



하천에서의 영양물질 관리를 위한 총질소 환경기준 설정에 관한 연구

Deriving Water Quality Criteria of Total Nitrogen for Nutrient Management in the Stream

김학관* · 정한석*[†] · 배승종*

Kim, Hak Kwan · Jeong Han Seok · Bae, Seung Jong

Abstract

The objective of this study is to suggest the water quality criteria of total nitrogen in order to efficiently manage the nutrient pollution in the stream. For this, correlations between water quality parameters were examined using the water quality data collected from the water quality monitoring network in the four rivers between 2003 and 2012. T-N showed positive correlations with T-P (0.636), COD (0.577), BOD (0.574), TOC (0.440), and SS (0.367). The statistical analysis including percentile analysis for the T-N and T-P concentrations was utilized to develop the water quality criteria of T-N. The feasibility of the suggested water quality criteria was evaluated by calculating the achievement rate to water quality target at the representative points in mid-watershed, then the draft water quality standard of T-N was suggested. The suggested water quality standard of T-N in the stream may be used to efficiently control the nutrient pollution in the public water body.

Keywords: Nutrient; water quality standard; total nitrogen; total phosphorus; statistical analysis

1. 서 론

국가의 수질실태를 반영하고 이수목적에 부합한 수질을 확보하기 위한 수질환경기준은 국가의 사회, 경제적 자연적 특성을 반영하여 설정되어야 하고 공공수역의 수질이 물리, 화학 생물학적으로 물이용 목적에 부합되어야 할 뿐만 아니라 수생태계의 건전성을 확보, 유지할 수 있도록 하여야 한다 (MOE, 2008). 국내의 경우 생물학적 산소요구량 (biochemical oxygen demand, BOD) 또는 화학적 산소요구량 (chemical oxygen demand, COD) 등 유기물질 중심의 수질평가 및 관리가 이루어지고 있다. 이와 같은 단일항목 중심의 수질관리 체계는 수질평가 결과를 빠르게 도출할 수 있고, 평가 결과에 따른 대책마련 및 시설투자 비용의 이행 등의 행정적인 대응을 신속하게 진행할 수 있다는 장점이 있다. BOD 중심의 오염물질 유입규제 및 관리, 환경기초시설에 대한 집중 투자로 공공수역에서의 BOD 오염도는 지속적으로 개선되고 있다.

최근에는 수환경 변화와 새로운 오염물질 유입에 따른 오염도 변화에 적합한 수질관리 규제정책에 대한 필요성이 제

기되고 있다. 질소, 인 등의 영양물질이 공공수역에 유입되어 부영양화 등을 포함한 수환경에 부정적인 영향을 미침에 따라 질소 및 인의 관리를 위한 정책개발, 환경기준 설정 등 지속적인 노력을 기울이고 있다 (Choi and Han, 2011). 농업용 저수지의 경우에도 부영양화가 급속히 진행되면서 수질악화가 문제가 되어 저수지 부영양화 방지를 위한 기술 및 정책들이 진행되고 있다 (MAF, 2005).

공공수역에서의 부영양화 문제가 지속적으로 대두됨에 따라 환경부에서는 하폐수 처리시설에서 총질소 (total nitrogen, T-N) 및 총인 (total phosphorus, T-P)에 대한 방류수 수질 기준을 점차적으로 강화하고 있으며, 특히 T-P의 경우 2012년부터 기존보다 강화된 방류수 수질기준을 적용하고 있다.

많은 호소와 하천에서 수중의 인이 부영양화의 주 원인물질인 조류의 생장에 제한요인으로 인식되고 있기 때문에 수질정책이 인의 관리에 집중이 되어 있다. 그러나 모든 하천 및 호소와 인과 조류 발생량의 관계가 직접적인 것은 아니다. 국외 사례의 경우 질소가 인보다 남조류의 대발생에 주요한 요인으로 작용할 수 있으며 (Sterner, 1989), 수심이 낮은 호소에서 인의 유입을 제한하는 것만으로는 남조류 대증식을 제어하지 못한다는 연구결과도 보고되고 있다 (Conley et al., 2009). 또한 질소 저감을 고려하지 않고 인의 저감만을 고려했을 때 하류 질소 농도가 증가하여 하류 및 하구의 부영양화를 가속화시켜 영양물질 관리에 실패한 사례들이 보고되고 있다 (Havens et al., 2001). 질소농도에 대한 적절한 관리가 이루어지지 않을 경우 현재의 용수이용 혹은 향후 이용형태

* Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

[†] Corresponding author

Tel.: 033-339-5816 Fax: 033-339-5830

E-mail: jeonghanseok@gmail.com

Received: May 20, 2015

Revised: May 22, 2015

Accepted: May 27, 2015

에도 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다. 질산성질소가 10 mg/L를 초과한 음용수를 장기적으로 섭취하는 경우 유아에게 청색증 (blue baby syndrome)을 유발할 수 있다 (U.S. EPA, 2000). 질산성질소 농도가 100 mg/L를 초과한 수원에서는 쓴맛이 나며, 생리적인 고통을 유발할 수 있다 (Straub, 1989).

따라서 공공수역 내의 영양물질 부하량 증가에 따른 하천 및 호소의 부영양화로 인하여 물이용에 장애가 발생하지 않도록 하기 위해서는 영양물질 관리가 중요하며 총인 관리와 함께 총질소에 대한 수질관리가 동시에 이루어질 필요가 있다. 그러나 국내 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에서 호소의 생활환경기준에는 총질소에 대한 기준이 포함되어 있지만 하천에 대한 질소 항목 기준은 아직까지 포함되지 않고 있다. 호소의 수질개선을 위해서는 호소 내의 수질관리 뿐만 아니라 유입되는 유입수, 즉 상류유역의 하천 수질을 관리하는 것도 매우 중요하며 이를 위해서는 하천 수질기준에 질소항목에 대한 기준이 제시되어 효과적인 수질관리 정책 및 수질개선 사업이 시행되어야 할 것이다.

본 연구는 하천에서의 효율적인 질소관련 수질항목 관리를 위한 가이드라인을 제공하기 위해 현재 운영되고 있는 하천의 수질측정망 자료를 이용하여 하천의 영양물질 관리를 위한 하천의 총질소 수질기준을 제안하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서는 환경부에서 운영하는 수질측정망의 최근 10년 (2003~2012)간 전체 하천수질측점 자료를 물환경정보시스템 (<http://water.nier.go.kr>)에서 수집하여 수질항목간 상관관계 및 백분위 (percentile) 분석을 실시하였다. 수질자료 중 결측자료는 통계분석 시 제외하였다.

환경기준을 설정하는 방법으로는 환경부에서 기존의 BOD 수질기준과 수질측정자료를 바탕으로 COD와 T-P의 수질기준(안)을 설정하기 위해 제한한 바 있는 항목간 동백분위 분석방법과 기준항목 등급값 백분위 분석방법, 그리고 기준항목 등급범위 백분위 분석방법을 이용하였다 (MOE, 2008; Choi and Han, 2011). 항목간 동백분위 분석방법은 수질기준이 확정되어 있는 기준항목의 수질측정자료 백분위와 수질기준을 마련하고자 하는 대상항목의 수질측정자료 백분위를 분석하여 기준항목의 수질기준에 해당하는 백분위를 가진 대상항목의 수질농도를 결정하는 방법이다 (Fig. 1a). 기준항목 등급값 백분위 분석방법은 전체 수질측정자료 중 기준항목의 각 등급값에 해당하는 수질측정 자료의 집합에서 대상항목 수질측정 자료들의 백분위 분석을 통해 특정 백분

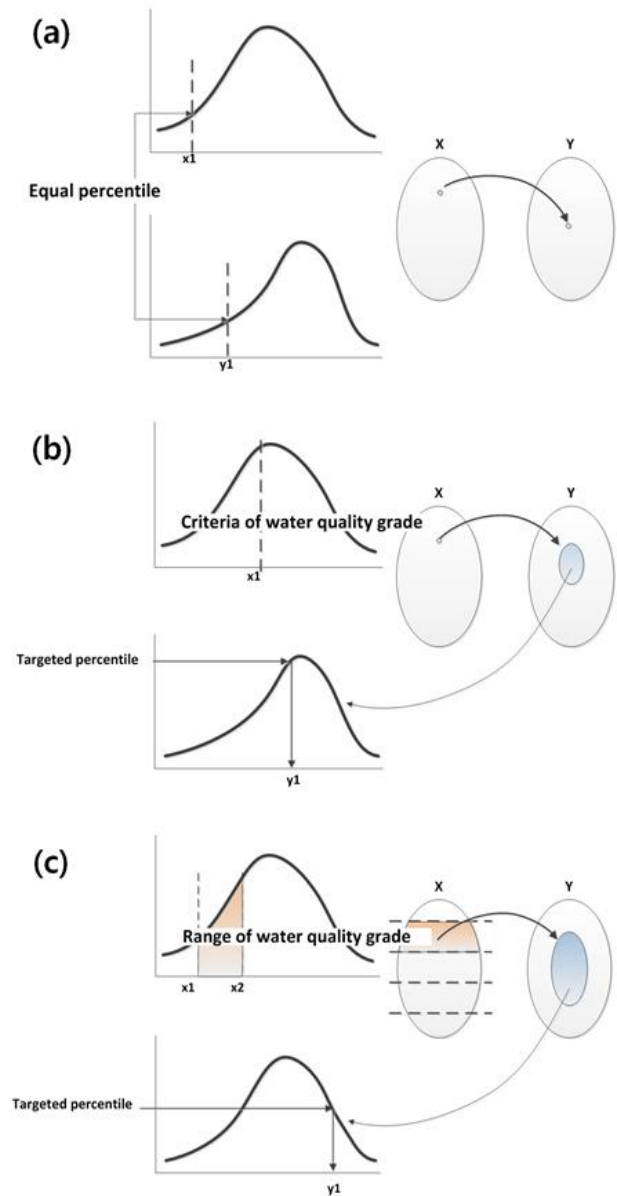


Fig. 1 Methodology for deriving water quality criteria; (a) assessment using equal percentile; (b) assessment using criteria of water quality grade; (c) assessment using range of water quality grade, X and Y indicate the base and target water quality parameters, respectively.

위에 해당하는 수질농도를 수질기준으로 채택하는 방법이다 (Fig. 1b). 기준항목 등급범위 백분위 분석방법은 전체 수질측정자료 중 기준항목의 각 등급범위에 해당하는 수질측정 자료의 집합에서 대상항목 수질측정 자료들의 백분위 분석을 통해 특정 백분위에 해당하는 수질농도를 수질기준으로 채택하는 방법이다 (Fig. 1c).

III. 결과 및 고찰

1. 수질항목간 상관관계

국가수질측정망 자료를 이용하여 수질항목간 상관관계를 분석한 결과는 Table 1과 같다. pH와 수온을 제외한 모든 항목의 측정 결과 값이 낮은 농도에서 높은 빈도를 보이기 때문에 서로의 상관성을 비교하기 위해 log 변환을 통해 항목들 간의 상관관계를 분석하였다. 하천 전체에 대한 수질항목간 상관관계를 비교하기 위하여 상관계수 산정 결과 COD와 총유기탄소 (total organic carbon, TOC), BOD와 COD, BOD와 TOC, COD와 T-P, 그리고 BOD와 T-P 사이에 강한 양적 선형관계 ($0.7 < r \leq 1.0$)를 보였으며, BOD와 SS, BOD와 T-N, BOD와 Chl-a, COD와 SS, COD와 T-N, COD와 Chl-a, SS와 T-N, SS와 T-P, SS와 TOC, SS와 Chl-a, T-N과 T-P, T-N과 TOC, T-P와 TOC, TOC와 Chl-a 사이에 뚜렷한 양적 선형관계 ($0.3 < r \leq 0.7$)가 나타났다. 또한, 용존산소량 (dissolved oxygen, DO)과 BOD, DO와COD, DO와 SS, DO와 T-P, 그리고 DO와 수온 사이에 뚜렷한 음적 선형관계 ($-0.7 < r \leq -0.3$)가 있는 것으로 분석되었다.

이상의 결과로부터 수질항목 중 BOD, COD, TOC, SS, T-N, 그리고 T-P는 서로 간에 양적 상관관계를 가지며, DO와는 대부분의 주요 수질항목이 음적 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

2. 총질소 수질 기준안 범위 설정

2003년부터 2012년까지의 4대강 하천에 대한 T-N과 T-P 항목간의 상관관계를 분석한 결과 상관계수가 0.636을 보임에 따라 상당한 정도의 상관도가 있는 것으로 평가되었다. 인의 저감만을 고려했을 때 하류 질소 농도가 증가하여 하류 및 하구의 부영양화를 가속화시켜 영양물질 관리에 실패할 수 있기 때문에 질소와 인의 공통적인 관리를 위해 본 연구에서는 현행 T-P의 수질기준으로부터 환경부에서 제안한 환경기준 설정 방법을 이용하여 T-N 항목의 수질 기준을 제안하였다.

가. 항목간 동백분위 분석 결과

백분위는 1 percentile (%ile) 간격으로 검토하였으며, 수질 기준과 일치하지 않는 값은 최인근 백분위로 검토하였다. 그 결과 하천의 T-P 수질기준으로 Ia (T-P 0.02 mg/L이하)는 약 20 %ile, Ib (T-P 0.04 mg/L이하)는 약 35 %ile, II (T-P 0.1 mg/L이하)는 약 40 %ile, III (T-P 0.2 mg/L이하)는 약 80 %ile, IV (T-P 0.3 mg/L이하)는 약 90 %ile, V (T-P 0.5 mg/L이하)는 약 95 %ile로 검토되었다 (Table 2). 환경부에서 실시한 2008년 T-P 분석결과에 따르면 T-P 0.1 mg/L는 약 60 %ile, T-P 0.3 mg/L는 약 85 %ile 등으로 분석되었다 (MOE, 2008). 본 연구 결과는 이와 비교하여 T-P 수질이 개선됨에 따라 각 수질등급

Table 1 Correlation coefficient between water quality parameters

Parameters	pH	log (DO)	log (BOD)	log (COD)	log (SS)	log (T-N)	log (T-P)	log (TOC)	Water Temp.	log (Chl-a)
pH										
log (DO)	.220									
log (BOD)	-.041	-.374								
log (COD)	.005	-.378	.831							
log (SS)	-.029	-.323	.563	.662						
log (T-N)	.006	-.207	.574	.577	.367					
log (T-P)	-.066	-.344	.710	.732	.571	.636				
log (TOC)	.001	-.190	.732	.833	.589	.440	.658			
Water Temp.	.042	-.457	.060	.152	.265	-.103	.114	.202		
log (Chl-a)	.128	-.070	.489	.568	.520	.235	.424	.565	.193	

Table 2 Water quality criteria for selected percentile

Content	No. of Data	Average	Median	Percentile (%ile)											
				10	15	20	30	35	40	65	70	80	85	90	95
Water quality level		III	II	Ia	Ia	Ia	Ib	Ib	II	III	III	III	IV	V	VI
T-P (mg/L)	77,542	0.150	0.061	0.013	0.016	0.020	0.030	0.036	0.043	0.103	0.124	0.182	0.235	0.336	0.591
T-N (mg/L)	77,542	3.77	2.78	1.31	1.53	1.73	2.09	2.26	2.43	3.51	3.85	4.84	5.66	7.05	9.93

Table 3 Statistical distribution of T-N concentration to T-P concentration criteria

Water quality level		Average	Median	Percentile (%ile)									
				10	30	40	45	50	55	60	70	90	
T-N (mg/L)	I a	T-P 0,02mg/L	2,20	2,03	1,01	1,49	1,71	1,82	1,94	2,07	2,21	2,54	3,74
	I b	T-P 0,04mg/L	2,61	2,35	1,19	1,75	2,02	2,15	2,30	2,45	2,62	3,01	4,45
	II	T-P 0,1mg/L	3,24	2,84	1,47	2,17	2,49	2,66	2,84	3,03	3,23	3,72	5,49
	III	T-P 0,2mg/L	4,58	3,92	1,94	2,94	3,41	3,66	3,92	4,20	4,50	5,22	7,91
	IV	T-P 0,3mg/L	5,46	5,04	2,57	3,74	4,28	4,56	4,85	5,16	5,50	6,29	9,15
V	T-P 0,5mg/L	7,70	7,06	4,14	5,70	6,39	6,75	7,11	7,50	7,92	8,88	12,22	

Table 4 Statistical distribution of T-N concentration in T-P concentration criteria range

Percentile (%ile)	I a		I b		II		III		IV		V		VI	
	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N
Average	0,012	2,13	0,030	2,37	0,059	2,97	0,142	3,89	0,243	5,10	0,385	6,81	1,022	12,30
Median	0,013	1,96	0,029	2,17	0,058	2,64	0,139	3,44	0,240	4,66	0,378	6,35	0,806	10,65
10	0,005	0,90	0,022	1,15	0,044	1,41	0,107	1,95	0,207	2,52	0,313	3,26	0,543	5,43
15	0,007	1,08	0,023	1,31	0,046	1,62	0,110	2,18	0,211	2,84	0,319	3,82	0,566	6,42
20	0,008	1,23	0,024	1,45	0,049	1,80	0,114	2,37	0,215	3,13	0,326	4,30	0,592	7,14
25	0,009	1,36	0,025	1,58	0,051	1,95	0,118	2,55	0,218	3,40	0,335	4,65	0,618	7,78
30	0,009	1,48	0,025	1,70	0,053	2,10	0,122	2,72	0,222	3,66	0,342	4,98	0,650	8,40
35	0,010	1,59	0,026	1,82	0,056	2,24	0,126	2,89	0,226	3,93	0,350	5,33	0,687	8,93
40	0,011	1,71	0,027	1,93	0,058	2,37	0,130	3,07	0,230	4,17	0,360	5,66	0,723	9,44
45	0,012	1,84	0,028	2,05	0,061	2,50	0,134	3,23	0,235	4,43	0,369	6,02	0,762	9,98
50	0,013	1,96	0,029	2,17	0,064	2,64	0,139	3,44	0,240	4,66	0,378	6,35	0,806	10,65
55	0,013	2,08	0,030	2,30	0,067	2,79	0,143	3,63	0,244	4,92	0,386	6,72	0,863	11,40
60	0,014	2,22	0,031	2,42	0,070	2,94	0,148	3,83	0,249	5,18	0,396	7,06	0,927	12,14
65	0,015	2,36	0,032	2,56	0,073	3,13	0,153	4,06	0,254	5,47	0,407	7,46	0,996	13,01
70	0,016	2,52	0,033	2,71	0,077	3,33	0,159	4,33	0,259	5,80	0,418	7,91	1,078	13,97
75	0,016	2,69	0,034	2,88	0,080	3,58	0,164	4,62	0,265	6,18	0,431	8,42	1,189	14,98
80	0,017	2,88	0,036	3,09	0,084	3,86	0,171	4,97	0,271	6,57	0,445	8,97	1,310	16,31
85	0,018	3,12	0,037	3,40	0,088	4,21	0,178	5,47	0,278	7,16	0,458	9,62	1,479	17,54
90	0,019	3,48	0,038	3,81	0,092	4,77	0,185	6,22	0,285	8,00	0,472	10,66	1,733	19,46

의 백분위가 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 통계분석을 통해 하위등급에 대한 기준이 다소 조밀하게 분포함을 알 수 있었다.

나. 기준항목 등급값 백분위 분석 결과

4대강 하천에 대한 지난 10년간의 수질 모니터링 자료 중, T-P 수질기준에 해당하는 측정값이 조사된 자료를 분류하여, 각 T-P 수질등급 기준에 해당하는 T-N 모니터링 농도자료의 분포에 대한 백분위를 분석하였다. T-P 수질기준에 해당하는 T-N의 자료수는 Ia, Ib, II, III, IV, V에 대하여 각각 953개,

529개, 234개, 98개, 38개, 15개로 나타났다. T-P 수질기준에 대한 각 등급별 T-N 농도의 백분위 통계분석 결과는 Table 3과 같다. T-P 수질기준 Ia 등급값에 해당하는 T-N 수질자료의 평균값은 2.20 mg/L으로 나타났으며, Ib, II, III, IV, 그리고 V에 대한 T-N 수질자료의 평균값은 각각 2.61, 3.24, 4.58, 5.46, 그리고 7.70 mg/L으로 분석되었다. 모든 등급값에 대해 T-N 수질자료의 평균값이 50 %ile보다 큰 것으로부터 낮은 농도를 기준으로 오른쪽으로 치우친 T-N 농도분포를 가지는 것을 알 수 있으며, 수질이 매우 좋지 않은 샘플이 이상치(outlier)로 작용하는 것으로 나타났다.

Table 5 Water quality standard of T-N according to each criteria methods

Level		T-P	T-N			
			Method #1	Method #2	Method #3	Range
Very good	Ia	≤0.02	≤1.7	≤2.2	≤2.9	1.7~2.9
Good	Ib	≤0.04	≤2.3	≤2.5	≤3.1	2.3~3.1
Fairly good	II	≤0.1	≤3.5	≤3.0	≤3.9	3.0~3.9
Fair	III	≤0.2	≤5.1	≤4.1	≤5.0	4.1~5.1
Fairly poor	IV	≤0.3	≤6.7	≤5.2	≤6.6	5.2~6.7
Poor	V	≤0.5	≤9.0	≤7.5	≤9.0	7.5~9.0
Very poor	VI	>0.5	>9.0	>7.5	>9.0	7.5~9.0

Table 6 Scenarios suggested to develop the water quality standard of T-N

Level		T-P	T-N			
			Suggestion #1	Suggestion #2	Suggestion #3	Suggestion #4
Very good	Ia	≤0.02	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤1.5
Good	Ib	≤0.04	≤3.0	≤2.5	≤2.5	≤2.0
Fairly good	II	≤0.1	≤4.0	≤3.5	≤3.5	≤3.0
Fair	III	≤0.2	≤5.0	≤5.0	≤4.0	≤4.0
Fairly poor	IV	≤0.3	≤6.0	≤6.0	≤5.0	≤5.0
Poor	V	≤0.5	≤8.0	≤8.0	≤8.0	≤8.0
Very poor	VI	>0.5	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0

다. 기준항목 등급범위 백분위 분석 결과

4대강 하천에 대한 지난 10년간의 모니터링자료 중, T-P의 농도를 기준으로 T-P의 하천수질기준에 따라 각 등급별로 분류한 후, 각 등급에 해당하는 T-N 자료에 대한 백분위를 산정하였다. T-P 각각의 수질기준 범위 내에 해당하는 농도 값에 상응하는 모니터링 자료로부터 T-N 농도의 통계적인 분포를 백분위로 분석한 결과는 Table 4와 같다. 등급별 평균값과 백분위로부터 T-N 수질자료의 분포가 모든 등급구간에 대해 낮은 농도를 기준으로 오른쪽으로 치우치는 것으로 나타났다.

라. 총질소 수질기준(안) 범위 설정

T-N 수질기준(안)의 범위는 4대강 하천의 수질 모니터링 자료로부터 앞서 실시한 (1)항목간 동백분위 분석방법, (2)기준항목 등급값 백분위 분석방법, (3) 기준항목 등급범위 백분위 분석방법 등 세가지 방법에 대한 각각의 결과로부터 수질기준 범위를 설정하였다. 먼저, 방법 (1)에 따른 결과는 T-P 수질기준의 백분위에 해당하는 T-N의 농도를 사용하고, 방법 (2)에 따른 결과는 기준값을 통계분석에 이용하였기 때문에 환경부 (MOE, 2008)에서 사용하였던 상대적으로 엄격한 55 %ile을 T-N 수질기준의 하한으로 판단하였으며, 방법 (3)에 따른 결과는 등급별 T-P 수질기준을 만족하는 경우에 한하여

실시한 통계분석이므로, 상대적으로 완화된 80 %ile을 수질기준의 하한으로 고려하였다. 이상의 결과를 정리하여, T-N 기준의 범위 값을 제시하면 Table 5와 같다. 기준(안) 범위는 단지 측정결과에 대한 대략적인 범위를 제시하는 것이기 때문에 기준설정 방향에 따라서 더 강화되거나 완화될 수가 있다 (MOE, 2008).

최적 기준(안)을 선정하기 위해서는 현재 하천의 T-N 수준을 고려하여, 실제적인 수질관리 기준이 되는 “약간 좋음”과 “보통”의 기준을 합리적으로 설정하고자 다음과 같이 4가지 안을 마련하였다.

① 1안: 모두 범위 안에 들어가는 기준, ② 2안: “좋음”과 “약간 좋음”의 기준을 상향하여 적용기준을 강화한 기준, ③ 3안: 2안보다 “보통”과 “약간 나쁨”의 수질기준을 상향하여 적용기준을 강화한 기준 ④ 4안: 장기적인 수질관리계획을 가능하게 하는 기준으로 3안보다 “매우 좋음”, “좋음”, “약간 좋음”의 기준을 상향하여 적용기준을 강화한 기준 등으로 Table 6과 같이 수질기준을 제안할 수 있다.

3. 총질소 수질 기준(안) 적정성 검토

본 연구에서는 제안된 T-N 수질기준(안)의 적정성을 검토하기 위하여 수질 및 수생태계 목표기준 평가규정에 제시된

Table 7 Analysis of achievement rate for water quality target in the mid-watershed based on the suggested water quality standard

Content		BOD	COD	T-P	T-N			
					Suggestion #1	Suggestion #2	Suggestion #3	Suggestion #4
Number of mid-watershed		114	114	114	114	114	114	114
3-year average of T-N	Number of mid-watershed achieving target	88	33	30	70	55	50	31
	Achievement rate	77%	29%	26%	61%	48%	44%	27%
5-year average of T-N	Number of mid-watershed achieving target	87	29	31	70	54	54	33
	Achievement rate	76%	25%	27%	61%	47%	47%	29%

Table 8 Suggested water quality standard for T-N in streams

Level		Water quality standard (mg/L)			
		BOD	COD	T-P	T-N (this study)
Very good	Ia	≤1	≤2	≤0.02	≤1.5
Good	Ib	≤2	≤4	≤0.04	≤2.0
Fairly good	II	≤3	≤5	≤0.1	≤3.0
Fair	III	≤0.2	≤7	≤0.2	≤4.0
Fairly poor	IV	≤0.3	≤9	≤0.3	≤5.0
Poor	V	≤0.5	≤11	≤0.5	≤8.0
Very poor	VI	>0.5	>11	>0.5	>8.0

114개 중권역의 목표기준과 각 중권역 대표수질 측정지점의 3년 및 5년 평균값을 산정하여 제시된 기준안의 달성률을 분석하였다.

3년 평균값에 대한 전체 중권역 대표지점에 대한 수질기준 달성률을 분석한 결과를 살펴보면 총 114개 중권역 중에 3년 평균 BOD 목표 달성은 88개로 총 77%의 달성률을 보였다 (Table 7). COD의 경우는 29%, T-P의 경우는 25%의 달성률을 보였다. T-N의 경우 기준안(1안-4안)에 따른 달성률 분석 결과 1안은 61%, 2안은 48%, 3안은 44%, 4안은 27%로 나타났다.

5년 평균값에 대한 전체 중권역 대표지점에 대한 수질기준 달성률을 분석한 결과를 살펴보면 총 114개 중권역 중에 5년 평균 BOD 목표 달성은 87개로 총 76%의 달성률을 보였다 (Table 7). COD의 경우는 25%, T-P의 경우는 27%의 달성률을 보였다. T-N의 경우 기준안(1안-4안)에 따른 달성률 분석 결과 1안은 61%, 2안은 47%, 3안은 47%, 4안은 29%로 나타났다.

4. 하천에 대한 총질소 최종 수질기준(안) 제시

제시된 T-N에 대한 4개의 안에 대해 3년 및 5년 평균에 대

한 중권역 평가대표지점에 대해 목표수질 달성도를 평가한 결과를 바탕으로 하천 내 최근 추가된 수질항목 (COD 및 TOC)의 달성률을 고려하여 기존의 정책들이 원활하게 수행되기 위한 목표기준으로서 Table 8에서와 같이 4안을 최종 기준(안)으로 제시하였다. 본 연구에서 제시한 기준은 통계적 자료를 기반으로 하여 제시된 가이드라인으로 향후 행정적인 목표나 정책의 변화, 그리고 적용가능 기술 등에 따라 수정될 수 있으며 주기적인 타당성 검토를 통해 수정 및 보완될 필요가 있다.

IV. 요약 및 결론

공공수역 내 영양물질 부하량 증대로 인한 하천 및 호소의 부영양화로 인하여 물이용에 장애가 발생하지 않도록 하기 위해서는 영양물질 관리가 매우 중요하며 총인 (T-P) 관리뿐만 아니라 총질소 (T-N)에 대한 수질관리도 함께 이루어질 필요가 있다. 본 연구에서는 하천에서의 효율적인 질소관련 수질 항목 관리를 위한 가이드라인을 제공하기 위해 현재 운영되고 있는 하천의 수질측정망 자료를 이용하여 하천의 영양물질 관리를 위한 하천의 총질소 기준을 제시하고자 하였다. 이를 위

해 국가수질측정망 자료를 이용하여 수질항목간의 상관성을 분석하고 이를 고려하여 현행 T-P 동일 등급을 기준으로 하천의 T-N 기준안을 설정하였다. 설정된 기준안은 중권역 대표지점 수질기준 달성률 평가를 통해 4가지 기준안의 적정성을 분석하고 최종적으로 적정 수질기준(안)을 제시하였다.

실제 수질규제 기준을 적용하기 위해서는 공공하수처리장에서의 질소 처리 기술 조사, 경제성 평가, 농업지역에서의 총질소 배출량 조사, 저감방안 및 기술평가 등 여러 가지 제반사항이 뒷받침되어야 할 것이다. 따라서 효율적인 수질기준 적용을 위해서는 시범사업의 시행을 통해 타당성을 검토하고 급격한 규제에 인한 사회 혼란을 최소화하기 위해서는 유예기간 부여 등 적용조건을 탄력적으로 운영할 필요가 있다.

향후 본 연구에서 제시된 수질기준은 농업용수원으로 이용되고 있는 저수지와 담수호의 효과적인 수질관리를 위한 상류유역 수질관리 가이드라인으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원의 “기후변화에 대응한 원예단지 농업용수를 위한 기수담수화 시스템의 상용화 기술개발 및 적용” 연구 및 환경부 “공공수역 영양물질 오염도 평가 및 관리 로드맵 마련 연구”에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

1. Choi, J. Y., and D. H. Han, 2011. Development of water quality standard for TOC as organic matter index. *Seoul City Research* 12(3): 173-184 (in Korean).
2. Conley, D. J., H. W. Paerl, R. W. Howarth, D. F. Boesch, S. P. Seitzinger, K. E. Havens, C. Lancelot, and G. Likens. 2009. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus. *Science* 323: 1014-1015.
3. Havens, K. E., P. Xie, T. Iwakuma, R. T. James, N. Takamura, T. Hanazato, and T. Yamamoto, 2001. Nutrient dynamics and the eutrophication of shallow lakes Kasumigaura (Japan), Donghu (PR China), and Okeechobee (USA). *Environmental Pollution* 111(2): 263-272.
4. Ministry of Agriculture and Forest (MAF), 2005. Development of management strategies and techniques to control nuisance algal blooms in Korean agricultural reservoirs, Ministry of Agriculture and Forest, Korea (in Korean).
5. Ministry of Environment (MOE), 2008. A study on evaluation and management policy of organic matter in public water body, Ministry of Environment, Korea (in Korean).
6. Sterner, R. W., 1989. Resource competition during seasonal succession toward dominance by cyanobacteria. *Ecology* 70: 229-245.
7. Straub, C. P., 1989. Practical handbook of environmental control. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA.
8. United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1999. Protocol for developing nutrient TMDLs. EPA 841-B-99-007, Washington, DC, USA.