

Technical Article

## 춘천시 공공하수처리시설의 방류수가 의암호 수질에 미치는 영향 고찰

정동환 · 조양석 · 최인철 · 안경희 · 정현미 · 권오상

국립환경과학원 상하수도연구과

### A Study on Impact of Public Sewage Treatment Works Affecting Water Qualities of the Lake Uiam in Chuncheon City

Donghwan Jeong · Yangseok Cho · Incheol Choi · Kyunghye Ahn ·  
Hyenmi Chung · Ohsang Kwon

National Institute of Environmental Research

**요약 :** 2011년말 저·갈수기 북한강수계에서 수돗물 이취미 발생의 한 원인으로 의암호에서 조류 발생에 영양염류의 과다와 기상요인에 의한 것으로 보고 있으며, 특히 춘천지역의 생활하수에서 기인하는 영양염류를 중심으로 춘천시 공공하수처리시설의 방류수에서 배출하는 영양염류의 기여율 및 의암호 조류발생과의 관계를 살펴보고 그 영향을 분석하고자 하였다.

의암호 수체 내 영양염류가 부영양화 수준으로 이미 존재하고 있고, 겨울철임에도 체류시간, 수온 등 환경요인은 조류 성장에 적합한 여건을 갖추고 있다. 의암호 수계에서 인처리시설 도입으로 하수처리장의 총인 부하량은 약 43% 저감하였고, 의암호 조류 농도(Chlorophyll-a)는 약 7% 정도 개선되었다. 반면, 인처리시설 도입에 따른 하수처리장의 질소 처리효율에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

이러한 문제를 좀더 효율적으로 해결하기 위해서는 의암호 상류지역에 대한 유역관리 대책을 수립하는 것이 필요하며, 춘천지역 하수처리장의 질소 처리를 위한 운영·관리 개선 방안을 마련하는 것이 필요하다고 판단되었다.

**주요어 :** 영양염류, 의암호, 인처리시설, 조류발생, 하수처리시설

**Abstract :** When abnormal taste and odor were detected in the tap water of the North-Han river watershed during the dry season in late 2011, excessive nutrients with algal growth in the Lake Uiam and weather factors were considered to be among its causes. The nutrients, in particular, originated from domestic sewage in the Chuncheon area. This study was conducted to investigate relations between the algal growth in the Lake Uiam and the contribution of nutrients from public sewage treatment works (PSTWs) in Chuncheon city, and based on this to analyze the environmental impact.

Nutrients in the Lake Uiam have already been accumulated to the level of eutrophication. Even

in winter, the conditions in the lake such as retention time and water temperature were favorable to boost algal growth. After phosphorus treatment processes were introduced, the PSTWs in the Lake Uiam watershed were able to reduce the total phosphorus loads by 43%. The algal concentrations in the Lake Uiam also dropped by about 7%. The nitrogen treatment efficiencies in the PSTWs, on the other hand, remained almost the same after the introduction of the phosphorus treatment processes.

To solve these problems more efficiently, it is necessary to develop management strategies for the upstream area of the Lake Uiam and set plans to improve nitrogen treatment operation and management for the PSTWs in Chuncheon.

**Keywords :** Algal growth, Lake Uiam, Nutrients, Phosphorus treatment process, Public sewage treatment works

## I. 서론

우리나라는 여름철과 겨울철 하상계수의 변동이 커서 상시적인 물이용을 위해 팔당댐, 대청댐 등 댐을 건설하여 물이용의 효율을 높이고 있다. 또한 여름철 집중호우에 의한 홍수의 피해를 방지하기 위해 북한강 수계의 경우 상류지역에 소양강댐, 화천댐, 의암댐 등을 건설하여 우기에는 물을 가두어 놓았다가 건기에 일정한 유량으로 방류하면서 전력을 생산하고 있다. 이러한 장점 외에 이들 댐호에서는 오랜 기간동안 정체되어 체류시간이 길어져 조류가 성장하기 좋은 조건을 제공하기도 하고 부영양화의 원인 물질인 질소와 인 등 영양염류를 축적하기도 한다. 그리고 대부분의 댐은 하천에 만들어 지기 때문에 유역에서 발생하는 하·폐수 및 비점원 오염물질 등 여러 오염물질에 노출되기 쉽다.

2011년 11월에서 2012년 1월 사이에 북한강 물을 상수원으로 하는 수돗물에서 이취미가 발생하여 시민들이 심한 고통을 받는 일이 발생하였다. 이취미물질인 Geosmin과 2-MIB는 특정 식물성 플랑크톤의 대사물질이며 수돗물에서 흙냄새, 곰팡이냄새 등을 일으킨다. 북한강 수계에서 남조류인 *Anabaena spiroides*에 의해 저수온기에 이취미물질이 과다 생성된 것으로 알려져 있으나(유경아 등, 2013) 그 원인에 대해서 분명하게 밝혀진 것은 없다. 과거부터 의암호 등 인공호수에 대한 많은 육수학적 연구가 수행되었으며 특히 의암호 내부생성 유기물에 대한 물질수지 분석 및 시뮬레이션 적용(이건호 등, 2006),

한강수계 유해조류 분포 및 생리·생태적 발생특성 연구(한강수계관리위원회·한강물환경연구소, 2012), 팔당호·청평호·경안천 등 한강수계에서 이취미물질에 대한 거동 분석(이은정·최일환, 2012), 대청호 조류발생에 따른 이취미물질 변화를 검토하고 물리적·화학적·생물학적 조류저감 방안 등 관리방안에 대한 연구(국립환경과학원, 2012)를 수행해 왔으나 많은 연구가 남조류와 이취미물질에 대한 육수학적 연구에 관심이 집중되어 있다.

따라서 본 연구는 2011년말 겨울철(저·갈수기) 북한강 수계에서 정수장 수돗물에서 발생한 이취미와 관련하여 의암호로 유입되는 춘천시 하수처리시설의 방류수가 호소 내 조류 발생에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 2010년부터 2013년까지 4년간 의암호 국가수질측정망 자료(물환경정보시스템), 춘천시 하수처리장 방류수 수질자료(물환경정보시스템)를 이용하여 의암호의 수리·수문 등 환경요인과 춘천시 하수처리장 방류수 영양염류가 의암호의 영양염류 및 조류 발생에 어떠한 영향을 미치는 지 분석하고 그 대책을 고찰하였다.

## II. 춘천시 공공하수처리시설 및 의암호 수질 현황

### 1. 춘천시 공공하수처리시설 현황

춘천·서면 하수처리장 방류수는 의암호로 직접 유입하고 있으며, 신북하수처리장 방류수는 소양강

Table 1. The status of public sewage treatment works(PSTWs) in Chuncheon

PSTWs	Construction year	Facility capacity(m <sup>3</sup> /d)	Treatment method	Treatment area (ha)	Linked-treatment
Chuncheon	'94	150,000	100,000 m <sup>3</sup> /d: Activated sludge 50,000 m <sup>3</sup> /d: BNR	6,209.0	Chuncheon nightsoil treatment facility
Seomyun	'02	1,900	Kind of SBR	357.6	-
Sinbuk	'05	3,000	Kind of Media	332.3	-

※ Phosphorus treatment process at Chunchen PSTW was build in June of 2012, and at Seomyun and Sinbuk PSTWs in October of 2011.

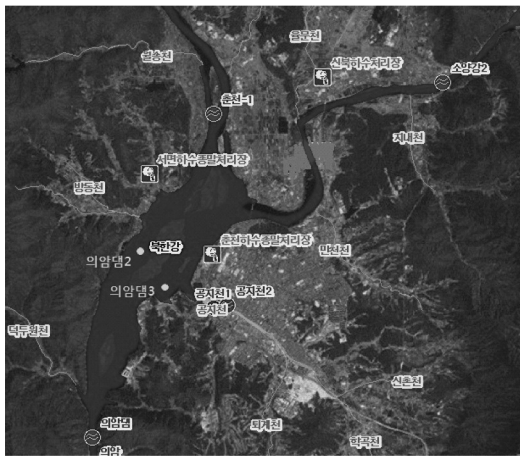


Figure 1. The status of the Lake Uiam watershed

을 거쳐 의암호로 간접적으로 유입하고 있다. 의암호는 공공하수처리시설 방류수 수질기준 II지역으로 인처리 시설은 춘천하수처리장 2012년 6월, 서면·신북하수처리장은 2011년 10월 도입되었다(Table 1). 의암호의 수질은 환경부 수질측정망 운영결과를 활

용하여 나타내었는데 의암댐1(댐앞, 신연교), 춘천1(본류 유입부), 소양강2, 공지천1 지점의 조사결과를 활용하였다(Figure 1).

## 2. 춘천시 하수처리장 방류수 수질(TN, TP) 현황 및 처리 효율

2010 ~ 2013년 4년간 춘천시 하수처리장 운영자료를 분석한 결과, 인처리 시설 도입에 따라 총인의 경우 8~36% 정도 처리효율이 향상되었으며, 즉 방류수 총인 농도는 인처리 시설 도입 전 0.270 ~ 0.916 mg/L에서 인처리 시설 도입 후 0.140 ~ 0.180 mg/L으로 총인 농도가 개선되는 효과가 있다.

하수처리장 인처리 시설 도입 후 총질소의 처리효율은 춘천·신북 하수처리장의 경우 1.1 ~ 2.4% 범위에서 소폭 증가하였으나 서면하수처리장의 경우 4.9% 소폭 감소하였다. 즉, 방류수 총질소 농도는 인처리 시설 도입 전 6.249 ~ 12.204 mg/L에서 인처

Table 2. The concentration and removal efficiency of outflow at the PSTWs in Chuncheon

PSTWs	Flowrate(m <sup>3</sup> /d)		Introduction of P treatment process	TN (mg/L)			TP (mg/L)			
	Inflow	Outflow		Inflow	Outflow	Removal Efficiency(%)	Inflow	Outflow	Removal Efficiency(%)	
Chuncheon	123,723 (43,008~200,792)	110,035 (64,030~164,747)	'12.5.13	Before	26.820 (0.313~55.400)	10.572 (1.080~19.669)	57.2 (0.4~97.2)	2.982 (0.490~20.610)	0.916 (0.050~1.980)	66.7 (1.5~98.3)
				After	25.799 (3.004~50.865)	10.158 (1.793~19.783)	59.6 (0.8~91.8)	2.723 (0.491~8.744)	0.140 (0.011~0.598)	94.0 (58.7~99.6)
Seomyun	776.0 (320~2,627)	643.1 (6.8~2,208)	'11.9.7	Before	15.047 (1.380~62.180)	6.249 (0.160~18.030)	54.6 (0.1~99.1)	1.696 (0.330~9.930)	0.784 (0.050~1.820)	50.6 (0.8~97.1)
				After	12.424 (1.360~51.691)	6.287 (0.937~14.820)	49.7 (0.1~94.4)	1.662 (0.213~10.560)	0.180 (0.006~0.950)	86.5 (11.2~99.7)

Table 2. Continued

PSTWs	Flowrate(m <sup>3</sup> /d)		Introduction of P treatment process	TN (mg/L)			TP (mg/L)			
	Inflow	Outflow		Inflow	Outflow	Removal Efficiency(%)	Inflow	Outflow	Removal Efficiency(%)	
Sinbuk	2,279.9 (1,383 ~3,378)	2,063.7 (721 ~3,316)	'11.10.1	Before	24.761 (4.160 ~68.390)	12.204 (0.100 ~20.770)	48.1 (0.5~99.7)	2.262 (0.230 ~16.350)	0.270 (0.060 ~1.800)	85.8 (13.0~99.1)
				After	29.287 (0.113 ~84.532)	14.254 (1.237 ~24.673)	49.2 (0.3~94.6)	3.295 (0.183 ~7.906)	0.168 (0.010 ~0.650)	93.8 (32.7~99.8)

※ Source: NIER, 2010-2013b.

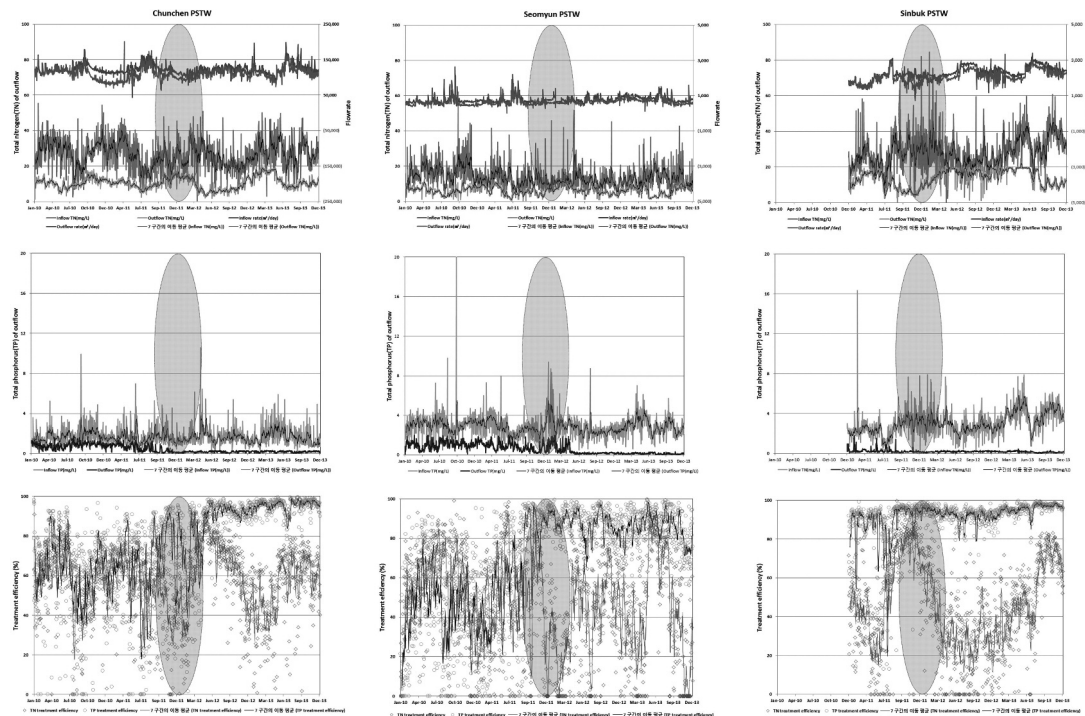


Figure 2. The concentration and removal efficiency of outflow at public sewage treatment works in Chuncheon

※ Gray color part is the time that taste and odor occurred from drinking water from November 2011 to January 2012.

리 시설 도입 후 6,287 ~ 14,254 mg/L로 약간 증가하는 것으로 조사되었다. 춘천하수처리장의 경우 2013년 5월까지 방류수 질소 농도가 높게 지속된 것은 생물반응조 복개 및 낮은 질소 농도의 원수 유입이 원인인 것으로 판단되었다. Figure 2에서와 같이 질소 처리효율은 계절의 변화에 따라 함께 변동되며 인처리 시설 도입 전·후 평균효율은 48.1 ~ 57.2%, 49.2 ~ 59.6%로 거의 변화가 없는 것으로 나타났고, 인 처리효율은 인처리 시설 도입 후 86.5 ~ 94.0%

로 높은 수준에서 안정적으로 유지되는 것으로 나타났다.

### 3. 의암호 및 유입지천 수질 현황

2010년부터 2013년까지 국가수질측정망 수질조사 결과, 총인 및 총질소 등 영양염류의 경우 의암호 유입부인 춘천1 지점보다 댐앞(신연교) 지점의 수준이 다소 높게 나타났다. 즉, 총질소의 경우 평균 1,887 mg/L에서 2,148 mg/L로 12% 정도, 총인의

Table 3. The status of water qualities in the Lake Uiam and its tributary streams

Classification	Lake Uiam (Sinyon bridge)	Mainstream of North- Han river(Chuncheon 1)	Tributary stream	
			Soyang river	Gongzi stream 1
TN(mg/L)	2.148(0.961 ~ 7.457)	1.887(0.807 ~ 3.563)	1.618(1.246 ~ 2.246)	4.998(2.773 ~ 10.696)
TP(mg/L)	0.033(0.005 ~ 0.616)	0.026(0.000 ~ 0.233)	0.016(0.004 ~ 0.089)	0.074(0.017 ~ 0.473)
Chl-a(mg/m <sup>3</sup> )	7.3(0.8 ~ 37.2)	4.0(0.6 ~ 11.6)	2.1(0.1 ~ 7.0)	3.5(0.0 ~ 16.4)

※ Source: NIER, 2010-2013a.

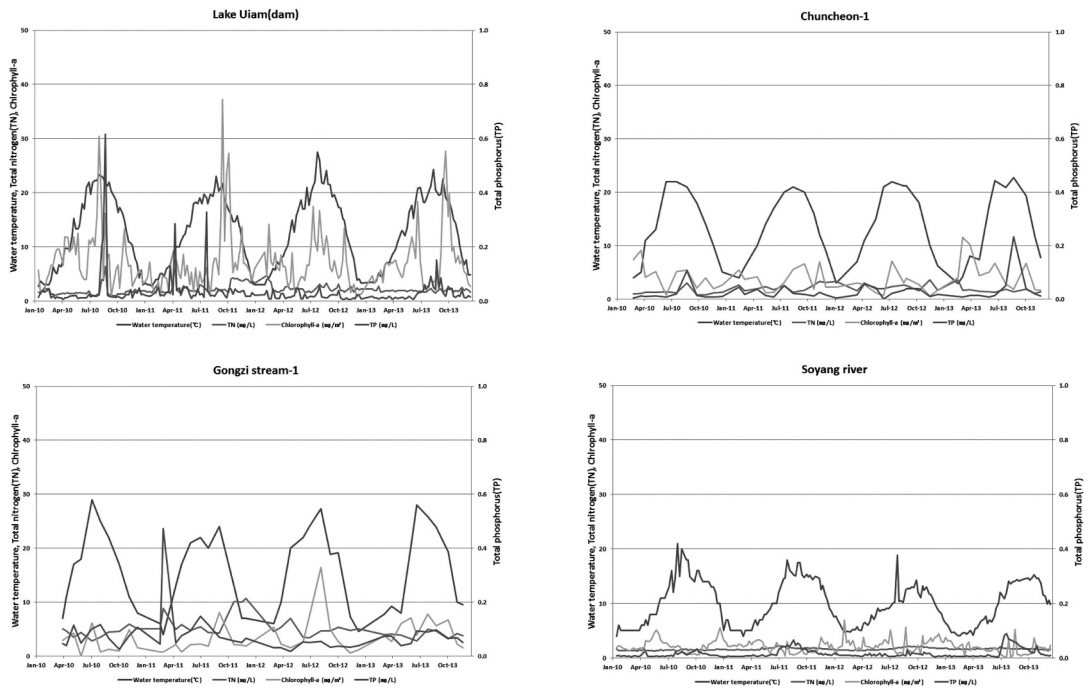


Figure 3. Variation of water qualities in the Lake Uiam and its tributary streams

※ Source: NIER, 2010-2013a.

Table 4. The status of taste and odor substances at Sinyon bridge in the Lake Uiam

Classification		‘11.11.28 ~ ‘12.1.11(n=35)	‘12.5.23 ~ ‘13.4.1(n=12)	‘13.4.9 ~ 12.18(n=20)
Cell number of cyanobacteria (cells/mL)		276(0~4,576)	9,893(0~43,850)	298(13~1,276)
Taste and odor substances (ng/L)	Geosmin	36.8(0.0~182.0)	56.5(0.0~295.0)	15.3(1.6~60.3)
	2-MIB	1.4(0.0~27.0)	2.2(0.0~5.0)	-

※ Source: Committee of Han-river Watershed Management and Han-river Environment Research Center(2013); Water Environment Information System(<http://water.nier.go.kr>).

경우 평균 0.026 mg/L에서 0.033 mg/L로 21% 정도 증가하였다. 클로로필 a 농도는 본류 구간에서 평균 4.0 mg/m<sup>3</sup>, 소양강에서 평균 2.1 mg/m<sup>3</sup>, 공지천에서 평균 3.5 mg/m<sup>3</sup>으로 나타나 의암호로 유입되는 하천수보다 의암호 뱀앞(신연교)에서 평균 7.3 mg/m<sup>3</sup>으로 높게 나타났다. 이는 정체지역에서 체류

시간이 증가함에 따라 조류가 더 많이 발생하는 것으로 판단된다(Table 3, Figure 3).

이취미물질의 경우 Geosmin 농도가 2011년(1기) 평균 36.8 ng/L, 2012년(2기) 평균 56.5 ng/L, 2013년(3기) 평균 15.3 ng/L 등 시기별로 차이가 있어 지속적인 조사가 필요한 것으로 나타났으며, 북한강수

Table 5. Mass balance of total nitrogen in the Lake Uiam and its tributary streams(Unit: kg/day)

Classification	Mainstream load of North-Han river	Tributary stream load		Public sewage treatment works' load			Sum of TN inflow load in the Lake Uiam	TN outflow load in the Lake Uiam	Increase and decrease (%)
		Soyang river	Gongzi stream	Chuncheon	Seomyun	Sinbuk			
2010 (%)	1,229.2	863.5	121.0	1,173.8	3.8	-	3,391.3	2,593.1	798.2
	(36.2)	(25.5)	(3.6)	(34.7)			(100)	-	(23.5)
2011 (%)	1,843.7	1,760.1	186.8	1,044.5	3.5	19.3	4,857.9	5,243.6	△385.7
	(38.0)	(36.2)	(3.8)	(22.0)			(100)	-	(-5.4)
2012 (%)	1,866.7	931.3	133.0	899.9	4.1	33.2	3,868.2	3,370.6	497.6
	(48.2)	(24.1)	(3.4)	(24.3)			(100)	-	(12.9)
2013 (%)	1,655.2	1,280.0	107.2	1,380.6	4.3	33.3	4,460.6	4,247.1	213.5
	(37.1)	(28.7)	(2.4)	(31.8)			(100)	-	(4.8)

※ Mainstream load of North-Han river is calculated by the discharge of Chuncheon dam, Soyang river by the discharge of Soyang dam, and Lake Uiam by the storage flow. Gongzi stream is calculated by six month flow and PSTWs by outflow.

계 수돗물 이취미 발생시기인 2011년 겨울철 및 2012년 여름철 남조류와 Geosmin 농도가 높게 나타났다(Table 4).

### III. 하수처리장 방류수가 의암호 수질에 미치는 영향 분석

#### 1. 총질소 물질수지

의암호 질소의 주 공급원은 북한강 본류이며, 하수처리장 방류수가 2차 공급원으로 나타났다. 춘천시 하수처리장 방류수 총질소 부하량은 의암호 전체 유입량 대비 2010년 35%에서 2011년과 2012년 22~24%로 줄었다가 다시 2013년 32%로 늘어나 그 영향이 그대로 유지되는 것으로 나타났다. 소양강 및 하수처리장의 영향을 받아 의암호의 총질소 농도는 본류 유입부에서 평균 1.887 mg/L보다 의암호 댐앞에서 평균 2.148 mg/L로 약 14% 증가하였다(Table 5). 즉, 총질소 물질수지의 경우 북한강 본류에서 유입되는 부하량(기여율)이 하수처리장 방류수 부하량(기여율)보다 큰 것으로 나타났으며, 2012년 인처리 시설 도입 이후 질소 처리효율은 거의 개선되지 않은 것으로 나타났다.

#### 2. 총인 물질수지

춘천시 하수처리장의 총인 부하량은 점차 감소하

는 추세이나 2012년 총인 방류수 수질기준 강화 이전에는 기여율이 높았다. 즉, 춘천시 하수처리장 방류수의 총인은 의암호 전체 유입량을 기준으로 하였을 때 75%에서 18%으로 그 영향이 크게 감소하였으며 총인 처리효율은 약 8~36% 정도 향상되었다. 북한강 본류의 총인 부하량이 차지하는 기여율이 2010년 19.1%에서 2013년 54.6%로 증가하였고, 하수처리장의 영향을 받아 의암호의 총인 농도는 의암호 본류 유입부 평균 0.026 mg/L에서 의암호 댐앞 평균 0.033 mg/L로 약 27% 증가하였다(Table 6).

#### 3. 의암호 수질에 영향을 미치는 환경요인 및 조류 발생

호수의 수질에 영향을 주는 수리·수문 주요 요소는 수온, 강우량, 체류시간 등으로 알려져 있다. 수온의 경우 저수온기에 수온 상승과 체류시간 증가 등의 물리학적 수환경 변화는 남조류 *Anabaena spiroides*의 과다 증식에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 팔당호에서 *Anabaena* spp.는 수온이 약 13℃ 이하 조건에서도 체류시간이 최소 약 11일 이상이면 출현하는 것으로 조사되었다(국립환경과학원, 2008). 의암호의 저수량은 4년 평균 6,609.4 만 m<sup>3</sup>이고 평균 체류시간은 9.2 일로 전형적인 하천형 호수에 해당한다고 볼 수 있다(이승현, 2006). 연간 저·갈수기(9월~익년 1월) 체류시간은 2010년을 제외하고 전체

Table 6. Mass balance of total phosphorus in the Lake Uiam and its tributary streams(Unit: kg/day)

Classification	Mainstream load of North-Han river	Tributary stream load		Public sewage treatment facilities' load			Sum of TP inflow load in the Lake Uiam	TP outflow load in the Lake Uiam	Increase and decrease (%)
		Soyang river	Gongzi stream	Chuncheon	Seomyun	Sinbuk			
2010 (%)	29.3	6.7	2.0	114.3	0.5	-	152.8	84.9	67.9
	(19.1)	(4.4)	(1.3)	(75.1)			(100)	-	(44.4)
2011 (%)	25.5	25.1	3.1	85.9	0.3	0.5	140.4	81.9	58.5
	(18.2)	(17.8)	(2.2)	(61.8)			(100)	-	(41.7)
2012 (%)	20.6	6.2	1.0	42.7	0.1	0.4	71.0	25.6	45.4
	(29.0)	(8.7)	(1.5)	(60.8)			(100)	-	(64.0)
2013 (%)	45.3	21.2	1.9	14.1	0.1	0.3	82.9	88.1	△5.2
	(54.6)	(25.6)	(2.3)	(17.5)			(100)	-	(-6.3)

※ 북한강본류는 춘천댐 방류량, 소양강은 소양강댐 방류량, 의암호는 방류량으로 산정. 공지천은 평수량 기준으로 산정. 하수처리장은 방류량으로 산정

Table 7. Retention time of Lake Uiam in dry season (2010 ~ 2013)

Classification	2010('10.9~'11.1)	2011('11.9~'12.1)	2012('12.9~'13.1)	2013('13.9~'13.12)
Retention time for dry season (day)	9.3(0.0~29.9)	18.3(4.6~104.2)	12.5(4.6~48.5)	14.3(3.4~100.3)

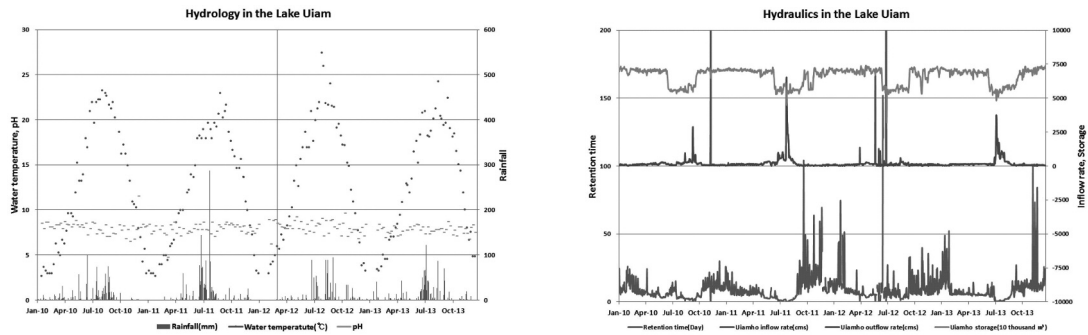


Figure 4. Characteristics of hydrology and hydraulics in the Lake Uiam

평균 체류시간보다 약 36~99% 길게 나타났다. 특히 북한강수계 수돗물에서 이취미가 발생한 2011년 갈수기에는 2배 가량 체류시간이 긴 18.3 일로 나타났다(Table 7). 체류시간이 짧을 때에는 영양염류를 이용하는 기간이 감소하고 영양염류의 농도가 낮아져 식물플랑크톤의 현존량이 감소하며(Reynolds *et al.*, 2012), 체류시간이 가장 길었을 때 팔당호의 남쪽 지류와 경안천에서는 인 부하가 2배로 증가하였으며 평균 Chlorophyll-a 농도는 약 25 ~ 33% 정도 증가하였다(Na and Park, 2006). 북한강 수계의 갈수현상과 하천유량 감소는 북한강 수계 하류에 위치한 각 댐호의 유입량 및 방류량이 감소하고 체류시

간이 증가하여 남조류 *Anabaena spiroides*의 증식에 영향을 미치는 것으로 나타났다(유경아 등, 2013). 의암호의 수온은 2010년부터 2013년까지 4년간 평균 13.0℃이고 2.7 ~ 27.5℃의 범위로 조사되었으며, 2011년 이취미가 발생한 저·갈수기('11.9 ~ '12.1)에는 3.3 ~ 21.6℃의 범위에서 조사되었고 평균 13.3℃이었다. pH는 2010년부터 2013년까지 4년간 평균 7.9℃이고 4.7 ~ 11.5의 범위에서 나타났으며, 2011년 이취미가 발생한 저·갈수기('11.9 ~ '12.1)에는 조류가 증식하기 알맞은 7.3 ~ 8.6의 범위에서 조사되었고 평균 8.0 이었다. 일강우량은 4년간 평균 4.5 mm이나 최대 901 mm까지 높은 것

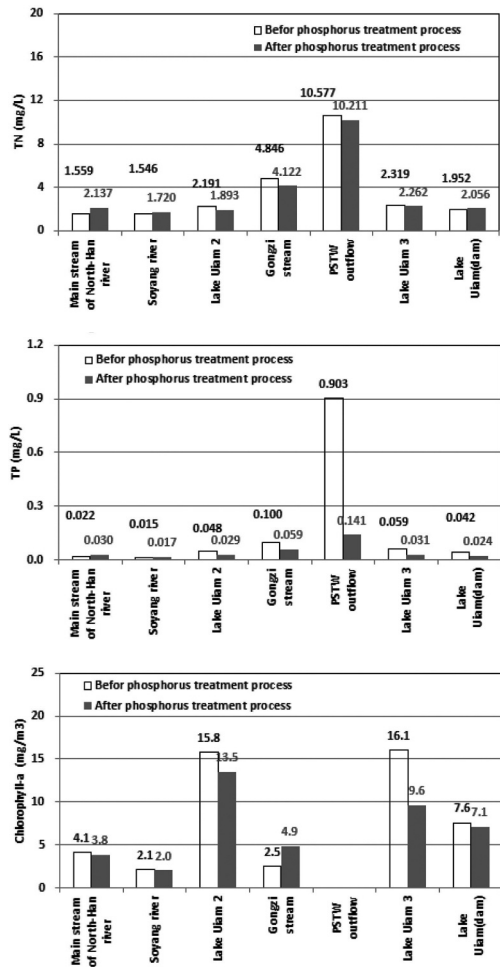


Figure 5. Variation of water qualities in the Lake Uiam and its tributary streams before(Empty bar) and after(Red bar) introducing phosphorus treatment process of PSTWs in Chuncheon

으로 나타났으며 2011년 저·갈수기에는 최대 27 mm가 내리는 것으로 나타났고 평균 1.0 mm로써 거의 강우가 없었던 것으로 조사되었다. 즉, 북한강수계 수돗물 이취미 발생시기인 2011년 저·갈수기 평균 수온은 13.3℃, 평균 pH는 8.0으로 조류발생에 적합한 조건을 갖는 것으로 나타났다(Figure 4).

2010년부터 2013년까지 국가수질측정망 수질조사 결과, 북한강 본류인 의암호 유입부에서 조류 농도(Chlorophyll-a)가 평균 4.0 mg/m<sup>3</sup>로 소양강에서 평균 2.1 mg/m<sup>3</sup>, 공지천에서 평균 3.5 mg/m<sup>3</sup>로서 유입 조류 농도보다 높고 의암호 내 댐앞에서 조

류 농도가 7.3 mg/m<sup>3</sup>로 높게 나타났다. 따라서 의암호 조류농도는 내부생산력에 의해 증가되는 것으로 추정된다. 춘천시 하수처리장 인처리시설 도입에 따라 의암호 총인 농도는 인처리시설 도입 전 평균 0.042 mg/L에서 도입 후 평균 0.024 mg/L로 43% 정도 감소하였으며, 이 때 조류 농도는 인처리시설 도입 전 평균 7.6 mg/L에서 도입 후 평균 7.1 mg/m<sup>3</sup>로 6.5% 정도 약간 감소한 것으로 나타났다(Figure 5). 2013년 국립환경과학원에서 춘천하수처리장의 방류수 총인농도 변화에 따라 방류수역의 의암호 수질이 변하는 정도를 살펴보기 위해 수행한 연구에서도 이와 유사한 결과를 얻었다. 2010년 하절기(7~8월)를 대상으로 입력자료를 구축하고 이때 춘천하수처리장 방류수 총인 농도를 1.1 mg/L로 정하고 2012년 인처리 시설이 도입된 후 2013년 방류수 총인 농도를 0.1 mg/L로 적용하여 조류농도를 시물레이션한 결과 2010년 14.7 mg/m<sup>3</sup>에서 2013년 13.7 mg/m<sup>3</sup>로 약 7% 정도 감소하는 효과가 나타났다(국립환경과학원, 2013).

#### 4. 의암호 수질영향 분석 및 대책

의암호는 이미 수체 내 영양염류가 부영양화 수준(N > 2.0 mg/L, P > 0.02 mg/L)으로 존재하고 있기 때문에 조류발생은 체류시간, 수온 등과 같은 환경요인의 변화에 민감하게 반응할 가능성이 상존하고 있다. 북한강 수계 수돗물 이취미가 발생한 2011년 저·갈수기 체류시간이 18.3 일로 4년 전체 평균 체류시간보다 약 2배 높았으며, 이 시기에 평균 수온이 13.3℃(3.3~21.6℃)로서 조류가 발생하여 생존할 수 있는 조건이 유지된 것으로 볼 수 있다.

Figure 5의 Lake Uiam 2(의암댐 2) 지점은 Figure 1에서와 같이 서면하수처리장 방류수의 영향을 받는 곳이고 Lake Uiam 3(의암댐 3) 지점은 춘천하수처리장 방류수의 영향을 받는 곳이다. PSTW outflow는 춘천지역 하수처리장 3개소의 방류수가 모두 의암호로 유입하므로 전체 평균 수질로 나타내었다. 의암호 내 Lake Uiam 2 지점에서 TN은 인처리시설 도입 전 2,191 mg/L에서 1,893 mg/L로



13.6% 감소하였으며 이때 서면하수처리장 방류수의 TN 농도는 인처리시설 도입 전 6.249 mg/L에서 도입 후 6.289 mg/L로 거의 변화가 없었다. Lake Uiam 3 지점에서 TN 농도는 인처리시설 도입 전 2.319 mg/L에서 2.262 mg/L로 2.5% 감소하였는데 이때 춘천하수처리장 방류수의 TN 농도는 인처리시설 도입 전 10.572 mg/L에서 도입 후 10.158 mg/L로 다소 감소하였다. 즉, 인처리 시설 도입에 따라 방류수 총질소 농도는 도입 전보다 도입후 1.1~2.4% 증가하거나 4.9% 감소하여 처리효율은 거의 변화가 없었으며, 의암호에서 TN 농도는 인처리시설 도입 전 1.952 mg/L에서 인처리시설도입 후 2.056 mg/L로 약간 증가하는 것으로 나타나 TN은 인처리시설 도입에 따른 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

의암호 내 Lake Uiam 2 지점에서 TP는 인처리시설 도입 전 0.048 mg/L에서 0.029 mg/L로 39.6% 감소하였으며 이때 서면하수처리장 방류수의 총인 농도는 인처리시설 도입 전 0.784 mg/L에서 도입 후 0.180 mg/L로 77.0% 감소하였다. 또한 Lake Uiam 3 지점에서 TP는 인처리시설 도입 전 0.059 mg/L에서 0.031 mg/L로 47.5% 감소하였는데 이때 춘천하수처리장 방류수의 TP 농도는 인처리시설 도입 전 0.916 mg/L에서 도입 후 0.140 mg/L로 84.7% 감소하였다. 의암호 내 댐앞에서 TP는 인처리시설 도입 전 0.042 mg/L에서 인처리시설 도입후 0.024 mg/L으로 감소하였고, 조류 농도는 인처리시설 도입 전 7.6 mg/m<sup>3</sup>에서 인처리시설 도입후 7.1 mg/m<sup>3</sup>로 6.6% 개선되었다. 즉, 인처리시설 도입으로 개별 하수처리장 방류수의 TP 농도 감소에 의해 의암호 내 방류수역에서의 TP 농도도 낮아져 도입에 따른 효과가 큰 것으로 나타났으나 의암호 내 댐앞(신연교)에서는 수질개선 효과가 개별 방류수역보다 크지 못한 것은 이미 수체 내 상당량의 영양염류가 존재하고 있어 조류농도 저감 효과는 크지 않았다. 또한 하수처리장에서 영양염류 유입뿐만 아니라 의암호 유역에서 비점원 오염물질 유입, 조류발생에 따른 내부생산에 의한 유입 등 다양한 경로로 유입되는 영양염류에 의한 영향으로 판단된다.

이러한 의암호 내 영양염류를 줄이기 위해서는 의

암호(춘천댐 등) 상류지역에 대한 유역관리 대책을 수립하는 것이 필요하며 또한 인처리시설 도입으로 인한 총인 저감 효과에 비해 질소 저감 효과는 미흡하므로 춘천지역 하수처리장 질소 처리를 위한 운영·관리 개선 방안을 마련하는 것이 필요하다.

## IV. 결론

2011년말 저·갈수기 북한강수계 물을 상수원수로 사용하는 수돗물에서 이취미가 발생하였고 이는 겨울철(저·갈수기) 조류가 발생하여 상수원수에서 이취미물질을 배출하는 것과 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 북한강수계에서 조류의 발생 원인은 영양염류의 과다와 기상요인에 의한 것으로 보고 있으며 춘천지역의 생활하수에서 기인하는 영양염류를 중심으로 춘천시 공공하수처리시설의 방류수에서 배출하는 영양염류와 의암호 조류 발생과의 관계, 그 영향을 분석하고 대책을 고찰하였다.

영양염류가 의암호 수체 내 부영양화 수준으로 존재하고 있고, 2011년 저·갈수기 체류시간은 2010~2013년까지 4년 평균보다 2배 높은 18.3 일, 수온은 4년 평균 수온과 유사한 13.0℃ 등과 같이 조류 발생에 필요한 환경요인은 상존하고 있다. 의암호 수계에서 총인 부하량은 2012년 인처리시설 도입 전 0.042 mg/L에서 인처리시설 도입후 0.024 mg/L로 감소하였고, 조류 농도는 인처리시설 도입 전 7.6 mg/m<sup>3</sup>에서 인처리시설 도입후 7.1 mg/m<sup>3</sup>로 약간 개선되었다. 반면, 총질소 인처리시설 도입 이후 질소 처리효율은 도입 전보다 도입후 1.1~2.4% 증가하거나 4.9% 감소하여 거의 변화가 없었다고 볼 수 있으며, 의암호에서 총질소는 인처리시설 도입 전 1.952 mg/L에서 인처리시설도입 후 2.056 mg/L로 오히려 약간 증가하는 것으로 나타났다.

따라서, 인처리시설 도입으로 의암호에서 총인 농도는 감소 효과가 큰 것으로 나타났으나 질소 및 조류 농도는 그대로 유지되었다. 이는 의암호 수체에 이미 상당량의 영양염류가 존재하고 있기 때문이며 의암호 상류지역에 대한 유역관리 대책을 수립하는 것이 필요한 것으로 판단되었다. 또한 인처리 시설을

도입하여 의암호 내 총인 농도는 감소하였으나 총질소에 대한 저감 효과가 크지 못하므로 춘천지역 하수처리장 질소 처리를 위한 운영·관리 개선 방안을 마련하는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

## 인용문헌

- 국립환경과학원. 2008. 조류예보제 발령기준 적정화 방안 연구.
- 국립환경과학원. 2010-2013a. 국가수질측정망 수질자료.
- 국립환경과학원. 2010-2013b. 전국오염원조사 자료.
- 국립환경과학원. 2012. 금강수계 조류발생에 따른 이취미물질 생성현황 및 관리방안 연구.
- 국립환경과학원. 2013. 북한강수계 중·상류 조류 발생 및 거동 예측 모델링 연구(I).
- 유경아, 변명섭, 윤석제, 황순진, 류덕희. 2013. 북한강 수계에서 이취미를 유발하는 남조류 (*Anabaena spiroides*)의 증식 특성, KJEE, 46(1): 135-144.
- 이건호, 김영관, 이용석, 김동진. 2006. 의암호 내 부생성 유기물에 대한 물질수지 분석 및 WASP 모델 적용, 대한상하수도학회, 한국물환경학회 2006 공동 추계학술발표회 논문집, G-1~11.
- 이승현. 2006. 호소의 부영양화와 대처방안, 한국관개배수, 13(1): 127-139.
- 이은정, 최일환. 2012. 한강수계 식물플랑크톤의 군집 변화와 이취미물질 분석, 대한상하수도학회, 한국물환경학회 2012 공동학술발표회 논문집, P-217, 766-767.
- 한강수계관리위원회, 한강물환경연구소. 2013. 한강수계 유해조류 분포 및 생리·생태적 발생특성 연구.
- Na, E. H. and S. S. Park. 2006. A hydrodynamic and water quality modeling study of spatial and temporal patterns of phytoplankton growth in a stratified lake with buoyant incoming flow, Ecological

Modelling, 199: 298-314.

- Reynolds, C. S, S. C. Maberly, J. E. Parker and M. M. Ville. 2012. Forty years of monitoring water quality in Grasmere (English Lake District): Separating the effects of enrichment by treated sewage and hydraulic flushing on phytoplankton ecology, Freshwater Biology, 57: 384-399.

## References

- National Institute of Environmental Research (NIER). 2008. A study on the alert criteria of harmful algal bloom alert system (I).
- NIER. 2010-2013a. National pollution source investigation system data (<http://water.nier.go.kr>).
- NIER. 2010-2013b. National water quality monitoring network system data (<http://water.nier.go.kr>).
- NIER. 2012. Occurrence and management of odor compounds produced by algae in the Geum river.
- NIER. 2013. A spatially distributed modeling study on the algal dynamics in the middle-upper reaches of the North-Han river, Korea (I).
- Kyung-A You, Myung-Seop Byeon, Seok-Jae Youn, Soon-Jin Hwang, Doug-Hee Rhew. 2013. Growth characteristics of Bluegreen algae (*Anabaena spiroides*) causing tastes and odors in the North-Han river, KJEE, 46(1): 135-144.
- Geonho Yi, Yeongkwan Kim, Yongseok Lee, Dongjin Kim. 2006. Mass balance analysis and application of the WASP model on the internal organic matter production in Uiam lake, Common proceedings for fall

- conference of KSWW and KSWE.
- Seunghoon Lee. 2006. The eutrophication of lakes and reservoirs and their management plans, Korean Journal of Irrigation and Discharge, 13(1): 127-139.
- Eunjung Lee, Ilhwan Choi. 2012. Variation of the phytoplankton community and analysis of odor compounds in Han river, Common proceedings for spring conference of KSWW and KSWE.
- Committee of Han-river Watershed Management and Han-river Environment Research Center. 2013. Distribution and eco-physiological characteristics of harmful algae in the North-Han river.
- Na, E. H. and S. S. Park. 2006. A hydrodynamic and water quality modeling study of spatial and temporal patterns of phytoplankton growth in a stratified lake with buoyant incoming flow, Ecological Modelling, 199: 298-314.
- Reynolds, C. S, S. C. Maberly, J. E. Parker and M. M. Ville. 2012. Forty years of monitoring water quality in Grasmere (English Lake District): Separating the effects of enrichment by treated sewage and hydraulic flushing on phytoplankton ecology, Freshwater Biology, 57: 384-399.