

세제 및 생활하수 관련 오염성분이 수질오염에 미치는 영향

김 만 영 · 최 응 수* · 김 재 용 · 김 광 렬

충북대학교 환경공학과

*KIST 기계융합연구실

(1993년 4월 12일 접수, 1993년 5월 25일 채택)

Effects of Detergent and other Pollutants related Domestic Sewage on Water Pollution

Mann-Young Kim, Ung-Su Choi*, Jae-Yong Kim, and Kwang-Ryul Kim

Dept. of Env. Eng., Chungbuk National Univ., Cheongju 360-763, Korea

*Tribology Laboratory, KIST, Seoul 136-791, Korea

(Received April 12, 1993, Accepted May 25, 1993)

요 약: 시판 주방용세제와 비누 및 생활하수 관련 오염물질 등에 대해 화학적 산소 요구량을 측정하여 수질오염부하량을 서로 비교하였으며, 이를 대상 시료의 최종적 생분해도 실험을 실시하였다. 실험 결과와 우리나라 하천의 수질오염 및 하수처리 실태를 종합 검토하여, 합성세제가 수질오염에 미치는 영향을 비누 및 다른 오염물들과 함께 비교·고찰하였다.

Abstract: By measuring the COD (chemical oxygen demand) of dish washing detergents being sold at market and pollutants connected with domestic sewage, we compared the amounts of water pollutants of one with other and carried out the experiments of ultimate biodegradation as against these samples. Also we combined our experimental results and circumstances of water pollution and wastewater treatments to the sewage system, compared the effects of synthetic detergent on water pollution with soap and the other pollutants and investigated results of our research.

1. 서 론

세제가 수질오염에 미치는 영향을 규명하기 위한 1단계 과정으로, 예비실험 결과에서 살펴본 주방용 합성세제의 메틸렌블루활성물질(MBAS)법[1]에 의한 생분해도 실험 결과는 대상 물질 모두가 한국공업규격인 KS 기준에 적합한 것으로 나타났다.

본 논문에서는 예비실험 결과를 토대로 주방용 세제와 가정에서 세제를 사용할 때 이와 동시에 생활하수를 통해 배출되는 일련의 오염물에 의한 수질오염문

제를 함께 검토하기 위해 시판 주방용세제 3종과 비누, 그리고 생활하수에 함유될 수 있는 수종의 오염물을 대상으로 수질오염부하량을 알아보았으며, 대상 물질을 진탕배양법에 의해 생분해시킨 후, 이 물질 모두에 대해 정량이 가능한 화학적 산소 요구량(COD)법에 의해 잔존물질의 양을 측정하는 방법으로 최종적 생분해도시험을 실시하고, 그 결과를 통하여 합성세제가 수질오염에 미치는 영향을 비누 및 다른 오염물과 비교·고찰하였다.

2. 실험 방법

본 연구의 주요 실험 내용으로는 세제 및 관련 오염의 수질오염부하량을 알아보고, 이들 물질의 시험 방법으로 화학적 산소요구량법(COD_{Cr}법)의 적용 가능성을 검토하기 위한 산화력(COD/ThOD) 측정 실험과, 진탕배양법에 의한 세제 및 관련오염의 생분해, 그리고 생분해 정도를 알아보기 위한 COD_{Cr}법에 의한 계면활성제 및 유기물의 분석 등이다.

2.1. 각종물질의 화학적 산소요구량

세제 및 관련 오염의 수질오염부하량과 산화력(COD/ThOD)을 알아보기 위해 실시한 화학적 산소요구량은 Table 1에 나타낸 바와 같이[2], 중크롬산칼륨에 의한 산소소비량(COD_{Cr})이 BOD나 과망간산칼륨에 의한 산소소비량(COD_{Mn})보다 이론적 산소요구량(ThOD)에 보다 가깝고 물질의 종류에 따른 산화력의 차이가 크지 않기 때문에, COD_{Cr}법에 따른 화학적 산소요구량 실험을 실시하였다.

실험 대상 시료로는 조성이 상이한 주방용세제 3종과 화장비누·설탕·물엿·밀가루·커피크림·식용유 등 주방오물과 관련된 물질, 그리고 생분해시험을 위해 산화력(COD/ThOD)을 알아보기 위한 물질인 가용성전분·소주 등 총 11종을 선택하였으며, 이를 시료 물질에 대한 내용을 Table 2에 실었다.

Table 1. Oxidizability of the ThOD of Various Organic Compounds (%) [2]

Materials	COD _{Mn}	COD _{Cr}	BOD _s	BOD _(day)
Acetic acid	7	96.3	85	98(17)
Propionic acid	8	96.0	80	104(20)
Iso-Lactic acid	7	97.3	57	88(14)
Ethyl alcohol	11	96.0	72	78
Glycerine	52	96.7	66	87(15)
Acetone	0	86.0	21	81(14)
Ether	<1	31.9	0	8(14)
Ethyl acetate	4	78.6	53	81(15)
Benzene	0	17.3	0	31(21)
Benzoic acid	4	99.0	64	74
Phenol	63~73	99.2	78	99(20)
L-Glutamic acid	6	10.5	77	159(20)
Glucose	59	98.0	54	92(17)
Sugar	75	95.0	59	79(20)
Soluble starch	61	86.9	43	79(20)
Cellulose	0	92.0	7	60(15)

Table 2. Samples of Experiment

Samples	Composition	Remarks
Dishwashing detergent A	Total surfactant 20% (LAS 16%)	COD _{Cr}
Dishwashing detergent B	Total surfactant 20% (LAS 15%)	COD _{Cr}
Dishwashing detergent C	Total surfactant 20% (LAS 16%)	COD _{Cr}
Cosmetic soap	Total soap composition 87%	COD _{Cr}
Sugar	Water content 0.05%	COD _{Cr}
Starch syrup	—	—
Wheat flour	Water content 9.5%	—
Soluble starch	Water content 9.6%	COD _{Cr}
Coffee whitener	—	COD _{Cr}
Soybean oil	—	—
SO-JU	25% Ethyl Alcohol	COD _{Cr}

화학적 산소요구량의 실험방법은 시료물질을 3~10mg 정도를 취하여 한국공업규격(KS M 0100)[3]의 COD_{Cr}법에 따라 각 물질의 산소소비량을 측정하였다.

2.2. COD_{Cr}법에 의한 생분해도 실험

COD_{Cr}법에 의한 생분해도 실험 대상 시료로는 주방용세제 3종과 비누·설탕·가용전분·커피크림·소주 등 8종으로, 생분해도 측정시 오니에 의한 COD증가현상을 배제하기 위해 대상시료물질과 오니를 분리할 수 있는 것만을 선정하였다. 대상시료를 생분해시키는 방법으로는 KS M 2714[1]에 따른 진탕배양법을 택하였다. 다만 배양액만은 생분해 후 잔존유기물 분석시의 오차를 줄이기 위하여[4] KS에 규정된 배양액 조성과 비교할 때 완충액 농도는 1/50로, 무기염농도는 1/10로 조제하였으며[5], 이 배양액의 조성을 Table 3에 나타냈다. 미생물원으로는 1991년 하절기의 중랑하수처리장 오니를 채취하여 사용하였다.

생분해 후의 잔존 유기물농도의 측정은 2.1의 방법과 같은 COD_{Cr}법에 따라 경과일수별로 산소소비량을 측정하였는데, 이때 시료 용액 내의 활성오니가 중크롬산칼륨을 소비하는 것을 막기 위해 COD 측정 전에 시험용액을 5000rpm 이상으로 10분간 원심분리시킨 후 상등액을 취하는 방법으로 오니를 제거하였다.

Table 3. Composition of the Biodegraded Culture Fluid by COD_{Cr} Method

	Component	Composition
Buffering agents	Deionized water	1 L
	NH ₄ Cl	0.0017g
	KH ₂ PO ₄	0.0085g
	K ₂ HPO ₄	0.022g
Inorganic salts	Na ₂ HPO ₄	0.045g
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.023g
	CaCl ₂	0.028g
	FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.00025g

3. 결과 및 고찰

3. 1. 화학적 산소요구량

실험대상 11종의 시료물질에 대한 수질오염부하량(물질이 최종적 생분해에 이를 때까지 필요한 용존산소의 총량)을 알아보기 위해 COD_{Cr}법에 의한 산소요구량 실험을 실시한 결과, Table 4에 나타낸 바와 같이 설탕·가용성전분·물엿 등 탄수화물류가 비교적 높았으며, 그 다음으로는 커피크림·대두유·비누·밀가루 순이었고, 주방용세제 2종과 소주는 설탕·가용성전분·물엿 등 탄수화물류의 25~40% 정도로 낮은 값을 나타내었다. 이와 함께 세제의 표준사용량이 물 1리터당 1~2g인 점과, 설거지시에 하수로 유입되는 음식물 찌꺼기와 같이 일상생활에서 생활하수에 유입되는 세제 이외의 유기물 양이 상대적으로 많다는 점을 고려할 때, 세제에 의한 수질오염부하량은 그다지 높지 않을 것으로 생각된다.

또한 이들 물질 중 이론적산소요구량 계산이 가능한 설탕·가용성전분·소주 등 3종의 물질에 대한 산화력(COD/ThOD)을 계산한 결과, 각각 89%, 90%, 95%로서 德平 등[2]이 발표한 결과와 약간의 차이는 있었으나 대체로 유사하였으며, 이들 물질뿐만 아니라 대략적으로 계산한 주방용세제의 산화력도 생분해시킨 후 COD_{Cr}법에 의해 생분해 정도를 측정할 수 있을 만큼 높은 값을 나타내었다.

3. 2. COD_{Cr}법에 의한 최종적 생분해도 측정

주방용세제 3종과 화장비누 및 오염물 4종 등 총 8종의 생분해시험 대상시료를 진탕배양법에 의해 생분해시킨 후 COD_{Cr}법에 의해 각 일수별 생분해도를

Table 4. The Concentration of COD_{Cr}, the Dishwashing Detergents and Other Domestic Sewage Pollutants Per Unit Gram

Samples	COD _{Cr}	ThOD*	COD _{Cr} /ThOD
Dishwashing detergent A	0.403g O ₂	0.460g O ₂	88%
Dishwashing detergent B	0.386g O ₂	0.460g O ₂	84%
Dishwashing detergent C	0.407g O ₂	0.383g O ₂	106%
Cosmetic soap	0.673g O ₂	—	—
Sugar	0.992g O ₂	1.120g O ₂	89%
Starch syrup	0.902g O ₂	—	—
Wheat flour	0.620g O ₂	—	—
Soluble starch	0.960g O ₂	1.070g O ₂	90%
Coffee whitener	0.754g O ₂	—	—
Soybean oil	0.744g O ₂	—	—
SO-JU	0.248g O ₂	0.261g O ₂	95%

* We calculate the ThOD with using the basis as follows:

- ① Sugar – Sucrose ② Soluble starch – Amylose
- ③ SO-JU – 25% Ethyl alcohol ④ Dishwashing detergent A – B-C₁₂-LAS(20%) ⑤ Dishwashing detergent C – C₁₂-AE₂S(20%)

측정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 주방용세제 중에는 AES를 주된 계면활성제로 하는 세제 C의 생분해속도가 빠르게 나타났고, 화장비누도 7일째의 생분해도가 주방용세제 C와 비슷한 정도를 나타내었으나 진탕배양시 플라스틱의 벽면에 다량의 금속비누가 형성되었다. 또한 이 3종의 주방용세제와 화장비누의 최종적 생분해 시험결과는 三浦 등[6]이 이들의 주성분인 LAS(Linear Alkylbenzene Sulfonate), AES(Alkyl Ether Sulfate) 및 비누분 원료 자체의 생분해를 TOC법에 의해 측정한 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

관련오염물 4종의 시료물질들은 AES를 주원료로 하는 주방용세제 C나 비누와 같이 대체로 생분해가 잘 되었으나, 설탕은 7일째에 68%가 분해됨으로써 LAS를 주원료로 하는 주방용세제 A와 같은 정도의 수준이었다.

3. 3. 수질오염과 수질오염부하량 및 생분해도

수질을 결정하는 요인중에서 세제류가 영향을 줄 수 있는 것으로는 맛, 생화학적산소요구량 및 화학적 산소요구량, 용존산소 등이 있다. 세제가 생활하수와 함께 방류된 후 하천에 유입되어 1차적생분해가

Table 5. Experimental Results of Ultimate Biodegradation of the Dishwashing Detergents and Other Domestic Sewage Pollutants by COD_c Method

Samples	1	2	4	7 (days)
Dishwashing detergent A	30	41	49	68
Dishwashing detergent B	8	23	50	57
Dishwashing detergent C	40	59	86	90
Cosmetic soap*	10	30	76	92
Sugar	31	56	64	68
Soluble starch	73	75	92	94
Coffee whitener	31	63	86	93
SO-JU(25%)	9	69	94	96

* During the experiments of biodegradation concerned with cosmetic soap, soap scum was produced at the inside wall of flask. But we estimate the biodegradation without the soap scum components.

일어나기 전까지 발생하는 문제로는 거품발생과 수생생물에 미치는 영향을 생각할 수 있다. 그러나 인구가 밀집되어 있는 도시지역의 하천에서는 오염물의 과다 유입에 의한 용존산소 부족현상[7]으로 혐기성 소화에 의해 악취가 발생하기도 한다. 또한 한강 및 한강의 지천과 같은 도시지역의 하천 중 음이온계면 활성제의 농도는 메틸렌블루활성물질로서 0.016~2.628mg/l 정도로 비교적 낮아서 이를 하천수의 BOD 및 COD에 미치는 영향이 적은 점, 우리나라의 하수처리시설이 미흡한 점[8, 9] 등과 주방오물의 배출량이 세제사용량에 비해 많고 산소요구량도 세제보다 많은 점, 세제 및 주방오물 모두의 최종적 생분해에 이르는 기간이 비교적 긴 점 등을 동시에 고려할 때, 우리나라의 생활하수에 의한 수질문제를 개선시키기 위해서는 우선적으로 수질오염부하량이 높은 주방오물의 생활하수로의 유입을 최소화할 수 있는 방안이 마련되어야 하며, 세제에 있어서는 1차적 생분해 속도를 증가시키는 일보다는 수질오염부하량이 적은 세제의 개발이 필요하다고 보여진다.

4. 결 론

본 연구는 합성세제 및 생활하수에 함유될 수 있는 오염물이 수질오염에 미치는 영향을 알아보기 위한

목적으로 실시되었으며, 이를 위해 주방용세제와 생활하수 관련 오염물 수종을 선택하여 이들 대상물질의 수질오염부하량을 측정하였다. 또한 주방용세제와 생활하수 관련 오염물질이 수중에서 완전 분해되는 시점까지의 생분해도인 최종적 생분해도를 측정하여 주방용세제와 관련오염의 생분해 정도를 비교함으로써 주방용세제가 수질오염에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수질오염부하량을 대상 물질 단위그램당 화학적 산소요구량(COD_c)으로써 나타냈을 때 주방용세제의 수질오염부하량은 탄수화물·지방·단백질로 구성된 음식물 찌꺼기나 비누의 수질오염부하량보다 적은 값을 나타냈으며, 일상생활에서 세제의 사용량과 생활하수에 유입되는 음식물찌꺼기의 양을 비교해 볼 때, 세제에 의한 수질오염부하량은 그다지 큰 비중을 갖지 않는다고 사료되었다.

2. 주방용세제 및 실험에 사용된 생활하수 관련 오염물질의 최종적 생분해도의 측정에 있어서 COD_c법의 적용 가능성을 알아보기 위해 주방용세제 및 생활하수 관련 오염물질의 산화력(COD_c/ThOD)을 실험한 결과, 주방용세제는 84% 이상, 실험대상으로 사용한 생활하수 관련 오염물질은 89% 이상의 높은 산화력을 지니고 있어서 COD_c법에 의한 최종적 생분해도 측정 방법의 적용이 가능하였다.

3. COD_c법에 의한 주방용세제 및 생활하수 관련 오염물질의 최종적 생분해도 실험 결과, LAS를 주원료로 하는 주방용세제와 설탕 등은 7일째에 57~68%의 생분해도를 AES를 주원료로 하는 주방용세제와 비누·커피크림·전분·소주 등의 물질은 90% 이상의 생분해도를 나타냈다.

4. 우리나라의 현 상황에서 생활하수에 의한 수질문제를 개선시키기 위해서는 우선적으로 주방오물의 생활하수로의 유입을 최소화할 수 있는 방안이 마련되어야 하며, 수질오염 측면에서 볼 때 세제류 개발은 1차적 생분해 속도를 증가시키는 일보다는 수질오염부하량이 적은 방향으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- KS M 2714
- 日本藥學會 編, “衛生試驗法·註解 1980”, 金原出版(株), 828 (1983).

3. KS M 0100
4. H. Sekiguchi, et al., 油化學, **24**, 3, 145 (1975).
5. T. Kubodera, et al., 油化學, **27**, 12, 838 (1978).
6. 三浦 外, 油化學, **28**, 5, 351 (1979).
7. 홍사욱 외, 한국수질보전학회, **177**, 64 (1989).
8. 환경처, “환경백서 1990”, 185(1991).
9. 환경처, “생활하수에 대한 문제점과 대책” (1991).