

## 완속濾過에 의한 廢水處理 效率 研究

수 질 보 전 과

이민환 · 배경석 · 신재영

# A Study on the Treatment Efficiency of Slow Filtration Process in Wastewater

*division of water preservation*

Min-Hwan Lee, Kyung-Seok Bae, and Jai-Young Shin

### =Abstract=

The vertical and horizontal slow filtration using activated carbon and Sand was tested for investigating removal efficiency and practicality in wastewater

The results were as follows

1. The adsorption of COD and anionic surfactants by activated carbon were filled on Freundlich adsorption isotherm equation and its  $1/n$  were 3.4683 and 0.4000.
2. The breakthrough point of COD and anionic surfactants by activated carbon filling appeared near 250ml and 1,700ml and that of sand filling presented near 200ml and 400ml in continous flow experiment.
3. The removal rate of COD, SS, and anionic surfactants by aeration process were 3.4~12.7% , 2.2~4.5% and 18.0~24.0% in raw wastewater .
4. In filtration process the removal efficiency of COD and anionic surfactants was high by activated carbon , while that of SS and n-Hexane was high by sand .
5. The removal efficiency of vertical slow filtration was 43.3~79.5% , while that of horizontal slow filtration was 31.8 ~63.1% in carwash wastewater.

### 緒 論

우리나라는 1960년대 이후 급격한 經濟發展과 함께 産業化가 이루어지고 있으며, 1970년대 말을 시작으로 급격한 大都市化가 이루어지고 있다.

또한 化石연료의 사용과 자동차의 증가 등으로 인한 大氣汚染과 더불어 生活用水의 使用增加와 工場廢水로 인한 河川, 地下水의 汚染은 이제 食水원마저 威脅받게 되었다.

이런 水質汚染 防止對策의 일환으로 추진된 大規模 事業장의 地方移轉 政策으로 서울 등 大도시에서는 세차장 등 소

규모 도시형 사업장이 대부분을 차지하게 되었다.

따라서 廢水防止施設도 生物學的 方法 등 大規模의 사업장에 適當한 方法 보다는 소규모 사업장에서 보다 쉽게 設置, 運營할 수 있는 方法의 모색이 必要하게 되었다.

현재 소규모 사업장의 廢水防止施設은 대부분 物理,化學的 方法으로 황산반토, 가성소다 등의 약품을 사용하는 산, 알칼리에 의한 化學的 凝集과 Polymer 등 보조응집제의 사용, 모래등에 의한 濾過方法을 사용하고 있으나, 산,알칼리의 주입량 조절미숙으로 인한 pH초과와 야간 등 취약시간대의 無斷放流 등의 우려가 있다.

이런 취약점의 개선을 위하여 보다 쉽게 처리할 수 있는 方法으로 완속여과에 의한 처리방법의 研究가 시작되고 있다<sup>1)2)3)</sup>.

여과방법에는 크게 垂直濾過와 水平濾過로 나눌수 있으며, 옛부터 보다 널리 사용되고 있는 수직여과는 處理效率이 좋은 반면 장시간 운전시 여과재의 交替에 많은 어려움이 있으며<sup>4)5)6)</sup>, 이런 수직여과의 短點을 보완하고자 Visscher<sup>4)</sup>가 수평여과시스템을 제안하였다.

1990년에 Udom Kompayak<sup>5)</sup>에 의해 最初로 수평여과장치 Pilot Plant를 설치하여 실험한 결과 여과재에 대한 역세척 등 여러가지의 장점이 나타났다.

따라서 본 研究에서는 서울 시내 폐수배출업소의 대부분을 차지하고 있는 세차, 섬유, 세탁 등 소규모 사업장의 폐수배출 허용기준 초과와 주요 항목인 음이온계면활성제, COD, 부유물질 등의 처리에 효과가 있다고 알려진 활성탄을 이용한 COD 및 음이온계면활성제의 흡착특성과 연속통수에 의한 처리효율, Aeration에 의한 폐수 제거효과 그리고 활성탄 및 모래를 여과재로 사용한 수직, 수평 여과장치에 의한 폐수의 處理效率 등을 조사하여 소규모 사업장에서 보다 쉽게 처리할 수 있도록 완속여과에 의한 廢水처리효율에 관하여 研究하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

(1) 활성탄 : 본 실험에서 사용한 활성탄은 국내 시판중인 국산 활성탄으로 그 성상 및 특성은 Table 1과 같으며 실험시 증류수로 세척후 Dry oven에서 105°C 24시간 건조후 데시케이터에 보관하여 사용하였다.

(2) 모래 : 실험에 사용한 모래는 국내 하천에서 채취한 모래를 표준체를 사용하여 10 mesh~18 mesh로 크기를 균一하게 한 것으로, 실험시 증류수로 세척하여 Dry oven에서 105°C 4시간 건조후 使用하였다.

Table 1. Properties of Activated carbon

properties	concent
raw material	coconut
moisture content(%)	2.0
hardness number(%)	95.0
bulk density(g/cc)	0.46
iodine number(mg/g)	1,140
particle size(mesh)	8×30
shape	granular

### (3) 標準液 및 試藥

음이온계면활성제 標準液은 日本 和光純藥工業株式會社의 Sodium Dodecyl Sulfate Standard 를 水質汚染公定試驗法에 따라 증류수로 稀釋하여 사용하였고, COD標準液은 미국 Sigma Chemical Co의 Glucose를 증류수로 용해하여 一定濃度로 만들어 사용하였으며 그의 분석을 위하여 사용한 시약 등은 모두 特級試藥을 사용하였다.

### (4) 器機

水質分析을 위하여 사용한 器機는 美國 Beckman사의 Model Du 650 Spectrophotometer와 日本 Orion사의 Model 920 A pH Meter, Iwaki Co의 Asp-13 Aspirator 그리고 국산 대광전자산업사의 Master Double Air Pump, Technical Jin의 Water Bath, 영신교역상사의 Jar Tester 등을 사용하였다.

## 2. 實驗方法

### (1) 시료채취

本 實驗에 사용한 폐수원수는 서울 시내 소재 세차업소에서 세차과정에서 발생한 폐수를 집수조에서 직접 채수하였으며, 시료의 經時變化에 의한 실험오차를 줄이기 위하여 시료를 ice box에 넣고, 신속히 운반하여 實驗하였다.

### (2) Aeration 效果실험

Aeration에 의한 폐수의 COD 및 음이온계면활성제 등의 제거효율을 알아보기 위하여 동일용량의 용기에 같은 시료를 넣고 Air Pump로 일정시간 Aeration을 실시한 폐수와 Aeration을 하지않은 폐수에 대하여 여러가지 項目의 오염도를 分析하여, Aeration에 의한 제거효율을 조사하였다.

### (3) 흡착실험

활성탄에 의한 COD 및 음이온계면활성제의 흡착능을 알아보기 위하여 용량 250ml 비이커에 소요량의 활성탄을 넣고 여기에 COD 및 음이온계면활성제 표준액 250ml를 가하여 혼합하고, 실온에서 Jar Tester로 일정시간 회전시켜 吸着시키고, 평형상태에 도달하면, 여과지(No 6, 日本 TOYO Rochi Co제)로 濾過한 후, 여액중에 殘存하는 COD 및 음이온계면활성제의 농도를 측정하였다.

### (4) Column을 이용한 고정상 吸着實驗

파과곡선(Breakthrough Curve)을 구하기 위하여, 내경 1.0cm, 높이 1.0 m인 Glass Column에 소요량의 충전재를 충전시키고 여기에 일정농도의 COD 및 음이온계면활성제 용액을 연속통수하여 Column을 통과한 유출액을 시험관에 취하여 그 유출액의 농도를 分析하여 Breakthrough curve 및 Breakthrough point 를 구하였다. 각각의 충전재는 void가 생기지 않도록 증류수로 적신후 실험하였으며, COD 및 음이온계면활성제의 정량은 수질공정시험법<sup>7)</sup>에 의거 COD는  $KMnO_4$  法으로, 음이온계면활성제는 메틸렌블루 法으로 행하였다.

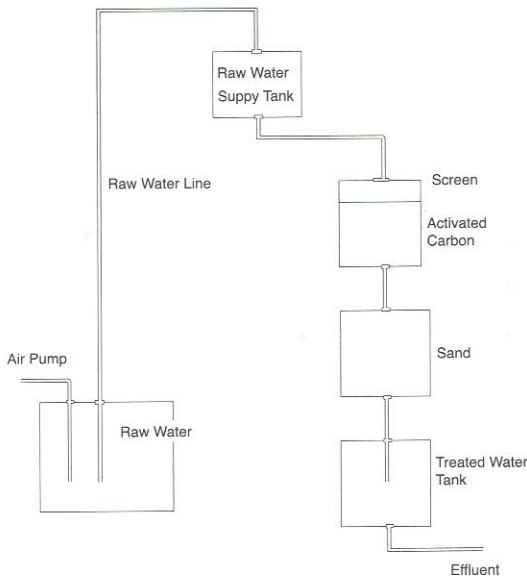


Fig. 1. Experimental schematic of vertical slow filter system.

### (5) 수직, 수평 濾過實驗

수직,수평 여과에 의한 폐수의 제거효율을 알아보기 위하여 세차업소에서 배출된 폐수원수를 Fig 1, Fig 2와 같이 활성탄 및 모래를 채운 수직,수평여과시설로 通過시키고 최종방류수의 수질을 分析하여 수직,수평여과시설에 의한 폐수의 제거효율을 구하였다.

시료의 流量調節은 유출수-유량조절밸브에 의하여 흐름을 일정하게 조절하는 정속여과(Constant-rate filtration)로 하였으며, 집수조에는 Aeration을 위한 Air Pump를, 활성탄 여과조 앞에는 슬러지 제거를 위한 조망Screen을 설치하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 흡착특성

활성탄에 의한 COD 및 음이온계면활성제의 흡착특성을 알아보기 위하여 Jar-Tester로 100rpm, 1시간 회전시켜 흡착시킨 結果는 Table 2. 와 같았다.

Table 2.의 結果에 의하면 COD는 흡착제거율이 약 2.3~25.8% , 단위중량당 COD 흡착능력을 나타내는 X/M치는 0.24~0.65 (mg/g)이었고, 음이온계면활성제는 흡착제거율이 50.8~97.7% , 단위중량당 흡착량인 X/M는 2.440~8.

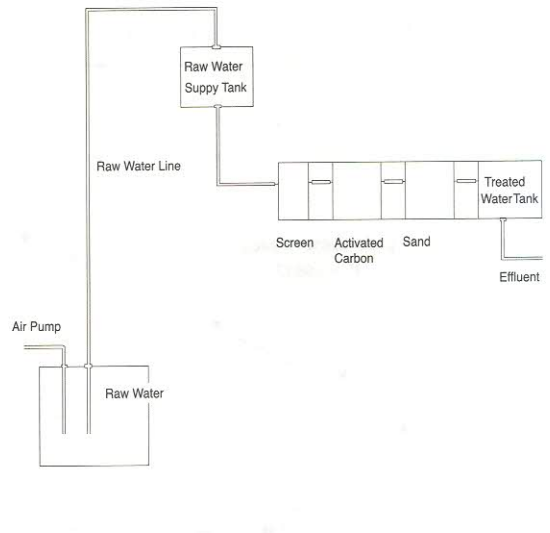


Fig. 2. Experimental schematic horizontal slow filter system.

467(mg/g)으로 나타났다. 위의 결과를 흡착제로서의 가능성을 보기 위하여 Freundlich 흡착식에 적용시켜 보았다.

Freundlich 식  $X/M = KC^{1/n}$

여기서 X : 피흡착물의 흡착량(mg)

M : 흡착제의 량(g)

K, 1/n : 흡착계 따라 정해지는 상수

위식의 양변에 대수를 취하면

$\log X/M = 1/n \log C + \log K$ 의 직선식이 된다.

여기서 1/n은 구배이고  $\log K$ 는 절편이다.

Table 2.의 Data를 Freundlich 식에 적용시키고 양변에 대수를 붙여 plot하면 Fig.3, Fig.4와 같이 되었다. Table 2와 Fig. 3, Fig. 4. 에 나타난 바에 의하면, 활성탄에 의한 COD의 흡착은 1/n 이 3.4683, 절편  $\log K$ 가 -7.2463이었고,

활성탄에 의한 음이온계면활성제의 흡착은 1/n 이 0.4000,  $\log K$ 가 0.5519로 나타났으며, 一般的으로  $\log k$ 의 값이 클수록 흡착가능성이 크고, 1/n의 값이 0.1~0.5의 범위일 때 吸着이 쉬우며, 2이상이면 吸着이 어렵다는 보고<sup>8)9)</sup>에 따르면 활성탄에 의한 COD의 흡착은  $\log k$ 의 값이 너무 낮고, 1/n의 값은 2이상으로 너무 높아 좋은 흡착제가 되지 못하며, 활성탄에 의한 음이온계면활성제의 吸着은  $\log k$ 의 값이 높고, 1/n치가 0.4613으로 나타나 흡착제로서 適當한 것으로 사료된다.

## 2. 固定相에 의한 연속통수실험

연속통수에 의한 유출액의 농도변화를 보기 위하여 濃度 111.8 mg/l 의 COD 표준액 및 농도 20.0 mg/l 의 음이

Table 2. Adsorption effect of COD and anionic surfactants by activated carbon

items	Inicial Con.(mg/l)	M(g)	X(mg)	X/M(mg/g)	C(mg/l)	adsorption rate(%)
C O D	111.8	1	0.65	0.65	109.2	2.3
		10	4.2	0.42	95.0	15.0
		20	6.3	0.32	86.6	22.5
		30	7.2	0.24	83.0	25.8
anionic surfactants	20.0	0.3	2.54	8.467	9.84	50.8
		0.5	3.59	7.180	5.63	71.9
		1.0	4.63	4.630	1.47	92.7
		2.0	4.88	2.440	0.46	97.7

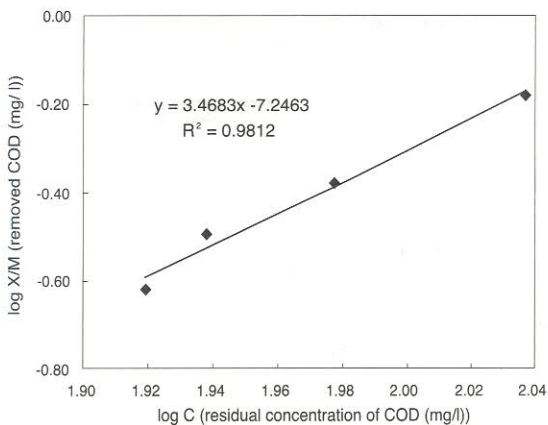


Fig. 3. Freundlich plot of adsorption isotherms of COD by activated carbon

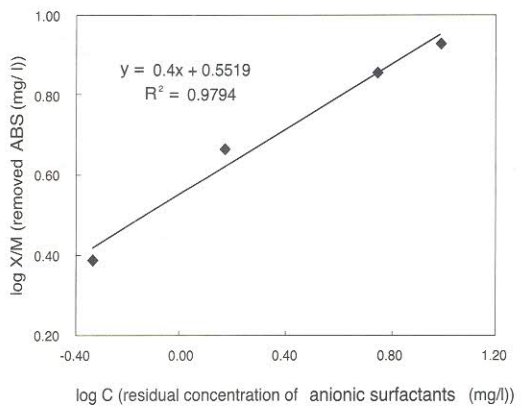


Fig. 4. Freundlich plot of adsorption isotherms of anionic surfactants by activated carbon

온계면활성제 표준액을 각각 활성탄(높이 8.0cm)과 모래(높이 8.0cm)로 충전되어 있는 내경 1.0cm의 glass column에 10.0 cm/min의 속도로 유출시키고, 유출액의 COD 및 음이온계면활성제의 농도를 분석하여, 통수시간에 따른 유출액의 농도변화를 구한 결과는 Table 3, Table 4 와 같았다.

Table 3, 4의 결과에서 연속통수 1 시간후의 COD제거율은 활성탄 충전 column 과 모래 충전 column 이 각각 53.2 % 및 45.8 %로 비교적 높게 나왔으나 통수시간이 경과하면서 제거효율이 감소하는 것으로 나타났으며, 음이온계면활성제의 연속통수 1시간후의 제거율은 활성탄 충전 column 에서 98.2% , 모래 충전 column 에서 79.8%로 상당히 높은 수치를 보였다.

그리고 파과곡선(Breakthrough curve)은 Fig. 5, 및 Fig. 6 과 같이 나타났으며, Breakthrough point는 활성탄이 충전된 column에서 COD는 약 250 ml, 음이온계면활성제는 1.7 l 부근에서, 모래가 충전된 column에서는 COD가 200ml, 음

이온계면활성제가 400ml 부근에서 나타났다.

### 3. Aeration 效果 實驗

Aeration 에 의한 폐수의 제거효율을 알아보기 위하여 서울 시내 소재 세차업소에서 배출된 폐수원수를 채수하여 Aeration(2.2 l/min)을 1일 3시간씩 실시하였다. Table 5은 Aeration을 실시한 폐수와 Aeration을 실시하지 않은 폐수의 COD 등 각 항목의 농도와 변화율을 조사하여, Aeration에 의한 폐수의 제거효과를 分析하였다.

Table 5 에 나타난 바를 보면 먼저 pH는 원수가 6.7 이었고 Aeration을 하지않은 폐수는 거의 변화가 없었으나 Aeration을 실시한 폐수는 6.9, 7.1, 7.6 으로 pH가 올라감을 알수 있었으며, COD는 Aeration에 의하여 3.4~12.7 %, SS 는 Aeration에 의하여 2.2~4.5%, 그리고 음이온계면활성제는 18.0~24.0 %의 제거효율을 나타내어, Aeration효과는

Table 3. Variation of effluent concentration from standard solution during filtration by Activated carbon

items \ time (hr)		standard solution	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
C O D	con. (mg/l)	111.8	52.3	77.6	109.6	110.2	110.2	109.7
	removal rate(%)		53.2	30.6	2.0	1.4	1.4	1.4
anionic surfactants	con. (mg/l)	20.0	0.36	0.40	4.68	19.60	19.60	19.62
	removal rate(%)		98.2	98.0	76.6	2.0	2.0	1.9

Table 4. Variation of effluent concentration from standard solution during filtration by sand

items \ time(hr)		standard solution	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0
C O D	con. (mg/l)	111.8	60.6	85.1	108.9	110.0	110.0
	removal rate(%)		45.8	23.9	2.6	1.6	1.6
anionic surfactants	con. (mg/l)	20.0	4.04	9.58	17.85	19.62	19.64
	removal rate(%)		79.8	52.1	12.1	1.9	1.8

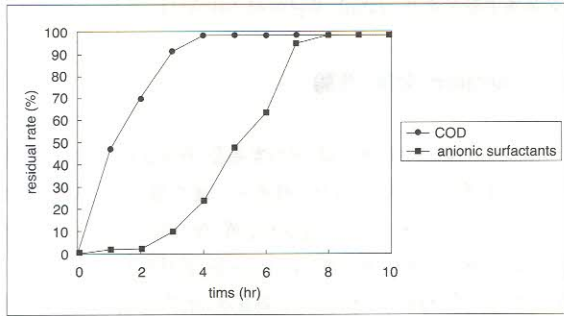


Fig. 5. Breakthrough curve by activated carbon (column flow rate : 10.0cm/min, column dimension : 1.0 × 5.0cm)

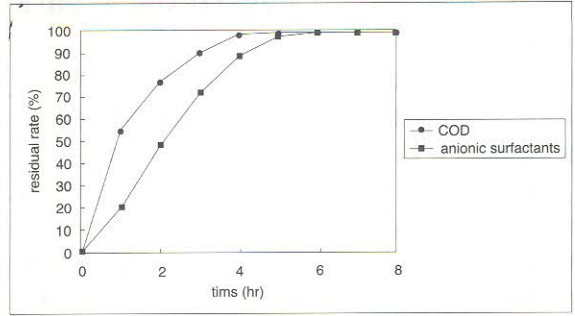


Fig. 6. Breakthrough curve by sand (column flow rate : 10.0cm/min, column dimension : 1.0 × 5.0cm)

음이온계면활성제가 가장 높게 나타났으며 그외 COD, SS 도 어느정도 감소하는 것으로 나타나, 세탁업소 등 Air Pump를 보유하고 있는 사업장에서는 간단한 장치만으로 상당히 효과적인 폐수처리 보조장치가 될 것으로 사료된다.

#### 4. 濾過實驗

여과장치에 의한 폐수원수의 제거효율을 보기위하여 Fig. 1, Fig. 2 의 수직, 수평여과시설에 각각 활성탄(400g)과 모래(1,000g)만을 넣고 폐수원수를 통과시켜 활성탄 및 모래의

Table 5. Effect of Aeration in raw wastewater

(unit : mg/l)

day items	raw water	2 day			4 day			7 day		
		not treated	treated	removal rate(%)	not treated	treated	removal rate(%)	not treated	treated	removal rate(%)
p H	6.7	6.7	6.9		6.7	7.1		6.7	7.6	
COD	50.6	49.8	48.1	3.4	44.0	42.3	3.9	38.5	33.6	12.7
SS	28.0	27.8	25.5	2.2	27.0	26.4	3.7	26.4	25.2	4.5
Anionic surfactants	29.40	29.11	23.87	18.0	28.69	22.63	21.11	27.79	21.12	24.0

Table 6. Effect of slow filtration by activated carbon and sand

(unit : mg/l)

items	method raw water	vertical filtration		horizontal filtration	
		activated carbon	sand	activated carbon	sand
p H	7.13	7.57	7.18	7.35	7.14
COD	68.6	48.6	56.0	51.4	58.4
SS	49.0	29.0	21.0	34.0	25.0
n-Hexane	4.4	1.8	1.6	4.2	3.9
Anionic surfactants	2.05	0.85	1.83	1.18	1.91

제거효율 및 수직, 수평 여과의 효율을 비교한 결과는 Table 6과 같았다.

Table 6에 나타난 바를 보면 활성탄 및 모래 모두 수직여과가 수평여과보다 제거효율이 높았으며, 여과재별 제거효율을 보면 COD와 음이온계면활성제는 활성탄이, SS와 n-Hexane는 모래의 제거효율이 높은 것으로 나타났다.

그리고 수직, 수평여과장치에 활성탄(400 g)과 모래(1,000g)를 모두 넣고 폐수원수를 통과시킨후, 유출액의 농도를 분석한 결과는 Table 7, 과 같았다.

Table 7의 결과를 보면 수직여과방법은 각 항목의 제거

효율이 43.3%~79.5%이었고, 수평여과방법은 제거효율이 31.8%~63.1%로 나타났으며, 특히 부유물질과 n-Hexane, 음이온계면활성제는 수직, 수평여과방법 모두 상당히 높은 제거효율을 나타내었다. 수직여과방법과 수평여과방법을 비교하면 COD 등 모든 항목에서 수직여과방법이 수평여과방법보다 약 10%이상 높은 제거효율을 나타내고 있으며, 본 실험에 사용한 폐수원수의 처리수는 모두 배출허용기준<sup>10)</sup> 이내였다. 위에 나타난 결과를 보면 세차폐수원수 자체의 농도가 대부분 배출허용기준을 크게 초과하는 악성폐수가 아닐뿐 아니라, 배출허용기준 초과 요인중 대부분이 산,알칼리 등 약품투입량

Table 7. Effect of slow filtration by vertical filtration and horizontal filtration

items	sample no.	raw wastewater	vertical filtration		horizontal filtration	
			Con. (mg/l)	removal rate(%)	Con. (mg/l)	removal rate(%)
p H	1	7.13	7.68		7.28	
	2	7.43	7.93		7.52	
	3	6.48	7.16		6.62	
	4	8.10	8.51		8.27	
	5	6.92	7.73		7.11	
COD	1	68.6	38.8	43.4	41.6	39.4
	2	49.4	21.8	55.9	29.4	40.5
	3	91.3	46.1	49.5	53.1	45.8
	4	130.2	60.2	53.8	79.3	39.1
	5	16.6	7.5	54.8	8.6	48.2
SS	1	49.0	18.0	63.3	20.0	59.2
	2	36.8	11.4	69.0	19.8	46.2
	3	69.9	17.5	75.0	28.9	58.7
	4	109.2	29.5	73.0	40.3	63.1
	5	12.8	4.2	67.2	6.0	53.1
n-Hexane	1	4.4	1.1	75.0	3.0	31.8
	2	2.7	1.0	63.0	1.6	40.7
	3	8.2	3.5	57.3	4.3	47.6
	4	11.4	3.9	65.8	6.4	43.9
	5	1.9	0.9	52.6	1.1	42.1
Anionic surfactants	1	2.05	0.42	79.5	0.94	54.1
	2	2.01	0.89	55.7	1.16	42.3
	3	9.21	3.77	59.1	4.91	46.7
	4	11.04	5.41	51.0	7.31	33.8
	5	1.82	0.84	53.8	0.99	45.6

의 부적절, 유수분리조의 機能低下, 집수조의 관리부실, 그리고 과도한 세제류의 사용으로 일어나는 것으로 사료되며, 또한 夜間 및 公休日 등 취약시간대의 폐수 무단방류 우려 등을 감안하면 藥品을 사용하지 않고 활성탄과 모래를 사용한 완속여과장치에 의한 세차폐수 처리방법은 Air pump 와 Screen에 의한 補助處理, 유수분리조의 적절한 관리를 유지하면, 소규모 사업소에서 보다 쉽게 세차폐수를 處理할수 있을 것으로 사료된다.

다만 부동액 등 고농도의 악성폐수의 유입방지와, 활성탄 및 모래의 교체와 처리방법, 활성탄 재생방법 등에 대한 研究가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

### 結 論

완속여과에 의한 폐수처리의 效率를 研究하기 위하여, 활성탄 및 모래에 사용한 수직, 수평 여과장치에 의한 폐수의 제거효율 및 실용성에 대하여 실험을 한 結果 아래와 같은 結論을 얻었다.

1. 활성탄에 의한 COD 및 음이온계면활성제의 흡착은 Freundlich 식에 따랐으며,  $1/n$  은 각각 3.4683, 0.4000 이었다.
2. 고정상에 의한 연속통수 실험에서 COD 및 음이온계면활성제의 Breakthrough point 는 활성탄 충전시 250 ml, 1,700 ml, 모래 충전시 200 ml, 400 ml 부근에서 나타났다.
3. 세차폐수원수에 대한 Aeration 실험에서 COD 는 3.4 ~ 12.7 %, SS는 2.2 ~ 4.5 %, 음이온계면활성제는 18.0 ~ 24.0% 의 제거효율을 나타내었다.
4. 폐수원수에 대한 활성탄과 모래의 여과실험에서 COD 및 음이온계면활성제는 활성탄이, SS 와 n-Hexane 는 모래의 제거효율이 높았다.

5. 활성탄과 모래에 의한 수직, 수평여과실험에서 수직여과방법은 세차폐수 각 항목의 제거효율이 43.3 ~ 79.5% 이었고, 수평여과방법은 31.8 ~ 63.1%로 나타나 수직여과방법이 수평여과방법 보다 약 10.0 % 이상 높았다.

### 參 考 文 獻

1. 김민호 : 모래층의 깊이에 따른 垂直 및 水平的 완속여과의 效率에 관한 실험적 연구. 서울대학교 석사학위논문, (1992).
2. 신항식 : 마찰을 첨가한 완속여과지의 원수처리. 韓國上下水道學會紙 2(1): 9-21, (1988).
3. 탁태영, 광정훈 : 톱밥모양 여과법에 의한 畜産廢水 淨化效果 研究. 농촌진흥청 농업과학논문집 35(1): 607-613, (1993).
4. Visscher, J, T : Slow sand filtration : design, operation, and maintenance. Journal of AwwA, 82(6): 67-71, (1990).
5. Udom kompayak, and Thonglaw Dejthai : Treatment efficiency and filtration rate of a horizontal sand filtration system. Asia-Pacific Journal of Public Health, 4(4), (1990).
6. World Health Organization : Operation and Control of water treatment process, (1967).
7. 環境部 : 水質汚染公定試驗方法. (1997).
8. 柳井弘 : 활성탄 讀本, 日刊工業新聞社. p 98-99. 東京, (1976).
9. McGraw-Hill : American Water works association ; Water quality and treatment, 4th , New York, (1990).
10. 환경부 : 환경정책 기본법, (1996).