

암모니아성 질소제거를 위한 강변여과수에서의 수처리 공정

Water Treatment Process for Removal of Free Ammonia in Bank Filtrated Water

추태호, 이중석*

국립밀양대학교, 창원시 상하수도 사업소*

Choo Tae-Ho, Lee Jung-Suk*

Miryang National Univ., Changwon
Cityhall*

요약

창원시 북면지역은 낙동강변에 위치하여 강물의 수량은 부족하지 않으나 계절별로 수질과 수량의 변동이 심하고 지역 내의 암반지하수에서도 철, 망간, 구리 등이 검출되어 강변여과수를 개발하기로 하였다. 본 연구는 북면지역에 공급할 지방상수도를 설계하여 설치하는 동안에 강변여과수에서 암모니아성질소가 먹는 물 수질 기준을 초과하고 철과 망간이 검출되어 생물학 적처리로 제거되는지를 알아보기 위하여 Pilot-Plant를 설치하여 시험 하였고 수도물을 생산하여 공급하고 있는 전자동침전여과기의 처리 공정을 변경하여 그 성과를 검토하였으며 하루 10,000m³를 생산할 수 있는 북면정수장을 설치하여 운영하면서 생물학적 처리방법의 효과를 분석하였다.

Abstract

Buk-myeon area in Changwon is located near Nakdong river and not short of quantity of river but the water quality and quantity is changed extremely by seasons, and Fe, Mn, Cu are found at the base rock underground water. Therefore, bank filtrated water developing is settled. At this research, Pilot-Plant is built to find out Fe and Mn are detected and eliminated by biological process and the ammonia is exceeded the drinking water quality criteria at the bank filtrated water while designing and facilitating the local water supply facilities at Buk-myeon area. Also, check results of the changed treatment process of automatic precipitating filter, which is producing and supplying drinking water, and analyzing the Biological Process Effectiveness by building and running Buk-myeon Water Treatment Facility, which could provide 10,000m³/day.

I. 서론

암모니아성질소의 제거방법 중 상수도에서 많이 사용하는 파괴점염소처리법에 대하여는 1995년 목포시 상수도사업소의 배성식, 이문호의 “영산강 원수취수에 따른 암모니아성질소 제거방안”에 대한 연구가 있었고 시험결과에 따라 계산된 염소의 주입으로 하루 120,000m³ 생산규모의 정수장에서 암모니아성질소가

완전히 제거된바 있다. 생물학적 처리법으로는 1985년 영남대학교의 박영규, 조병락의 “생물학적 활성탄 여과탑에서 암모니아성질소에 미치는 방해물질의 영향”에 대한 연구결과 다단생물막 반응기의 원리를 이용한 생물학적활성탄 여과공정으로 암모니아성질소를 질산화반응으로 산화시킬 때 방해계수값은 Phenol 12.8mg/ℓ, Cr 54mg/ℓ, As 280mg/ℓ이었

다. 그리고 1998년 동아대학교 토목공학과 박경덕의 석사학위논문 “생물활성탄 공정에 의한 용존유기탄소의 제거특성연구”에는 BAC에서 암모니아성질소의 질화반응속도상수는 목탄계활성탄이 $K=0.1516$ 이며 석탄계활성탄이 $K=0.0705$ 로 나타났으며 이결과 질산화반응은 목탄계활성탄이 석탄계활성탄보다 빠르게 일어나고 질산화반응의 온도계수는 목탄계활성탄이 1.060이었고 석탄계활성탄이 1.131로 나타났다.

암모니아탈기법에 대한 연구는 2000년 아주대학교 환경도시공학부의 이병진, 조순행의 “암모니아탈기공정을 이용한 침출수의 암모니아성질소 제거에 대한 연구”에서 암모니아탈기공정시 적정 pH는 10.5로 조사되었고 pH조절에는 NaOH보다 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 더 적합하였으며 pH 10.5로 조절하기 위하여 $10.9\text{g}/\ell$ 의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 소요되었다. 암모니아성질소 배출농도를 $500\text{mg}/\ell$ 이하로 유지하기 위하여 소요되는 반응시간은 35°C 에서는 2시간, 55°C 에서는 1시간이 소요되었다.

이와 같이 암모니아성질소의 제거를 위한 여러공정에 대하여 많은 연구가 있었으나 복면지역의 강변여과수와 같이 연중 수온과 암모니아성질소의 농도변화가 적으면서 수돗물을 생산하기 위한 생물학적처리에 대한 연구자료가 부족하여 연구결과를 비교하는데 어려움이 많아 현장에서 실증시험을 실시하여 비교분석 하였다.

II. 연구대상지역 및 시험방법

연구대상지역 및 시험방법은 아래와 같다.

2.1 pilot-Plant

- (1) 시설규모 : $5\text{m}^3/\text{일}$
- (2) 운영기간 : 2000. 2. 4 - 2001. 2. 28
- (3) 수원 : 강변여과수

2.2 전자동 침전여과기(마금산온천정수장)

- (1) 시설규모 : $3,000\text{m}^3/\text{일}$
- (2) 운영기간 : 2000. 4. 20 - 2001. 12. 31
- (3) 수원 : 강변여과수

2.3 복면정수장

- (1) 규모 : $10,000\text{m}^3/\text{일}$
- (2) 운영기간 : 2002. 1. 1-현재(2004년 12 월)
- (3) 수원 : 강변여과수

2.4 암모니아성질소와 질산성질소와의 관계시험

- (1) 시험기간 : 2001. 2. 8 - 2. 28(매일1회)
- (2) 시험방법 : 자체시험(DR2000)
- (3) 시험시설 : Pilot-Plant

2.5 포기 미실시와 암모니아성질소 제거시험

- (1) 시험기간 : 2000. 4. 23 - 4. 30(8일간)
- (2) 시험방법 : 자체시험
- (3) 시험시설 : Pilot-Plant

2.6 염소투입과 암모니아성질소 제거시험

- (1) 시험기간 : 2000. 3. 26 - 4. 4(10일간)
- (2) 시험방법 : 자체시험
- (3) 시험시설 : Pilot-Plant

2.7 염소투입으로 손상된 처리기능 회복시험

- (1) 시험기간 : 2000. 4. 5 - 4. 21
- (2) 시험방법 : 자체시험
- (3) 시험시설 : Pilot-Plant

2.8 응집제 사용과 암모니아성질소 제거시험

- (1) 시험기간 : 2000. 3. 24 - 2000. 4. 7
- (2) 시험방법 : 자체시험
- (3) 시험시설 : 전자동침전여과기

2.9 암모니아성질소가 제거되는 공정시험

- (1) 시험기간 : 2004. 4. 29 - 5. 7
- (2) 시험방법 : 자체시험
- (3) 시험시설 : 북면정수장

북면 정수 장	2002.2.20 -	강변여과수⇒ 공기접촉 ⇒ 급속여과 ⇒ 활성탄여과	평균 농도	0.574	-	0.0001 32	99.99
	2004.12.3 1 (1044일)		시험 회수	27	-	76	
			누계 농도	15.59	-	0.01	

2.10 무기성 총질소의 변화에 대한시험

- (1) 시험기간 : 2004. 11. 22 - 12. 3
- (2) 시험방법 : 자체시험
- (3) 시험시설 : 북면정수장

2.11 북면정수장 시운전 결과 분석

- (1) 시운전기간 : 2001. 12. 4 - 2002. 3. 23
- (2) 시험시설 : 북면정수장

2.12 정수처리 효과분석

- (1) 분석기간 : 2002. 3 - 2002. 12
- (2) 시험시설 : 북면정수장

강변여과수 원수에서 암모니아성질소의 농도가 점차 낮아지는 이유는 대수층에 오랫동안 머물러있던 물보다 하천물이 유입되어 취수되는 비율이 점차 많아지는 것이 원인으로 추정된다. 이같은 현상은 대산면지역의 강변여과수에서 철과 망간의 농도가 점차 낮아지는 현상과 같다고 볼 수 있다.

3.2 시운전결과

급속여과후 암모니아성질소가 완전 제거 되는 소요기간은 2001. 12.4 - 2002. 3.8까지 102일이다. 활성탄여과후 완전 제거되는 소요기일은 2001. 12. 4 - 2002. 1. 16 까지 이다. 3월 8일 이후 급속 여과수에서 암모니아성 질소가 검출되지 않은 것으로 보아 암모니아성질소가 제거되는 공정은 포기후 급속 여과 공정으로 판단된다.

III. 적용 및 분석

3.1 정수장별 시험결과 비교

연구기간동안의 3곳의 정수장별 암모니아성질소의 농도는 표 1과 같다.

[Table 1] 정수장별 시험결과 비교

정수 장별	운영기간	처리공정	암모니아성질소 농도mg/ℓ				
			구분	강변 여과수	급속 여과	활성탄 여과	제거율
Pilot- Plant	2000.2.4- 2001.2.28 (389일간)	강변여과수⇒ 공기접촉 ⇒ 급속여과 ⇒ 활성탄여과	평균 농도	1.2619	0.0857	0.0766	99.94
			시험 회수	391	360	391	
			누계 농도	413.99	48.913	41.227	
전자 동침 전여 과기	2000.2.9- 2001.12.3 1 (680일간)	강변여과수⇒ 공기접촉 ⇒ 전자동침전 여과기	평균 농도	0.845	-	0.08	99.90
			시험 회수	85	-	98	
			누계 농도	72.12	-	7.83	

3.3 정수처리 효과분석

효과 분석 목적은 유럽선진국에서 상수도 원수로 사용하고 있는 강변여과수에 대하여 우리나라에서 처음으로 개발하여 지방상수도로 공급함에 따라 계획한바와 같이 정수가 되는지에 대하여 분석하고자 하였다. 분석기간은 2002. 10. 1 - 2003. 11. 29이며 검사방법은 한국수자원공사 경남권수질검사소에 의뢰하였다.

암모니아성질소와 질산성질소부분 효과분석결과 북면정수장의 수질중 암모니아성질소는 낙동강 표류수에서는 평균 0.05mg/ℓ로 적은 양이 검출되었으나 강변여과수에서는 0.75mg/ℓ로 비교적 높게 검출되고 정수된 수돗물에서는 검출되지 않았다. 질산성질소는 낙동강 표류수에서 평균 2.2mg/ℓ로 비

교적높게 검출되고 강변여과수에서는 평균 0.1 mg/ℓ로 비교적 낮게 검출되었으며 정수에서는 평균 1.0으로 나타났다. 북면지역 강변여과수에서 암모니아성 질소의 농도가 높은 이유는 강변여과수에서 암모니아성 질소의 농도가 높은 이유는 하저 퇴적층을 통한 경로와 취수정주변으로부터 오염경로로 볼 수 있다. 일반적으로 하저퇴적층으로부터 원인이 되는 경우는 퇴적층에 쌓여있는 고체유기물(solid organic matter)이 bacteria에 의해서 분해된 암모니아로부터 발생한다. 암모니아가 물에 용해되면 암모늄이 되고 이의 일부분은 표층부에서 질산화 박테리아에 의해서 산화되고 일부는 깊이 전달된다. 혐기조건하에서는 환원반응이 주를 이루며 이 조건에서 암모늄의 축적이 일어난다. 또 다른 경로의 취수정 주변 환경으로부터 원인이 되는 경우는 오염원이 외부인 경우와 주변퇴적층에서 원인이 있는 경우가 있다. 북면 정수장의 경우는 취수정 주변지역 외부에 오염원이 있는 것으로 보인다.

북면정수장에서 질산성질소가 높게 검출 되는 이유는 표수의 질산성질소는 유기질소화합물 및 암모니아의 산화에 의해서 발생되나 지하수에서는 이들의 산화과정이나 지질적 특징으로부터 기인한다. 북면지역 낙동강표류수의 질산성질소의 평균 농도는 2.2mg/ℓ이나 강변여과수에서는 0.1mg/ℓ이고 정수된 물에서는 1.0mg/ℓ가 검출되었다. 강의 표류수에 있는 질산이온 이 지하수로 유입되는 경우 지하의 혐기조건에서 아래와 같이 탈질소(Denitrification)에 의해서 $N_2(g)$ 로 제거된다. 강변여과수에서 질산성 질소가 0.1mg/ℓ으로 검출 되었으나 최종 처리된 정수에서 1.0mg/ℓ가 검출되어 강변여과수에 있던 암모니아성 질소가 정수처리 과정(염소소독과정)에서 대부분 질산성질소로 바뀐 것으로 보인다.

3.4 암모니아성질소가 제거되는 공정시험

암모니아성질소가 질산성질소로 바뀌는 공정을 시

운전 결과보고서 에서는 포기후 급속여과 공정이라고 하였고 정수처리 효과분석시에는 염소투입과정이라고 한 부분에 대하여 실증시험을 통하여 알아보기 위하여 DR2000 시험기로 직접시험을 실시한 결과 공기접촉후 급속여과 공정에서 대부분 제거되는 것을 알수 있었고 시험결과는 표 2와 같다.

[Table 2] 북면정수장 공정별 암모니아성질소도
(단위: mg/ℓ)

검사일	강변여과수	포기후	급속여과후	활성탄여과후	소독후
2004.4.29	1.47	1.16	불검출	불검출	불검출
4.30	1.58	1.55	불검출	불검출	불검출
5.1	1.48	1.47	불검출	불검출	불검출
5.3	0.83	1.17	불검출	불검출	불검출
5.4	1.32	1.05	불검출	불검출	불검출
5.6	1.33	1.10	불검출	불검출	불검출
5.7	0.72	1.01	불검출	불검출	불검출
5.10	0.87	1.08	불검출	불검출	불검출
5.11	0.85	1.10	불검출	불검출	불검출
5.14	0.80	0.72	불검출	불검출	불검출
5.7	1.01	1.28	불검출	불검출	불검출

3.5 암모니아성질소와 질산성질소와의 비교

2000년 3월부터 Pilot-Plant, 전자동침전여과기, 북면정수장등에서 2004년 12월까지 5개년동안의 수질검사 결과중 암모니아성질소와 질산성 질소와의 비교 결과는 표 3과 같다.

강변여과수에서 평균 0.863mg/ℓ인 암모니아성질소가 정수처리후 평균 0.031mg/ℓ로 검출되어 96.4%가 제거되었다. 강변여과수에서 평균 0.426mg/ℓ인 질산성질소는 정수 처리후 평균 1.15mg/ℓ로서 270% 정도로 증가되었다. 암모니아성질소와 질산성질소의 합계 평균농도는 강변여과수에서 1.29mg/ℓ 정수에서 1.181mg/ℓ(91.47%)로 큰 차이가 없었다.

[Table 3] 수원별 암모니아성질소와 질산성질소비교

시험 회수	구분	강변여과수			정 수		
		NH ₃ -N	NO ₃ -N	합계	NH ₃ -N	NO ₃ -N	합계
153	누계	132.23	65.19	197.42	4.81	175.91	180.72
	평균	0.863	0.426	1.29	0.031	1.15	1.181

3.6 무기성 총질소에 대한 시험

암모니아성질소와 질산성질소와의 비교에서 두가지 질소의 합계가 비교적 많은 차이가 있어 강변여과수와 정수된 물에서 무기성 총질소(NO₃ -N + NO₂ -N + NH₃ -N)에 대한차이를 알아보기 위하여 아질산성질소를 추가하여 다음과 같이 별도의 시험을 실시하였으며 [표 4]와 같다.

[Table 4] 무기성 총질소에 대한 시험

강변여과수				급속여과수				활성탄여과수			
NH ₃	NO ₂	NO ₃	합계	NH ₃	NO ₂	NO ₃	합계	NH ₃	NO ₂	NO ₃	합계
0.94	0.01	0.18	1.13	0.02	0.01	0.81	0.83	0.01	0.01	0.83	0.85

분석결과 질산성질소, 아질산성질소, 암모니아성질소의 합계의 평균이 강변여과수에서 1.127, 급속여과수에서 0.830, 활성탄여과수에서 0.848로 검출되어 총질소의 농도가 강변여과수와 정수된 물의 농도는 비슷한 실정이나 꼭 같지 않은 사유에 대하여는 별도의 연구가 필요하다고 생각된다.

IV. 결과 및 고찰

4.1 암모니아성질소의 처리공정별 장·단점

[표 5]는 암모니아성질소의 처리공정 중과피점 염소 처리법, 생물학적처리, 암모니아 탈기법, 이온교환법에 대한 별 장·단점을 나타낸 것이다.

[Table 5] 처리공정별 장·단점

처리방법	장 점	단 점
과피점염소 처리법 (Break Pilot Chlorination)	·계절에 관계없이 완전 제거 가능 ·농도에 따라 염소 투입량 조절가능 ·반응속도가 빨라(5분)시설규모 소형 ·처리기술이 보편화 되어 있음	·약품비 고가 ·염소화합물의 잠재적 독성문제
생물학적 처리 (Biological Process)	·처리공정 간단 ·처리비용 저렴 ·생물활성탄의 경우 별도처리 시설불필요 ·약품투입 불필요	·온도에 영향을 많이 받음 ·농도가 높으면 pH 저하되 하됨
암모니아 탈기법 (Air Stripping Method)	·처리공정 간단 ·암모니아 제거효율이 높음	·pH를 10.5-11.5로 유지하기 위하여 석회 투입이 필요 ·온도에 민감하여 겨울철 성능 저하 ·관리비용 많이 소요
이온교환법 (Ion Exchange)	·양이온 물질의 처리효율이 높음 ·저농도 일때 처리효율이 높음	·교환수지의 특수물질이 필요 ·상수도시설에는 적용사례가 적고 폐수 처리에 일부사용 ·교환용량이 한정적임

4.2 제거의 원리

암모니아성질소는 수중에서 Nitrosomonas, Nitrobacter 등의 질산화 미생물에 의하여 산화되어 아질산성 질소를 거쳐 질산성질소로 산화된다고 되어 있고(정동찬, 1998), 강변여과수에서 비교적 높은 농도가 정수 처리 후 제거되는 대신 질산성질소의 농도가 높아지는 것으로 보아 질소의 순환원리에 의하여 암모니아성질소가 질산성질소로 변환 것으로 판단된다.

4.3 강변여과수를 원수로 사용하는 경우의 제거 효과

강변여과수를 원수로 사용하는 경우는 연중 수온의 변화가 적고(16°C-24°C) 농도의 변화도 적으며 공기 접촉, 급속여과, 활성탄여과로 별도의 처리시설이나 약품투입 없이 대부분이 제거 되었으므로 비슷한 조건에서는 생물학적처리가 가장 적은 비용으로 안전하게 제거 할 수 있는 처리공정으로 판단된다. 그리고 원수에서 암모니아성질소만 제거하고자 할때

는 활성탄여과 공정이 없이도 충분히 제거가 가능하고 강변여과수에서 대부분 검출되는 철, 망간의 정수 처리도 같은 공정으로 안전하게 제거되고 있다.

4.4 생물활성탄 에서의 제거효과

생물처리는 질산화세균을 이용하여 암모니아성 질소를 질산화 시키는 것이라고(추태호, 2005) 되어있고 연구기간 동안 운영한 결과 제거효과는 충분히 입증 되었다. 생물활성탄에서 미생물이 번식하여 기능을 발휘하는데 4-8주가 소요된다고(추태호, 2005) 알려져 있으며 두 번의 시험을 통하여 43일과 49일이 소요되었고 북면정수장의 경우는 시운전결과 활성탄 여과시 43일이 소요되었으므로 알려져 있는 내용과 같았다.

염소처리 이전에 활성탄처리를 하면 암모니아성 질소의 제거효과가 있고 장기간에 걸쳐 활성탄의 사용이 가능하나 염소처리 뒤에 활성탄처리를 하면 효과가 없으며 그 원인은 염소로 인하여 수질에 유용한 미생물이 죽어버리기 때문이라고 알려져 있는 내용(추태호, 2005)과 같았으며 Pilot-Plant에서 2000년 3월 26일-4월 4일까지 10일간 실증시험 결과 염소를 투입하지 않았을 때는 90%이상 제거되었던 암모니아성 질소가 염소투입 후에는 모래여과에서 2.5%, 활성탄여과에서 28%로 제거율이 현저히 떨어졌다. 생물활성탄 처리를 오존과 병행할 경우 활성탄표면에 질산화 미생물의 서식을 이용하여 암모니아성 질소를 여름철에는 80%, 겨울철에는 40% 정도 제거가 가능하다고(추태호, 2005)알려져 있으나 북면정수장의 경우 오존처리 없이 공기적축만으로 제철과 무관하게 활성탄여과에서 대부분 제거 되었고 그 원인은 강변여과수의 수온과 암모니아성 질소 농도가 연중 변화가 적고 농도도 높지 않기 때문으로 판단된다.

4.5 무기성 총질소의 제거

질소중에서 제일 안정되어 있는 질산성질소의 제거를 위한 방법으로는 이온교환법, 생물처리법, 역삼투

막법, 전기투석법이 있고, 원수중의 질산성질소 농도가 높은 경우에는 다른 수원으로 전환을 검토해야 한다고 상수도시설기준에 명시되어 있으며, 질소의 제거를 위하여는 물리학적방법과 생물학적방법등여러 가지있으나 하수처리를 위하여 많이 사용하고 있는 방법은 3단 활성슬러지법, Wuhmann법, Bamard법 등이 있다(강용태, 2001) 고 소개되어 있다.

따라서 상수도의 원수에서 무기성 총질소의 농도가 높으면 일반적인 정수처리 공정으로는 제거가 어려우므로 상수원을 변경하는 것이 경제적이라고 판단된다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 강용태 (2001). 하수도공학. 형설출판사, pp.254-255
- [2] 세명대학교 자원환경공학과 (정명채) 홈페이지 수질오염편, p.36
- [3] 유명진 (2001). 용수처리:상수처리 기술. 동화기술, p.122.
- [4] 이종철 (1988). 식수오염과 대책. 신일상사, pp8
- [5] 정동찬 (1998). 상수도문제연구. 도서출판 세진사, pp.118-120
- [6] 창원시 (1997.8). 강변여과수개발 타당성조사보고서, pp.321-322, p.244
- [7] 창원시 (2002.12). 공무출장 보고서(스위스, 오스트리아, 헝가리, 독일), pp.64-68
- [8] 창원시 (2003.11). 기동강변지하수 개발에 대한 주변조사연구 보고서, 제2편
- [9] 창원시 (2003.9). 마금산 온천 관광지 온천자원조사 보고서, pp.103-109
- [10] 창원시 (1996.2). 마금산 온천 관광지 생활용수공급에 다른 시설보완 실시계획보고서, p.12
- [11] 창원시 (2002). 읍면지역 상수도시설공사 종합시운전 결과보고서, p.114
- [12] 추태호 (2005). 수처리공학. 도서출판 성화, pp.32-55
- [13] 한국수자원공사 (1996). 수도수질반교육교재, pp.483-490
- [14] 한무영 (1998). 폐수처리공학. 동화기술, p.401
- [15] 한정상 (1988). 지하수환경과오염. 박영사, pp.520-623.
- [17] 환경부 (1997). 상수도시설기준, p.376
- [18] 단보현. 정수기술. 문지사, pp164서울시유수율대책백서, 서울특별시 상수도사업본부, 2000.
- [19] 박석기,안승구,엄석원 (1988) 편저. 먹는물 수질 관리. 동화 기술, p.96