, 밀가루 및 쌀뜨물 등은 주방용세제에 비해 세정능력이 떨어질 뿐만 아니라 유기오염부하량(BOD)도 세제에 비하여 높아, 합성세제 대체물질이 환경오염에 대한 기여도가 높다는 것을 확인할 수 있었다.

국내의 하수도 보급율은 '92년 기준으로 37% 정도였으며, 정부는 매년 하수도 보급율을 높여 생활하수의 처리에 노력하고 있다. 하수처리장에서의 하수처리와 동시에 합성세제의 분해율을 조사한 결과, 외국의 문헌에서는 거의 99%가까이 분해된다고 보고하고 있다. 우리나라의 경우 대표적인 하수처리장 11개를 선택하여 2회에 걸쳐 조사한 결과, 하수처리장에 따라 다소 차이는 있었으나 대체로 85~95%까지의 제거율을 보여, 현재의 하수도 보급율이 증가되어 생활하수가 거의 전량 하수종말처리장을 거쳐 처리된다면, 합성세제가 하천으로 유입되는 것을 충분히 방지할 수 있으리라 사료된다.

현재 국내에서 생산되고 있는 합성세제 제품에 대하여 생분해 실험을 한 결과, 거의 모든 제품에서 2일째에 90%이상의 생분해도를 보이고 있어, 지금까지 생분해성에 대한 논란에 충분한 자료 제공이 가능하다고 생각한다.