

상수 정화법에 관한 연구

(폭기식 다단여과에 의한 호기성균의 생물화학적 산화작용을 응용)

조선대학교 의과 대학 예방의학교실

정요한·문재규

조선대학교 약학대학 위생화학교실

주흥규·서화중

—Abstract—

A Study on Purification of Water Works by Multi-filter Bed Method with Aeration

(Application of Biological Oxidation by Aerobic Microorganism)

Yo Han Chung, Jae Kyu Moon.

Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine, Chosun University

Heung Kyu Jhoo, Hwa Jung Seo.

Dept. of Hygienic Chemistry, College of Pharmacy, Chosun University

5 bed sand filter, applying biological oxidation, was designed and studied on the treatment of water works. Never using any coagulant agent (drugs), which may cause water pollution in pre-treatment of head water, the auther attempt a high rate filtration by the microorganism (nitrofication bacteria) end plant which populate in multi layer sand beds.

The result are as follows; In order to evaluate the oxygen effect on filtration, oxygen was injected in aeration tank attached to each filter tank while filtration, and NH_3 was tested as a representaiive ingredient. It was found out that the aeration method was more effective, with over 33% of NH_3 removal capacity, than the anerobic and this 5 bed filter showed double removal capacity of NH_3 by comparing with conventional sand bed (2 stage bed). According to the examination of two kind of head water, pre-treated with coagulant agent and activated carben, the filtration capacity was affected by the polluted condition of head water, resulting that lower value of pollution and slower velocity of filtration showed more efficiency of NH_3 removal. In this experiment NH_3 content tested in treated water had a fairly good correlation with others.

I. 서 론

상수도의 정수장에서 현재 완속사층여과법과 일부 급속여과법에 의하여 정수조작을 하고 있는데 완속사층여과법에 의한 원수처리는 급속여과법에 비교하면 생물화학적 산화작용 면에서 그의 여과능력이 우수하다고 보겠으나 약품침전법을 병행하여 1~2 단계의 조작을 하는 종래의 완속사층여과법은 여과 능력에 한계성이 있어 원수의 수질이 심히 악화되어 있을때 만족 할만한 효과를

기대할 수 없으며 또한 전처리 조작으로서 오락수 침전을 위해 투입되는 약품의 량도 원수수질의 악화된 정도에 비례하여 증가되어야 하므로 이에 따른 경제적인 문제 뿐만아니라 처리수질에 불필요하고 유해한 전해질이 증가되는 현상은 결국 수질 공해를 초래 하므로 이점을 감안한 저자는 종래의 완속여과 법과 급속여과법을 개량하여 오락원수침전 위한 약품 처리법을 지양하고 대신물리화학적 처리 능력을 높이고 아울러 수중에 오염된 유기질 특히 유기질소화합물을 산화 분해 안정화 시키는

호기성 세균에 의한 생물화학적 산화법을 최대한 활용한 폭기식 다단계 (5 단계) 여과법^{1,2,3)}을 고안하여 오타쿠 원수처리 실험을 행하고 주로 암모니아 산화제거율을 관찰 하므로써 그의 정수 능력을 검토하고 그 결과 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험장치 및 실험방법

실험장치는 fig 1 과 같이 조립한 폭기조를 부착한 5 단 완속여과장치로서 여속은 제 1 단부터 제 5 단까지 각각 120 m/day, 100 m/day, 20 m/day, 10 m/day, 5 m/day 로 하여 단위시간에 상이한 유속을 갖으며 각단에서 유출되어 나오는 여수량이 동일하게끔 각단의 체적을 만들기 위해서 각여층은 모두 동일한 두께 70 cm 로 하여 전 5 단의 두께의 합이 종래의 완속여과층 (175 cm)의 2 단의 합과 같도록하고 제 1 단의 반경을 10 cm 로 한것을 기준으로 하여 기타 여과조의 반경 (r)을 Table 1 과 같이 정하였다.

Table 1. Radius of Each Filtration Bed

Fiter Bed.	I	II	III	IV	V
r (cm)	10	11	24	35	49
v (m/day)	120	100	20	10	5

r : Radius dependent on the equation of continuity
v : Filtration velocity

여재는 1,2 단의 상층에 사리 중층에 소쇄석 중쇄석 하층에 자갈을 사용하고 3,4,5 단의 상층에 세사 중층에 사리 소쇄석 하층에 중쇄석을 사용 하였다.

제 1,2 단에서는 예비적 처리로서 단지기제적 작용에 의한 조대부유물질을 제거케하고 3,4,5 단에서는 제탁과 산화 정화 시키는 것이다. 조작중 여과조 사이에 연결된 폭기조에 의해서 미여수에 산소를 충분히 포함케 함으로써 물과 공기 접촉을 최대한하여 여사층의 호기성 Bacteria 의 작용을 활발케하여 그의 산화력을 충분히 발휘케 하

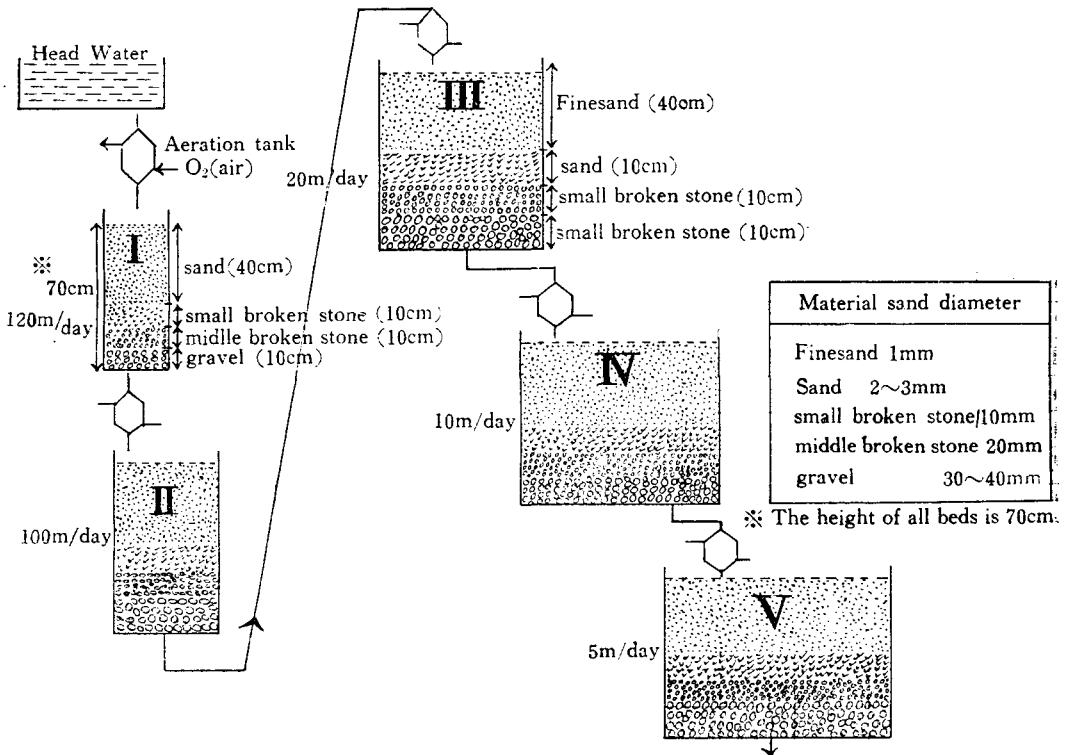


Fig 1. design of 5 filter Sand beds

였다.

본실험에 사용된 검수는 1971년 8월 20일부터 9월 5일 사이에 광주시 관할 제 3 수원지 (극락강)의 집수장에서 채수한 검수를 즉시 실험실에 운반하여 실험하였으며 오탁원수의 성분중에서 종래의 약품침전법과 완속여과법으로는 제거가 곤란한 NH₃-N의 제거를 중심으로 기타 용해성 유기물질량과 관련이 있는 KMnO₄ 소비량 유해성금속 Pb, 탁도, 대장균의 제거 효율 및 용존산소 소비량에 관한 수질분석을 일본위생시험법⁴⁾ 및 Standard Method⁵⁾에 준하여 시험하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1) 폭기식과 혐기식상태의 여과능을 비교

본실험장치에 부착된 폭기조에 의한 영향과 호기적인 상태하에서의 여과효율을 검토하기 위하여 검수로서 암모니아함량 0.1 ppm 인 원수수질에 미리 NH₃-N 4 ppm, Pb 0.1 ppm 을 함유토록 한후 폭기조에 공기를 주입하며 여과처리를 행하고 다른 한편으로는 공기 접촉을 차단한 혐기적 조건하에서, 여과한후 각 수질 분석치를 Table. 2. 에서 와 같이 비교 하였다.

Table 2. Head Water Quality and Treated Water Quality Both Aerobic and Anaerobic Filtration with Their Removal Percentage

Classification	Head Water		After Aerobic Filtration	Removal Percentage (%)	After Anaerobic Filtration		Removal Percentage (%)
	M	S. D.	M		M	S. D.	
NH ₃ -N	M	4	0.8	80	M	2.1	47
	S. D.	±1.5	±0.05		S. D.	±1.3	
Pb	M	0.1	0.02	80	M	0.03	70
	S. D.	±0.08	±0.004		S. D.	±0.005	
Turbidity	M	45.7	0.2	99.5	M	0.8	96
	S. D.	±5.4	±0.05		S. D.	±0.1	
KMnO ₄ Consumed	M	18	2.3	87	M	5.3	71
	S. D.	±2.3	±0.4		S. D.	±1.2	
E.R	M	98	17.6	82	M	20.1	79
	S. D.	±10.2	±2.1		S. D.	±4.3	
E. Coli	M	1800	22	98	M	14	36
	S. D.	±420	±5		S. D.	±6.5	

M: Mean value. S.D: Standard deviation. Unit : ppm.

호기상태에서 훨씬 좋은 여과성적을 보이며 NH₃의 제거율을 예로 볼때에 혐기상태 (47%) 보다 호기적상태 (80%)에서 좋은 제거율을 보인다. 그러나 대장균의 제거율은 혐기상태 보다 떨어진다. 실제응용면에서 여수량이 많은 경우 폭기조를 없애고 산수식도 가능 하리라 사료 된다.

2) NH₃-N 농도별 제거효율

원수의 NH₃-N 농도를 1에서 3.6 ppm 까지 조절하여 본실험 장치에 의한 각 농도별 산화 제거효율을 실험하여 Table 3에 보였다.

문헌에 의하면 충분한 산소공급과 최적 PH(8.5) 및 온도 (20°C) 하에서 NH₃-N 농도 60 ppm 까지는 미생물의

Table 3. Filtration Effect on Various NH₃ Concentration

NH ₃ of Head Water	1	2	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
NH ₃ Residue	0	0	0	0	0	0.12	0.19	0.32	0.4	0.52

암모니아 산화반응을 억제하지 않는다는 보고⁶⁾가 있는데 이상의 실험결과에 의하면 NH₃-N 농도가 증가 함에 따라 산화 제거율은 감소되어 NH₃ 3.3 ppm 이상부터는 산화 제거량이 약 3.2 ppm 으로 고정됨을 보였다. 그러므로 비교적 적은량의 수질이 라면 본실험 장치에서 보이는 한계점이 별로 문제되지 않을 것으로 사료된다.

3) 각단의 NH₃-N 제거능력

각 여과단의 최저부에 채수구를 만들고 조작중 미여수 NH₃-N 농도 4 ppm 에 대한 각 여과층의 NH₃-N 제거율

을 실험하고 아울러 종래 완속 2 단 여과층의 NH₃-N 제거율도 함께 실험하여 Table 4 에 비교 하였다.

Table 4. Removal Capacity of NH₃ in Each Filter Bed and Compared with Conventional Filter Bed

Filter Bed (Stage)	I	II	III	IV	V	Total	Conventional		Total
NH ₃ -N Removal (ppm)	0.032	0.084	0.68	1.0	1.44	3.2	0.76	0.88	1.64
NH ₃ -N Removal Percentage	0.8	1.2	17	25	36	80	19	22	41

실험결과에 의하면 단지 4,5 단에서의 제거능을 합이 61%로서 종래 완속여과법의 NH₃ 제거량의 약 1.5배 전체적으로는 약 2배의 여과능을 보였다. 이와같이 4,5 단에서의 제거효율이 큰 이유는 1,2,3 단에 의한 전처리 효과 즉 다른 유기물이 일차 제거 되기 때문이라고 사료되며 여속이 완만하기 때문에 충분한 산화작용이 일어난다고 있음을 추측케 한다.

4) 원수수질이 NH₃-N 제거효율에 미치는 영향

Table 5. The Filtration Effect on Various NH₃ Concentration by two Kind Pre-treated Head Water.

NH ₃ ppm in Head Water	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	4
NH ₃ Residue in Drug Treated Head Water	0	0	0	0	0	0.012	0.11	0.21	0.33
NH ₃ Residue in Activated Carbon Treated Head Water	0	0	0	0	0	0	0.01	0.10	0.24

2) 의 항에서 실험한 NH₃ 제거율 3.2 ppm 과 비교하여 보면 약품 침전법에서는 NH₃ 제거율이 3.6 ppm 으로 좋은 성적을 보이며 활성탄여과 전처리한 결과는 더욱 양호한 성적을 보여 3.79 ppm 였다. 이와같은 현상은 3) 항에서 지적했듯이 미여수 수질내의 다른 오염물질 즉 유기질량이 NH₃-N 제거율에 직접영향을 주어 유기질이 많을 수록 NH₃-N 제거율은 떨어 짐을 볼수 있다.

5) NH₃-N 제거와 산소량의 관계

NH₃-N 제거에 소모되는 산소량을 알기 위하여 4) 항에서 전처리한 2 종의 미여수에 NH₃-N 가 0.5~2 ppm 함유 되도록하고 산소는 9 ppm 으로 한후 산소의 재공급없이 NH₃ 농도별 NH₃ 산화 제거에 소모되는 산소량을 각각 측정하여 Table 6 에 표시하였다.

Table 6. The State of O₂ Consume in two Kind of Pre-treated Head Water Contained Various NH₃ Concentration

NH ₃ (ppm)		0.5	1	1.5	2
Oxygen Consumed (ppm)	in Drug Flocculation Water	3.1	6	8.6	12.3
	in Activated Carbon Treated Water	2.8	5.4	7.6	11

미여수 수질을 NH₃ 3.2 ppm 에서 4 ppm 까지 조절하여 NH₃-N 산화제거에 대한 미여수수질이 미치는 영향을 검토 하였다.

즉 a) 원수를 약품 (침전제)로 응집 침전 시킨것.

b)a)를 더욱 활성탄 여과하여 유기물질을 흡착 제거한 것.

이상 2 종을 전처리한 미여수를 폭기식 5 단 여과한 결과를 Table 5 와 같이 비교 하였다.

문헌에 의하면 NH₃-N 1 ppm 산화에 요하는 산소량은 이론적으로 4.44 ppm 이라고 보고⁷⁾ 되어 있는데 본실험 결과에 의하면 오탁질이나 오염물질이 적은 미여수 일수록 이론치에 가까워지는 산소 소비치를 나타내어 단위 용존산소량에 대응하는 NH₃-N 제거량이 많아지는 경향을 보인다.

6) 1개단 내에서의 NH₃-N 산화상황과 산소 소비 상황

제 5 단 탄을 분리하여 여과 사층 70 cm 에 대하여 10 cm 마다 채수구를 만들고 1 단에서 4 단까지 통과한 5 단째의 미여수에 NH₃-N 4 ppm, O₂ 9 ppm 을 함유 되도록하여 5 m/day 의 여속으로 여과하는 동안 1 시간 마다 채수하여 NH₃ 및 O₂ 를 측정하여 하나의 단내에서의 NH₃ 산화에 소모되는 O₂ 량을 측정하여 Table 7 에 보였다.

실험결과에 의하면 산소는 여상표면으로 부터 20 cm 이 내에서 84% 이상 소비되며 O₂ 가 Zero 상태인 최하단에 와서는 NH₃-N 는 오히려 환원에 의하여 증가현상을 보임이 주목되며 9 ppm 의 산소가 1 단내에서 거의 완전 소모 되었다.

Table 7. The State of O₂ Consume in one Filter Bed

Site	Layer	NH ₃ Concentration (ppm)	O ₂ Concentration
1	10	4	8.9
2	20	2.78	1.4
3	30	2.6	1.2
4	40	2.6	1.2
5	50	2.6	1.1
6	60	2.61	0
7	70	2.61	0
Residue		2.61	0

7) 호기적 조건 강화에 의한 여과효과

각 여과층 밑으로 압축공기를 주입시키며 원수처리를 한 결과 Table 8 과 같이 훨씬 높은 여과율을 보여 산소의 영향이 큼을 입증 했다.

Table 8. O₂ Consume State in Strengthen Aeration Method Compared eith Aeration Method (Unit:ppm)

Classification	Head Water (ppm)	in Aeration Method	in Strengthen Aeration Method
NH ₃	4	0.8	0
Pb	0.1	0.02	0.01
Turbidity	50	0.2	0
KMnO ₄	16	2.1	1
E.R	103	18	15
E-Coli	1600	25	24

8) pH, 온도의 영향

미생물의 질소산화반응 최적 pH 8.5 범위를 벗어난 pH 5 및 pH 10 로 조절한 미처리원수 실험결과는 NH₃-N 제거율이 80% 에서 각각 45% 및 60% 로 저하되어 산성의 영향이 더크며 온도 역시 최적온도 20°C 를 벗어난 10°C 및 30°C 로 조절한 미여수 처리결과는 최적온도에서의 제거율 80% 가 각각 40% 와 60% 로 떨어 졌다. 그리고 온도 보다는 pH의 영향이 크게 나타났다.

9) NH₃ 제거율과 타성분 제거율 간의 상관성

본실험의 기초가 되는 NH₃ 제거율과 타성분 제거율 간의 상관관계를 보기위해 Table 1 의 호기적 조건하에서 행한 실험성적으로 부터 상관계수 및 회귀직선을 Table 9

에 표시 하였다. 특히 유해금속인 Pb의 제거율이 NH₃와 높은 상관을 보이고 있음이 주목 된다.

Table 9. Relationship between NH₃ and Other Ingredient in treated Water

X	Y	Pb	Turbidity	KMnO ₄	E.R	E. Coli
	NH ₃	a	7.5	0.85	0.1	0.017
	b	0.65	0.63	0.57	0.60	0.62
	r	0.6	0.85	0.8	0.72	0.79

a & b : from the Regression equation
r : Correlation Coefficient

N. 결 론

1) 1971년 8월 20일부터 동년 9월 5일 사이 수도수원의 정수법으로서 미생물의 생물화학적 산화법을 이용한 폭기식 5단 사층여과법을 고안하고 NH₃ 산화제거율을 기준으로 한 오탉원수처리 실험을 하여 다음 결론을 얻었다.

2) 호기상태의 여과효율은 혐기상태 보다 높아 NH₃ 경우 33% 이상의 차를 보이며 제 5단 1단내에서 9ppm 이상의 산소가 거의 소모 됨을 볼때 산소의 영향이 큼을 본다.

3) 미여수 오염도가 클수록 NH₃의 단위 ppm을 산화시키는데 필요한 O₂ 량이 이론치 보다 증가되어 원수의 오염도가 여과효율에 영향을 미치며 대표적으로 여속이 제일 느리고 (5m/day) 비교적 오염물질이 많이 제거되어 유입되는 제 5단은 전체 36%의 가장 많은 NH₃ 제거량을 보인다.

4) 온도의 영향을 볼때 겨울철 보다 여름철에 여과율이 높은 것으로 보인다.

5) 본 실험장치에 의하면 NH₃ 제거 한계치는 3.2ppm으로서 NH₃ 농도가 0~4ppm 정도인 미처리원수에서는 80~100%의 NH₃의 제거가 가능하며 금속류 (Pb)의 경우도 80% 제거 됐다.

6) NH₃ 산화제거율과 다른성분의 제거율간에는 높은 상관성을 보여 NH₃를 기준으로 행한 본 실험의 의의를 크게하고 있다.

참 고 문 헌

- ① Mohanka. S. S : *Theay of multilayer filtration; Jour. San. Eng. Div proc. Amer. Soc. Civil Engr* 95 (SA 6) 1019 (1969)
- ② Askew. MW.et al : *A Suggested Formula for the Proc of Biological filtration; Water pall. Controll* 699. 209 (1970)
- ③ Hanumanulu : *Vs, performance of Deep Water poll Contr. Fed* 42.1446 (1970)
- ④ 일본약학회편 : 위생시험법주해
- ⑤ APHA. AWWA. WPCF : *Standard methods of for the examination of water and waste water* (1965)
- ⑥ Wildet al : *Factor offecting on nitrification Kinetics: Jour water poll Control Fed. Vol* 46, 1846 (1971)
- ⑦ 前出繁次등 : 다단여과에 의한 오탉수실험 용수와 폐수 *Vol* 13-9 (1154)