

# 국내 중소형 저수지 활용을 위한 수질 분석 Water Quality Monitoring in Small/Medium Sized Reservoirs

임명희 · 이원태\* · 손영규\*,†  
Myunghee Lim · Wontae Lee\* · Younggyu Son\*,†

여수화학재난합동방재센터 · \*금오공과대학교 환경공학과  
Yeosu Joint Inter Agency Chemical Emergency Preparedness Center  
\*Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received November 5, 2015; Revised November 26, 2015; Accepted November 30, 2015)

**Abstract :** Water quality investigation was conducted for small/medium sized reservoirs in A city in June and November 2014 as a preliminary step for further use. Water quality analysis experiments were conducted for 21 reservoirs managed by a local government and water quality data were obtained from Korea Rural Community Corporation for 12 reservoirs. It was found that relatively poor water quality, not satisfied with the regulation level (somewhat poor(IV)) for agricultural use, was observed for some reservoirs and worse water quality (poor(V) and very poor(VI) grade) was observed for more reservoirs during autumn/winter season due to the decrease in water volume. Correspondingly, the trophic state was obtained as “Eutrophic” or “Hypertrophic” using the Korean trophic state index for most reservoirs. It was also revealed that significant contamination in sediments was not observed for selected 8 reservoirs considering water quality in each reservoir. The results in this study could be useful for the use of small/medium sized reservoirs as alternative water resources, tourism resources, inland fishery resources, renewable energy production sites, and anti-flooding reservoirs.

**Key Words :** Small/Medium Sized Reservoirs, Water Quality, Sediments, Trophic State Index

**요약 :** 체계적인 관리가 이루어지지 않고 있는 중소형 저수지의 향후 적극적 활용을 위한 예비 연구로 A시의 중소형 저수지 33개에 대한 현장조사 및 수질자료 분석이 수행되었다. 여름철(6월)과 가을/겨울철(11월) 2차례에 걸쳐 지자체 관리의 21개 저수지에 대한 수질 분석이 이루어졌으며, 한국농어촌공사 관리의 12개 저수지의 수질자료를 확보하여 비교 분석하였다. 2차례의 수질 분석 수행 결과, 일부 중소형 저수지의 수질이 현행 이용목적인 농업용수 공급이 가능한 “약간나쁨(IV)” 수준에 미치지 못하는 것으로 확인되었으며, 저수용량이 감소하는 가을/겨울철에 수질악화가 대부분의 저수지에서 발생하는 것으로 나타났다. 이로 인해 한국형 부영양화지수에 의한 부영양화 상태가 대부분의 저수지에서 “부영양” 혹은 “과영양” 상태인 것으로 확인되었다. 도심지와와 접근성이 높은 일부 저수지의 퇴적토 분석 결과 오염도는 심각하지 않은 것으로 나타났으며, 수질과의 연관성은 높지 않았다. 이상의 결과는 중소형 저수지에 대한 대체 수자원, 관광사업, 내수면어업, 신재생에너지 생산, 홍수저감을 위한 저류지 등으로의 활용에 대한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 예상되었다.

**주제어 :** 중소형저수지, 수질분석, 퇴적토, 부영양화지수

## 1. 서론

수자원에 대한 관심이 높아지고 있어 기존에는 이용 대상으로 고려하지 않았던 다양한 수자원에 대한 이용 연구가 활발하게 진행되고 있다. 대표적인 대체 수자원 활용방안으로 빗물 이용 및 하수 재이용 등을 고려할 수 있는데, 높은 잠재적 이용 가치 및 관련 기술의 비약적 성장에도 불구하고 아직까지 두 분야의 활용범위가 전체 물재이용량의 10%에도 미치지 못하는 수준으로 확인되고 있다.<sup>1-3)</sup> 일반 시민을 대상으로 한 조사연구에서 물재이용을 확대시키기 위해서는 물재이용 정책개발, 환경보호에 대한 교육 및 재이용수 수질에 대한 신뢰도 향상 등이 필요한 것으로 보고되기도 하였다.<sup>4)</sup>

최근 대체 수자원으로의 활용 및 다양한 목적으로 활용될 수 있는 중소형 저수지에 대한 관심 역시 높아지고 있는데, 농업용수 공급 목적 이외에도 다양한 활용 분야가 제시

되고 있다. 낚시터 등의 소극적 이용방안에서 벗어나 저수지 경관자원을 적극 활용한 수영장, 수상스포츠시설, 캠핑 시설, 테마파크 등의 관광시설로의 이용이 제시되고 있으며, 이는 농촌경제 활성화에 기여할 것으로 예상되고 있다.<sup>5,6)</sup> 또한 생물종 다양성 보존 및 내수면어업을 위한 담수자원의 활용이 제안되기도 하였는데, 우리나라에 서식하는 약 220여종의 어류 중 뱀장어, 잉어, 붕어, 메기 등의 26종에 대하여 수산자원 확보용으로 저수지가 이용될 수 있을 것으로 판단되었다.<sup>7)</sup> 신재생에너지 등의 에너지 생산에도 저수지가 활용될 수 있는데, 저수지 수면에 부유체를 이용한 수상회전식 태양광발전 시설이 설치되어 운영되는 사례도 보고되었다.<sup>8)</sup> 이상의 활용방안 이외에도 치수목적으로 산지 및 도심지 홍수 저감을 목적으로 한 저류지로서의 활용 가능성이 연구되기도 하였다.<sup>9,10)</sup>

이상의 저수지 활용을 위해서는 대상 저수지의 선정 및 선정된 저수지의 기초 조사가 수행되어야 하는데, 한국농

† Corresponding author E-mail: yson@kumoh.ac.kr Tel: 054-478-7637 Fax: 054-478-7859

어촌공사 등에서 관리중인 중대형 저수지의 경우 안정적인 농업용수 공급을 위해 저수량 및 수질 등에 대한 조사가 주기적으로 이루어지고 있는 반면, 지자체 등에서 관리중인 중소 규모 저수지의 경우 체계적인 관리 및 저수량 변화, 수질 변화 등에 대한 조사가 거의 이루어지지 않고 있다. 저수량이 적은 중소형 저수지의 경우 계절, 강우사상, 외부 오염물질 유입 등의 환경변화에 저수량, 수질 등이 상대적으로 매우 크게 영향 받을 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 관리가 거의 이루어지고 있지 않은 중소형 저수지의 활용을 위한 기초단계의 연구 수행으로 A광역시 중소형 저수지 21개를 선정하여 수질 관점에서의 기초 조사를 수행하였다. 여름철과 겨울철의 두 차례 현장 조사를 통해 유기물, 질소인 등의 수질항목을 측정하였고, 이를 이용하여 수질등급 및 부영양화 수준을 평가하였다. 해당 연구 결과는 향후 대체 수자원 확보 차원에서 중소규모 저수지 관리방안 마련 및 지자체의 기후변화 적응대책 마련 등에 적극 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 대상 저수지 선정

중소형 저수지 수질분석 연구가 수행된 A광역시에는 총 352개의 저수지가 있으며, 이 중 유효저수량이 1만톤 미만의 저수지가 전체의 41.2%인 145개, 8만톤 미만의 저수지가 83.2%인 293개를 차지하고 있어 대부분의 저수지가 소규모 저수지로 확인되었다. 수질분석은 유효저수량이 상위 10% 이내의 저수지를 대상으로 수행되었는데, 한국농어촌공사가 관리하지 않는 21개 저수지(유효저수량 범위: 1.3~295천톤, 21개 저수지 평균 유효저수량: 50.9천톤)에 대해 두 차례에 걸친 현장조사가 수행되었다. 추가적으로 한국농어촌공사에서 관리하는 12개 저수지(유효저수량 범위: 6.8~1,161천톤, 12개 저수지 평균 유효저수량: 413.9천톤)에 대한 수질분석 자료를 확보하여 현장조사 결과와 비교 분석하였다.

### 2.2. 수질 분석

2014년 두차례에 걸쳐 21개 저수지에 대한 현장조사가 진행되어 현장 측정 및 수질분석 시료 채취 등이 이루어졌다. 1차 조사는 6월에 13개 저수지((1)~(13)로 지정)에 대하여 하절기를 대표하여 수행되었으며, 2차 조사는 11월에 19개 저수지((1)~(9) 및 (12)~(21)로 지정)에 대하여 동절기를 대표하여 수행되었다. 11월 현장조사의 경우, 저수지 수온 분포가 14.1~20.4°C 범위로 경우에 따라 동절기 수질의 대표성에 대한 논란이 있을 수 있으나 본 연구에서는 조사 시기를 기준으로 동절기로 구분하였다. 현장조사 결과 이외에도 1차 및 2차 현장조사와 유사한 시기의 한국농어촌공사 저수지 수질 분석 데이터((22)~(33)로 지정)를 확보하여 이용하였다.

현장에서 수온, DO, pH를 측정하였고, 채취된 시료를 이용하여 BOD, COD, TN, TP 등을 분석하였다. 2차 조사 시 선택된 8개 저수지에 대해서는 COD, TN, TP, 강열감량

(Ignition loss) 등의 퇴적토의 오염도 분석을 수행하였다. 시료의 채취방법, 채취시료의 보존, 현장측정, 시험방법은 모두 환경부의 “수질오염공정시험기준”에 준하여 수행되었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수질 분석 결과 확인

A광역시 33개 저수지에 대한 1차(6월) 및 2차(11월) 현장 조사의 수질분석 결과와 현장조사 시기와 동일 혹은 유사 시기의 한국농어촌공사의 수질자료를 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Water quality data for 33 reservoirs (June 2014 and November 2014)

| Reservoirs | Effective volume ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> ) | Area ( $\times 10^3$ m <sup>2</sup> ) | 1 <sup>st</sup> water quality monitoring (June) |            |           |           | 2 <sup>nd</sup> water quality monitoring (November) |            |           |           |
|------------|---|---------------------------------------|---|------------|-----------|-----------|---|------------|-----------|-----------|
|            |   |                                       | BOD (mg/L)                                      | COD (mg/L) | TN (mg/L) | TP (mg/L) | BOD (mg/L)  | COD (mg/L) | TN (mg/L) | TP (mg/L) |
| (1)        | 124.5   | 5                                     | 0.5   | 7.4        | 1.4       | 0.05      | 8.7   | 2.3        | 0.03      |           |
| (2)        | 63.6  | 16                                    |   | 7.1        | 3.7       | 0.14      | 3.0   | 9.8        | 2.1       | 0.06      |
| (3)        | 43.4  | 14                                    |   | 5.7        | 0.5       | 0.10      |   | 6.6        | 0.3       | 0.06      |
| (4)        | 102.7   | 19                                    |   | 8.9        | 3.4       | 0.03      |   | 9.6        | 1.9       | 0.04      |
| (5)        | 27.7  | 11                                    |   | 3.4        | 0.9       | 0.02      |   | 6.0        | 0.9       | 0.02      |
| (6)        | 1.3   | 3                                     |   | 3.0        | 1.2       | 0.05      |   | 5.2        | 1.0       | 0.02      |
| (7)        | 107.3   | 22                                    |   | 6.9        | 2.0       | 0.05      |   | 7.5        | 1.9       | 0.03      |
| (8)        | 21.4  | 4                                     |   | 11.8       | 0.5       | 0.05      | 2.6   | 17.4       | 2.5       | 0.32      |
| (9)        | 26.2  | 9.3                                   |   | 5.2        | 0.3       | 0.06      |   | 6.2        | 6.1       | 0.04      |
| (10)       | 26.3  | 9.8                                   |   | 5.6        | 0.9       | 0.05      |   |            |           |           |
| (11)       | 59.1  | 28.9                                  |   | 7.5        | 0.2       | 0.10      |   |            |           |           |
| (12)       | 32  | 16                                    | 2.3   | 13.4       | 0.5       | 0.05      |   | 9.2        | 2.6       | 0.04      |
| (13)       | 15  | 10                                    |   | 7.6        | 0.7       | 0.05      |   | 8.7        | 1.8       | 0.05      |
| (14)       | 295   | 78                                    |   |            |           |           |   | 7.6        | 2.5       | 0.04      |
| (15)       | 30  | 30                                    |   |            |           |           |   | 5.4        | 4.5       | 0.03      |
| (16)       | 7.4   | 1.5                                   |   |            |           |           | 1.9   | 9.8        | 2.0       | 0.06      |
| (17)       | 7.9   | 1.1                                   |   |            |           |           |   | 6.6        | 0.1       | 0.03      |
| (18)       | 27.4  | 9                                     |   |            |           |           | 3.4   | 14.2       | 2.7       | 0.44      |
| (19)       | 22.9  | 9                                     |   |            |           |           | 1.5   | 6.4        | 3.2       | 0.40      |
| (20)       | 14  | 4                                     |   |            |           |           |   | 5.1        | 1.6       | 0.04      |
| (21)       | 14  | 4                                     |   |            |           |           | 3.0   | 11.3       | 2.3       | 0.87      |
| (22)*      | 6.8   | 7                                     |   | 5.2        | 1.2       | 0.02      |   | 7.0        | 3.5       | 0.03      |
| (23)*      | 517   | 86                                    |   | 3.6        | 1.6       | 0.02      |   | 1.8        | 1.7       | 0.03      |
| (24)*      | 576   | 68.5                                  |   | 3.6        | 0.7       | 0.01      |   | 5.2        | 1.1       | 0.02      |
| (25)*      | 140   | -                                     |   | 3.8        | 1.6       | 0.02      |   | 4.0        | 1.2       | 0.02      |
| (26)*      | 666.9   | 226                                   | 1.7   | 4.6        | 0.8       | 0.01      |   |            |           |           |
| (27)*      | 1161  | 1127                                  | 1.1   | 3.6        | 1.1       | 0.01      |   | 4.4        | 1.2       | 0.1       |
| (28)*      | 488.5   | 52                                    |   | 2.8        | 1.0       | 0.01      |   | 2.2        | 1.3       | 0.01      |
| (29)*      | 145.6   | 20                                    |   | 3.0        | 1.1       | 0.01      |   | 2.8        | 1.3       | 0.01      |
| (30)*      | 62.1  | 23                                    |   | 5.4        | 1.2       | 0.02      |   | 6.4        | 0.7       | 0.03      |
| (31)*      | 538.3   | 71                                    |   | 5.6        | 1.0       | 0.02      |   | 4.4        | 1.0       | 0.03      |
| (32)*      | 368.2   | 50                                    |   | 4.6        | 0.6       | 0.02      |   | 6.4        | 0.2       | 0.02      |
| (33)*      | 296   | 38                                    |   | 5.6        | 1.2       | 0.01      |   | 5.2        | 1.0       | 0.02      |

\* The water quality data were obtained from Korea Rural Community Corporation.

1차 조사에서의 용존산소농도는 4.5~10.6 mg/L의 범위로 측정되었는데, 측정된 수온 범위(22.3~28.9°C)에서 대기압평형을 이루는 이론적인 포화용존산소농도(8.1~8.7 mg/L)보다 높은 용존산소농도가 일부 확인되었다. 용존산소농도가 포화농도보다 높게 측정되는 과포화 현상은 국내외에서 종종 보고되고 있는데, 국내 안양천을 대상으로 한 연구에서 주간에는 포화농도의 200%, 야간에는 20% 수준으로 큰 폭의 변화가 일어나는 현상이 보고되기도 하였다. 이는 건기시 조류의 번성 및 유기물의 분해, 강우시 비점오염원의 유입 등이 원인이 될 수 있다고 하였다.<sup>11)</sup> 또한 낮동안 활발한 광합성으로 인해 용존산소농도가 증가하고, 밤에는 생물호흡으로 용존산소가 감소하게 되어 낮과 밤의 용존산소농도 차이가 계절에 따라 변화될 수도 있다.<sup>12)</sup> 상대적으로 온도가 낮은 시기에 수행된 2차 조사에서의 용존산소는 6.9~8.6 mg/L의 범위로 수온 범위(14.1~20.4°C)에 따른 포화용존산소농도 범위인 9.1~10.3 mg/L와 비교하였을 때 과포화상태는 확인되지 않았다.

COD, TN, TP 등의 수질 항목을 살펴보면, 1차 조사에서 COD는 2.8~13.4 mg/L, TN은 0.2~3.7 mg/L, TP는 0.01~0.14 mg/L 수준으로 확인되었으며, 2차 조사에서는 COD 1.8~17.4 mg/L, TN 0.1~6.1 mg/L, TP 0.01~0.87 mg/L 수준으로 분석되었다. 전반적으로 수질이 좋지 않은 상태로 나타났으며, 여름철의 1차 조사 수질분석 결과보다 겨울철의 2차 조사 수질분석 결과가 악화된 것으로 확인되었다. 이는 계절 변화에 따른 저수량 감소가 가장 큰 이유로 고려되었으며, 대상 저수지가 중소형 규모로 농업 등의 저수지 외부에서의 오염물질 유입, 강우량 등에 따른 큰 폭의 저수량 변동 등의 영향에 대해 저수지보다 상대적으로 취약하기 때문인 것으로 판단되었다. 한국농어촌공사에서 관리하는 저수지 이외의 현장 조사 대상 저수지 모두 별도의 수질 관리가 이루어지지 않고 있는 상황이었으며, 겨울철의 수질은 상대적으로 저수량이 큰 한국농어촌공사의 12개 저수지 역시 매우 악화되는 것으로 확인되었다.

Table 2. Water quality status analysis using the ambient water quality standard for lakes

| Reservoirs | 1 <sup>st</sup> water quality monitoring (June) |               |               | 2 <sup>nd</sup> water quality monitoring (November) |               |               |
|------------|---|---------------|---------------|---|---------------|---------------|
|            | COD   | TN            | TP            | COD   | TN            | TP            |
| (1)        | Somewhat poor                                   | Poor          | Average       | Poor  | Very poor     | Average       |
| (2)        | Somewhat poor                                   | Very poor     | Poor          | Poor  | Very poor     | Somewhat poor |
| (3)        | Somewhat poor                                   | Average       | Somewhat poor | Average   | Good          | Somewhat poor |
| (4)        | Poor  | Very poor     | Somewhat good | Poor  | Very poor     | Average       |
| (5)        | Somewhat good                                   | Somewhat poor | Good          | Average   | Somewhat poor | Good          |
| (6)        | Good  | Poor          | Average       | Average   | Somewhat poor | Somewhat good |
| (7)        | Somewhat poor                                   | Very poor     | Average       | Average   | Very poor     | Somewhat good |
| (8)        | Very poor                                       | Average       | Average       | Very poor   | Very poor     | Very poor     |
| (9)        | Somewhat poor                                   | Good          | Somewhat poor | Average   | Very poor     | Average       |
| (10)       | Somewhat poor                                   | Somewhat poor | Average       |   |               |               |
| (11)       | Somewhat poor                                   | Very good     | Somewhat poor |   |               |               |
| (12)       | Very poor                                       | Average       | Average       | Poor  | Very poor     | Average       |
| (13)       | Somewhat poor                                   | Somewhat poor | Average       | Poor  | Very poor     | Average       |
| (14)       |   |               |               | Average   | Very poor     | Average       |
| (15)       |   |               |               | Average   | Very poor     | Average       |
| (16)       |   |               |               | Poor  | Very poor     | Somewhat poor |
| (17)       |   |               |               | Average   | Very good     | Average       |
| (18)       |   |               |               | Very poor   | Very poor     | Very poor     |
| (19)       |   |               |               | Average   | Very poor     | Very poor     |
| (20)       |   |               |               | Average   | Very poor     | Average       |
| (21)       |   |               |               | Very poor   | Very poor     | Very poor     |
| (22)       | Somewhat poor                                   | Somewhat poor | Good          | Somewhat poor                                       | Very poor     | Average       |
| (23)       | Somewhat good                                   | Very poor     | Good          | Very good   | Very poor     | Somewhat good |
| (24)       | Somewhat good                                   | Average       | Very good     | Somewhat poor                                       | Poor          | Good          |
| (25)       | Somewhat good                                   | Very poor     | Good          | Somewhat good                                       | Poor          | Good          |
| (26)       | Average   | Average       | Good          |   |               |               |
| (27)       | Somewhat good                                   | Somewhat poor | Very good     | Average   | Poor          | Good          |
| (28)       | Good  | Average       | Very good     | Good  | Poor          | Very good     |
| (29)       | Good  | Somewhat poor | Very good     | Good  | Poor          | Very good     |
| (30)       | Somewhat poor                                   | Somewhat poor | Good          | Somewhat poor                                       | Somewhat poor | Somewhat good |
| (31)       | Somewhat poor                                   | Average       | Good          | Average   | Somewhat poor | Somewhat good |
| (32)       | Average   | Average       | Good          | Somewhat poor                                       | Good          | Good          |
| (33)       | Somewhat poor                                   | Somewhat poor | Good          | Somewhat poor                                       | Poor          | Good          |

\* Water quality status: Very good(Ia), Good(Ib), Somewhat good(II), Average(III), Somewhat poor(IV), Poor(V), Very poor(IV)

Table 2에 Table 1의 현장 수질분석 결과 및 한국농어촌공사의 수질 결과를 이용하여 환경부의 “호소의 생활환경기준”에 따른 수질 등급을 나타내었다. 수질 등급이 “나쁨(V)” 혹은 “아주나쁨(VI)”인 경우 농업용수로 사용할 수 없는 저수지를 의미하게 된다. 대상 저수지 대부분은 농업용수 공급용으로 현재 이용되고 있으며, 몇몇 저수지는 공원 및 낚시터 등의 추가적인 용도로 이용되고 있다. 한국농어촌공사 관리 12개 저수지의 경우 여름철 수질은 (25)저수지 이외에는 모두 농업용수 수질에 만족하나 겨울철 수질의 경우 대부분의 저수지 수질이 농업용수 수질을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 현장조사가 이루어진 21개 저수지의 경우에도 여름철에는 5개 저수지가, 겨울철에는 15개 저수지가 농업용수 수질에 적합하지 않았다. 농업용수 수질 부적합 항목은 COD와 TN 항목이 주를 이루었으며, TP 항목의 경우 여름철과 겨울철 모두 대부분의 저수지에서 농업용수로 적합한 수질 수준으로 확인되었다. 특히, 겨울철의 경우 대부분의 저수지에서 TN 항목이 “나쁨(V)” 혹은 “매우나쁨(VI)” 항목으로 확인되어 이에 대한 관리가 요구되었다.

### 3.2. 부영양화 평가

저수지 등의 부영양화는 단순히 조류 발생의 정도에 따른 정량적 분석으로 고려할 수 있으나, 국립환경과학원에서 제시한 COD, Chl-a, TP 등에 의한 한국형 부영양화지수로 예측 및 평가할 수도 있다. 한국형 부영양화지수는 다음의 식에 의해 구할 수 있다.<sup>13)</sup>

$$TSI_{KO}(COD) = 5.8 + 64.4 \log(COD \text{ mg/L}) \quad (1)$$

$$TSI_{KO}(CHL) = 12.2 + 38.6 \log(Chl - a \text{ mg/m}^3) \quad (2)$$

$$TSI_{KO}(TP) = 114.6 + 43.3 \log(TP \text{ mg/L}) \quad (3)$$

위의 세가지 부영양화지수를 종합할 경우 외부기원 유기물 지표(COD)에 50%의 가중치를 내부생성 유기물 지표(Chl-a 및 TP)에 50%의 가중치를 각각 적용하여 다음과 같은 종합 부영양화지수를 산정할 수 있다.<sup>13)</sup>

$$\text{종합 } TSI_{KO} = 0.5 TSI_{KO}(COD) + 0.25 TSI_{KO}(CHL) + 0.25 TSI_{KO}(TP) \quad (4)$$

현장조사 수질분석 결과와 한국농어촌공사 수질 결과를 이용하여 TP항목의 부영양화지수와 종합 부영양화지수를 구한 결과 1차 조사에서는 TP 부영양화지수와 종합 부영양화지수가 각각 41.0~78.0 및 42.2~65.7의 범위로 산정되었으며, 2차 조사에서는 TP 부영양화지수와 종합 부영양화지수가 각각 39.1~111.9 및 47.9~76.9의 범위로 산정되었다. 이에 따라 대부분의 저수지가 부영양(50~70) 혹은 과영양(>70) 상태인 것으로 나타나 수질관리 및 강우 사상 등으로

인한 외부오염물질 유입의 차단 등에 대한 방안 마련이 요구되었다.

부영양화 지수를 이용한 국내 연구를 살펴보면 금강유역의 삽교호, 석문호, 대호, 부남호, 보령호, 탐정지 등의 6개 호소에 대한 계절별 부영양화 분석 연구가 수행되었는데, 6개 호소를 계절별로 분석한 결과 대부분의 호소에서 여름철에 부영양화 지수가 가장 높게 확인되었고, 각 호소별로 계절에 따른 부영양화 정도의 변화는 크게 없는 것으로 나타났다. 그러나 저수용량이 가장 적은 석문호(975×10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>)의 경우 부영양화 정도가 계절에 따라 변화하는 정도가 큰 것으로 확인되어 본 연구에서 대상으로 하고 있는 중소규모 저수지의 경우에도 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단되었다.

### 3.3. 퇴적토 오염도 분석

대상 33개 저수지 중 도심과의 접근성이 양호하여 향후 활용 가능성이 타 저수지보다 높은 것으로 판단되는 8개 저수지에 대하여 COD, TN, TP, 강열감량 등의 퇴적토 분석을 2차 현장조사 시 수행하였다(Table 3). 일반적으로 퇴적토의 오염농도가 높은 경우 수질에 악영향을 미칠 것으로 판단하여 준설 등의 수질 개선 사업을 추진하나 현재까지 수질과 퇴적토 농도 사이의 명확한 상관관계는 보고되지 않고 있다. 선진국의 퇴적토 오염농도 기준을 국내에 적용하는 경우도 가능하나, 퇴적토의 지역 상이성, 생물의 서식 환경 및 서식종의 차이 등으로 인해 기준이 과도하게 또는 과소하게 적용될 수 있다.

최근 국립환경과학원의 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준(예규 제 575호)에서는 유기물 및 영양염류 기준으로 완전연소 가능량 13%, 총인 1,600 mg/kg, 총질소 5,600 mg/kg을 제시하였는데, 기준치를 초과하는 경우 명백하거나 심각하게 오염된 상태를 의미하는 것으로 하였다. 본 연구에서의 퇴적토 오염도 조사대상 저수지의 경우 이 기준을 초과하는 경우는 없었으며, 이를 통해 간접적으로 퇴적토로 인한 수질의 오염 가속화는 심각하지 않을 것으로 최초로 판단하였다. 그러나 조사대상 8개 저수지 모두 수질이 “매우나쁨(IV)”으로 확인되어 수질 악화를 퇴적토 오염도와 연관이 지어 평가하기에는 아직까지 무리가 있는 것으로 최종 결정

Table 3. Sediment contamination analysis for 8 reservoirs (November 2014)

| Reservoirs | COD (%) | TN (mg/kg) | TP (mg/kg) | Ignition loss (%) |
|------------|---------|------------|------------|-------------------|
| (2)        | 0.51    | 1,829      | 544        | 4.5               |
| (4)        | 0.62    | 1,819      | 157        | 3.8               |
| (8)        | 0.23    | 1,594      | 200        | 2.7               |
| (12)       | 0.07    | 1,253      | 84         | 2.7               |
| (13)       | 0.45    | 5,150      | 274        | 2.0               |
| (14)       | 0.42    | 1,771      | 195        | 2.4               |
| (18)       | 0.37    | 2,137      | 208        | 4.2               |
| (19)       | 1.16    | 3,527      | 452        | 5.3               |

하였으며, 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 퇴적토 오염과 관련된 기준 마련 연구로 2005년에 농업기반공사(현 한국농어촌공사)에서 농업용 저수지 퇴적물 제거 기준을 제시하기도 하였다.<sup>14)</sup>

#### 4. 결론

A시의 지자체 관리 중소형 저수지 21개 및 한국농어촌공사 관리 저수지 12개에 대한 현장조사 및 수질자료 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 체계적인 관리가 이루어지지 않는 중소형 저수지의 수질이 농업용수로 사용되기에 문제가 되는 경우가 확인되었고, 상대적으로 저수량이 감소하는 가을/겨울철에 “나뽀(V)” 혹은 “아주나뽀(VI)” 수준의 수질이 확인되는 저수지 개수가 크게 증가하였다.

2) 특히 TN 항목이 대체적으로 수질 악화의 원인 항목으로 확인되어 이에 대한 원인 규명 및 대책 마련이 요구되었다.

3) 이상의 낮은 수준의 수질로 인해 대부분의 저수지가 부영양(50~70) 혹은 과영양(>70) 상태인 것으로 확인되었다.

4) 퇴적토 오염도 조사결과, 퇴적토의 오염도는 상대적으로 심각하지 않은 것으로 확인되었으며, 수질과의 연관성은 크지 않은 것으로 나타났다.

#### Acknowledgement

본 연구는 환경부의 토양지하수오염방지기술개발사업(2015-000560002)에서 지원받았습니다.

KSEE

#### References

- Han, C. B. and Lee, T. S., “Seasonal variation and storage period of rainwater quality in Changwon,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **32**(5), 461~468(2010).
- Kim, K., Park, H., Kim, T. and Han, M., “Evaluation of stored rainwater quality and economic efficiency at Yangdo elementary rainwater harvesting system,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(5), 333~341(2014).
- Cho., I. H., Lee, S. J. and Kim, J. T., “Trends and directions in the development of wastewater reclamation and reuse technology for alternative water resources,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **29**(1), 127~137(2013).
- Park, H., Kim, T. and Han, M., “Determinant factor analysis for the spread of water reuse,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(4), 271~276(2014).
- Lee, Y. J. and Seo, J. Y., “The construction of picnic park in Gyeonggi province reservoir,” *J. Korean Soc. People Plants Environ.*, **12**(2), 53~61(2009).
- Kim, J. S., “A study on the utilization of reservoir for revitalization of rural tourism,” *J. Korean Rural Tour. Ass.*, **11**(1), 104~121(2004).
- Korea Rural Community Corporation, “A study on the development of inland fishery resources based on agricultural reservoirs,” pp. 29~39(2013).
- Choi, H. C., “An empirical study for operating characteristics analysis of 100(kW) floated photovoltaic system,” Hanyang University, pp. 3~54(2014).
- Jang, I. G., Lee, J. Y., Lee, J. B. and Kim, J. S., “Evaluation of flood control capacity of agricultural reservoirs during flood season,” *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, **56**(4), 69~75(2014).
- Ko, A. R. and Lee, H. S., “Estimation of the reservoirs flood attenuation index In upper Geumgang catchment,” *J. Korean Soc. Hazard. Mitig.*, **11**(5), 273~280(2011).
- Kim, E., “Stressor identification in an urban stream using continuous automated water quality measurements,” Seoul National University, pp. 58~158(2007).
- Graczyk, D. J. and Sonzogni, W. C., “Reduction of dissolved oxygen concentration in Wisconsin streams during summer runoff,” *J. Environ. Qual.*, **20**, 445~451(1991).
- Kim, E., Sim, K., Kim, S. and Choi, H. I., “Water quality assessment for reservoirs using the Korean trophic state index,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **28**(1), 78~83(2012).
- Korea Rural Community Corporation, “A Study on the Deriving of Sediments Quality Guideline for Reservoir Dredging and the Use of Dredged soil(final),” pp. 88~101(2005).