한국관개배수논문집 제17권 제2호
KCID J. VOL. 17 No.2 (2010. 12) pp.95~104

논 문

농업용 저수지의 유효수심과 수질관리방안

Water Quality Management of Agricultural Reservoirs Considering Effective Water Depth

김 형 중* 김 호 일**

Kim, Hyung Joong · Kim, Ho Il

Abstract

Water quality data for 10 years (2000~2009) from about 826 reservoirs that are operated as a agricultural water quality survey network were analyzed in order to seek water quality management plan based on physical and chemical characteristics of agricultural reservoirs. The 95% reservoirs that exceed agricultural water quality standard of Chl-a (35mg/㎥) had effective water depth shallower than 5m. The reason was that the reservoirs had more inflows of nutrient salts from the watershed, bigger surface water area of weak structure to algae occurrence. As the reservoirs of effective water depth shallower than 5m cover 49% of benefited area for irrigation, it is critical for agricultural water quality management of the reservoirs. The water quality of reservoir with shallower than 5m effective water depth was worse than reservoir with deeper than 5m effective water depth. Therefore, it is desirable that effective water depth of reservoirs make more than 5m for water quality management by building the bank higher and dredging the bottom of reservoirs.

Ⅰ. 서 론

농림수산식품부에서는 농업용수의 수질오염 현황과 오염변화 추이를 종합적으로 파악하여 향후 농업용수 수질관리 정책수립 및 수질개선에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 전국 주요 농업용수원(담수호, 저수지)을 농업용수 수질측정망으로 지정하여 매년 수질을 조사·분석하고 있다. 농업용수 수질측정망 시설은 1990년에 30개소가 지정되어 운영되기 시작하였으며, 2001년 이후로 492개소, 2009년도에는 환경부 호소수질측정망 26개소를

* 한국농어촌공사 농어촌연구원 (iamwater@ekr.or.kr)
** 한국농어촌공사 수자원관리처 (bnrkhi@ekr.or.kr)

키워드 : 수질측정망, 유효수심, 부영양화, 수질관리

포함한 826개소가 지정 · 운영되고 있다(농림수산식품부, 2009).

농업용수 수질관리 정책수립을 지원하기 위해서는 농업용수 수질측정망 자료를 심도있게 분석하여 수질관리 방안을 제시할 필요가 있다. 그 동안 농업용수 수질측정망 자료는 여러 연구자들에 의해 분석되었다. 김(2002)은 우리나라 농업용 저수지의 물리적 특성과 이에 따른 수질관리 방안을, 윤 등(2003)은 농업용 저수지의 유형을 분류하고 유형별 수질관리방안을 제시한바 있다. 전 등(2002a, b)은 수심은 Chl-a의 농도에 영향을 주는 물리적 인자인데, 일반적으로 수심이 깊을수록 Chl-a의 농도는 감소하는 경향을 보이고 있으므로 우리나라 농업용 저수지 계획 수립시 수심을 깊게 할수록, 또한 저수용량을 크게 할수록 저수지 부영양화 관리에 유리한 것으로 나타났다고 보고하고 있다. 이 등(2005)은 394개 농업용 저수지에 대하여 분석한 결과 Chl-a와 TP, COD와의 상관성이 높은 것으로 보고하고 있다. 이 등(2007)은 우리나라 대부분의 농업용 저수지가 부영양상태이며 TP의 증가에 따라 Chl-a 농도가 증가되는 경향을 보이고 있다고 보고하고 있다. 또한 박 등(2009)은 우리나라에 존재하는 대부분의 농업용 저수지는 10m 이하의 평균 수심을 가지며, 호수의 체적에 비해 표면적이 비교적 큰 것을 감안한다면 부영양화 현상이 가속화될 수 있는 가능성이 높다고 보고하는 등 농업용수 수질관리를 위한 다양한 분석이 제시되고 있다.

한편, 이 등(2003)은 Chl-a와 유효수심을 이용하여 농업용 저수지의 유형을 분류하고 유형별 수질관리 방안을 제시한 바 있다. 이 논문에서는 2003년 당시 농업용수 수질기준에 Chl-a 항목이 없었기 때문에 OECD에서 제시하고 있는 부영양화기준인 25mg/m^{3}을 기준으로, 유효수심은 498개 저수지의 평균 유효수심인 5m를 기준으로 농업용 저수지의 유형을 분류하였다. 그러나 최근 환경정책기본법의 호소 수질기준에 Chl-a 항목이 추가되고 농업용수의 수질기준을 35mg/m^{3}로 규정하고 있다. 또한 최근에 농업용수 수질측정망 대상 시설이 826개로 증가되고 이들의 평균 수심도 6.5m이기 때문에 기존의 분류방법을 달리할 필요가 있다.

본 논문에서는 농업용 호소의 조류발생지표인 Chl-a 농도와 유효수심과의 관계를 보다 심층적으로 분석하여 조류의 발생에 민감한 수심을 도출하고, 이에 따른 수질관리 방안을 제시하고자 2000~2009년까지 10년간의 농업용수 수질측정망 조사자료를 분석하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

본 연구에서는 우리나라 농업용 호소 중 농업용수 수질측정망 조사대상 826개 호소에 대한 2000년부터 2009년까지 10개년 간의 자료를 분석하였다. 농업용 호소의 물리적 특성을 분석하기 위하여 유효저수량/만수면적비(이하 유효수심)를 이용하였고, 주요 수질항목으로서는 부영양화지표의 하나인 Chl-a 농도를 이용하였다. 유효저수량/만수면적비는 유효수심의 개념이지만, 단순히 호소의 깊이만이 아니라 저수지의 부영양화와 깊은 관계가 있는 수표면적, 유효저수량도 포함하고 있기 때문에 나름대로 의미가 있을 것으로 판단되어 호소의 특성을 분석하기 위한 하나의 인자로서

Table 1. Water Quality Changes of Agricultural Lakes ('00~'09)

Classification	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	Average
SS (mg/L)	8.78	9.7	11.35	11.08	8.80	7.25	8.10	7.55	7.67	8.05	8.84
COD (mg/L)	5.94	5.9	6.25	5.43	5.53	5.39	5.72	6.04	6.27	6.33	5.88
TN (mg/L)	1.49	1.5	1.61	1.75	1.41	1.40	1.39	1.50	1.36	1.16	1.46
TP (mg/L)	0.05	0.1	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05
Chl-a (mg/㎥)	18.69	19.4	21.76	17.60	15.61	15.34	16.81	18.26	19.10	14.17	17.67

이용하였다. 또 하나의 인자로서 Chl-a 농도를 이용하였는데, 이는 호소의 부영양화에 의한 조류발생 정도를 표현해주는 인자이기 때문이다. Chl-a 농도를 이용하여 부영양화도를 나타내기 위한 여러 가지 방법들이 제시되고 있는데, OECD에서는 Chl-a 농도가 25 mg/㎥ 이상이면 부영양화단계로 분류하고 있다. 또한 U.S. EPA에서는 10mg/㎥보다 높으면 부영양단계로 분류하고 있으나(이 등, 2003), 우리나라에서는 호소의 농업용수 수질기준으로 35㎎/㎥를 제시하고 있으므로 이 값을 이용하여 분석하였다.

Table 1과 같이 2000년부터 2009년까지 최근 10년간 826개 농업용수 수질측정망 호소 전체의 평균 SS는 8.84mg/L, COD는 5.88mg/L, TN은 1.46mg/L, TP는 0.05 mg/L, Chl-a는 17.67mg/㎥으로서 TN은 농업용수 수질기준을 초과하나 그 외 항목은 수질기준을 만족하였다. 그러나 평균 TN/TP비가 30으로서 16이상이기 때문에 TN은 농업용수 수질기준을 적용하지 않으므로(환경부, 2010) 전체적으로 농업용 호소의 수질은 양호한 것으로 나타났다.

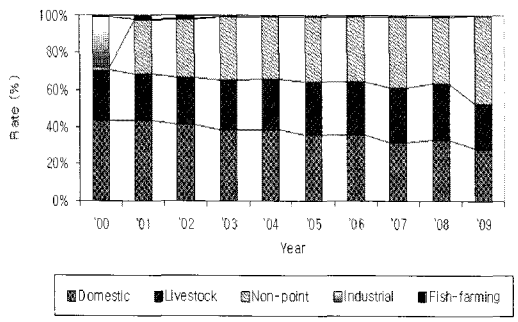


Fig. 1. Changes in Pollution Source of Agricultural Lakes

최근 10년간 농업용 호소의 오염원은 Fig. 1과 같이 점오염원인 생활계와 축산계는 점차적으로 감소되는 반면 비점오염원인 토지계의 비율이 높아지는 것을 알 수 있다. 따라서 농업용수의 수질보전을 위해서는 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원의 관리도 중요한 것을 알 수 있다.

이상과 같이 농업용 호소는 전체적으로 수질이 양호한 것으로 나타났으나, 농업용수 수질관리를 위해서는 수질기준을 초과하는 호소를 집중적으로 관리하는 것이 중요하기 때문에 최근 10년간 평균수질이 수질기준을 초과하는 호소를 추출하여 물리 · 화학적 특징을 분석하고 이에 따른 수질관리방안을 도출하고자 한다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 농업용 호소의 물리 · 화학적 특성

최근 10년간 수질기준을 초과하는 호소의 비율은 Fig. 2와 같이 COD가 16~23%, 평균

19%이고, Chl-a는 20~38%, 평균 29%를 나타내고 있다. 이와 같이 조류의 지표인 Chl-a가 수질기준을 초과하는 비율이 높은데, 조류는 독성이나 냄새 등 때문에 주변 사람들에게 직접적으로 영향을 미치는 요소이다. 한편, Fig. 3과 같이 수질항목간의 상관관계를 분석한 결과 Chl-a와 COD 사이의 R^2가 0.6628로 상관성이 가장 높은데, 이는 농업용 호소가 내부생산이 활발하여 조류가 많이 발생하고 이의 영향으로 Chl-a 농도가 상승하며, 발생된 조류는 사멸하여 COD가 높아지는 원인이 되기 때문인 것으로 판단된다. 다음으로 Chl-a와 TP의 R^2가 0.6385로 높게 나타났는데, 이는 우리나라 농업용 호소의 조류발생은 TN보다는 TP의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 판단된다. 반면 Chl-a와 TN 및 SS 사이에는 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 이상은 이 등(2007)과 같은 결과이며, 이는 Chl-a의 구성성분 중 탄소(C)가 가장 많은 부분을 차지하고 있기 때문에 Chl-a와 COD는 직접적으로 관련이 있는 것으로 판단되며, Chl-a와 TP의 상관관계가 Chl-a와 TN보다 높은 것은 우리나라 농업용 호소의 한계영양물질의 약 80%가 TP이기 때문이다(이 등, 2007).

이와 같이 Chl-a가 수질기준을 초과하는 비율이 높고 다른 수질항목과의 상관성이 높기 때문에 본 논문에서는 수질항목으로서 Chl-a를 이용하여 분석하고자 한다.

호소에서 조류가 발생하여 Chl-a 농도가 높아지는 원인으로서는 유입수의 영양염류 농도, 온도, 일조량, 저수량, 수심, 표면적 등 다양한 인자가 있다. 이 중 온도, 일조량 등의 자연조건은 인간의 힘으로 인위적으로 조절하기 어려운 인자이다. 반면 저수량, 수심, 수표면적 등의 인자는 인간이 어느 정도는 인위적으로 바꿀 수 있는 인자이다. 저수량, 수심, 수표면적 사이에는 수심 = 저수량/수표면적의 관계가 있으므로 본 논문에서는 농업용수 수질측정망조사 보고서에서 자료를 획득할 수 있는 호소의 유효저수량/만수면적비(유효수심)와 Chl-a와의 관계를 이용하여 분석하였다. 전 등(2002a, b)은 유역으로부터 동일한 인부하가 발생한다 할지라도 수심이 얕을 수록 높은 Chl-a 농도를 나타내었으며, 대한환경공학회(1999)는 일본에서의 조사결과를 보면 호소의 수심이 얕아짐에 따라 Chl-a 농도는 지수적으로 증가하며, 호소의 Chl-a 농도가 12 mg/m³ 이상인 호소를 부영양호라 한다면

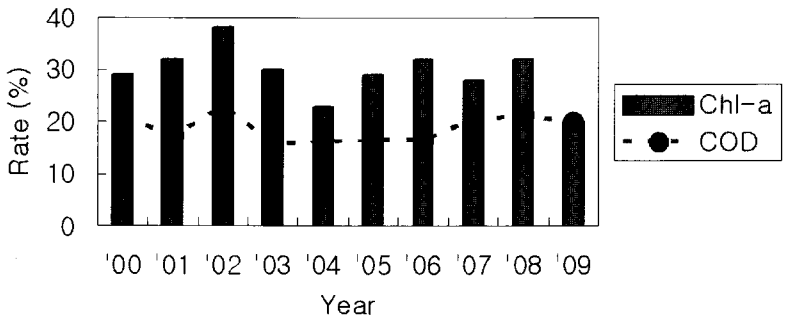


Fig. 2. Changes in Rate of Lake that Exceeds Agricultural Water Quality Standards

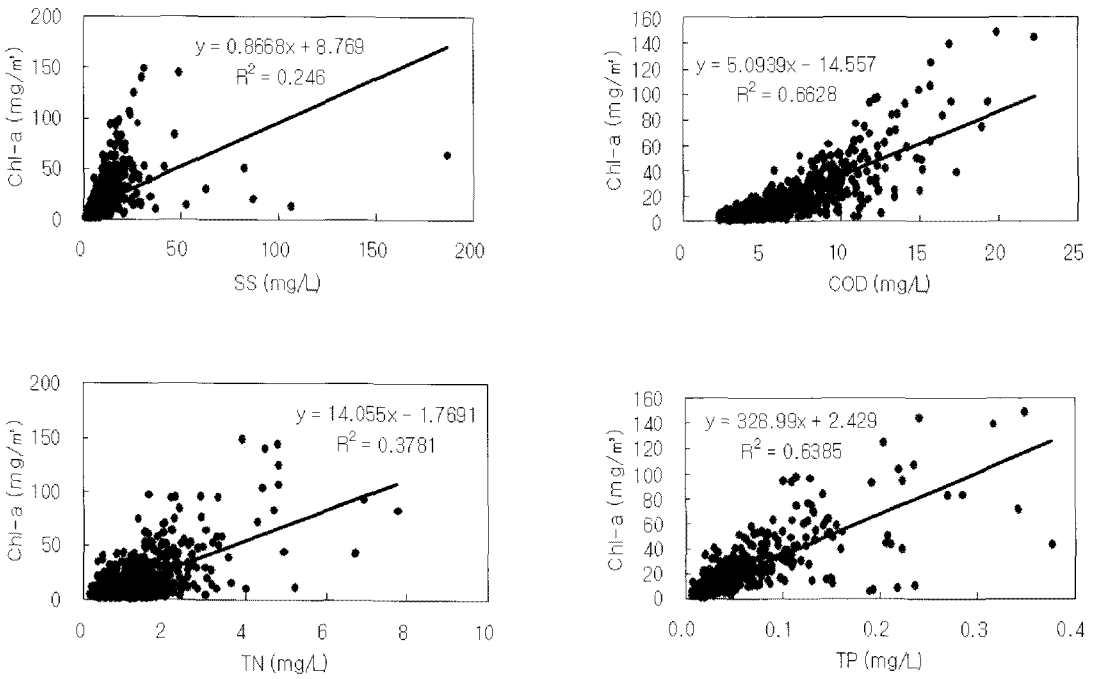
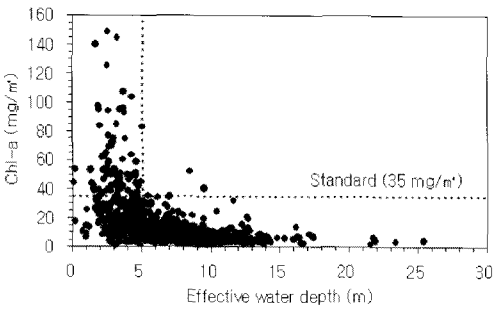


Fig. 3. Relationships Between Chl-a and Other Water Quality Items

일본의 경우 평균수심 약 8m 이하이면 호소가 부영양화될 소지가 있다고 본다고 기술하는 등 많은 연구자가 수심과 Chl-a가 상관성이 높다는 것을 제시하고 있으므로 유효수심과 Chl-a 농도를 이용하여 호소의 특징을 분석하는 것은 타당성이 있는 것으로 판단된다.



* Effective water depth (m) = Active storage(m³)/Surface area of lake(m²)

Fig. 4. Relationships Between Chl-a and Active Storage/Surface Area of Lake Proportion

우리나라 농업용수 수질측정망 대상 호소 826개소의 2000년부터 2009년까지 10년간 평균 Chl-a 농도와 유효수심을 이용하여 그래프를 그리면 Fig. 4와 같다. 우리나라 농업용수 수질기준에는 Chl-a 농도가 35mg/m³ 이하로 규정되어 있기 때문에 이를 기준으로 두개의 영역으로 분류할 수 있다. Chl-a 농도가 수질기준을 초과하는 호소는 81개소인데, 이 중에서 95%인 77개소가 유효수심이 5m 이하였다. 즉, Chl-a 농도가 수질기준을 초과하는 호소는 95% 신뢰수준에서 유효수심이 5m 이하라는 것을 알 수 있다. 따라서 조류발생 측면에서 볼 때 유효수심 5m가 수질관리에 중요한 의미를 갖는 다는 것을 알 수 있다.

농업용수 수질측정망 대상 호소 826개소 중 유효수심이 5m이하인 호소는 289개소로서 35%를 차지하고 있고, 826개 호소의 총 유효저수량은 2,704,633,000㎥인데 유효수심 5m이하인 호소의 전체 유효저수량은 1,086,729,000㎥으로서 40%를 차지한다. 반면 실제로 농업용 호소의 물을 이용하는 수혜면적은 826개 호소의 433,804ha 중 유효수심 5m이하인 호소가 210,512ha인 49%로서 거의 절반을 차지하는 것으로 나타났다(Table 2). 이와 같이 유효수심이 5m이하인 호소를 농업 용수원으로 이용하는 수혜면적이 넓기 때문에 유효수심이 5m 이하인 호소의 수질관리가 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

유효수심이 5m이하인 호소의 물리적 특징을 살펴보면 평균 유역면적은 5,716ha로서 826개 전체 호소의 평균 유역면적인 3,174ha의 1.8배에 이른다. 이와 같이 유역면적이 넓다는 것은 오염물질이 더 많이 유입될 가능성이 높다는 것을 내포한다. 만수면적의 경우도 전체 호소의 평균이 353ha인 반면 유효수심이 5m 이하인 호소의 만수면적은 943ha로서 2.7배에 이른다. 같은 조건일 때 만수면적이 넓으면 햇빛을 받을 수 있는 부분이 넓어지고 이에 따라 조류가 발생할 가능성이 높아지게 된다. 반면 유효수심은 826개 호소의 평균이 6.5m인데 반하여 유효수심이 5m이하인 호소의 평균 유효수심은 3.4m에 지나지 않는다(Table 2). 이상과 같이 유효수심이 5m이하인 호소는 유역면적이 넓어 오염물질, 특히 영양염류가 많이 들어와 부영양화될 가능성이 높으며, 반면 수심이 얕고 수표면적이 넓어 조류가 다량 발생할 수 있기 때문에 수질오염에 취약한 구조를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

유효수심이 5m이하인 호소의 최근 10년간의 수질특성을 살펴보면 Table 3과 같이 SS는 14.11mg/L이고, COD는 8.25mg/L, TN은 1.62mg/L, TP는 0.07mg/L, Chl-a는 28.64mg/㎥로서 826개 호소 전체의 평균 SS 8.84mg/L, COD 5.88mg/L, TN 1.46 mg/L, TP 0.05mg/L, Chl-a 17.67mg/㎥에 비해 높은 경향을 보였다. 특히 유효수심이 5m이하인 호소는 COD와 TN이 수질기준을 초과하고 있어 수질상태가 좋지 않은 것을 나타내는 등 전반적으로 유효수심이 5m이하인 호소의 수질이 나쁜 경향을 보이고 있다.

Fig. 5는 826개 호소 전체와 유효수심이 5m 이하인 호소의 수질항목별 수질기준 초과율을 비교한 그래프이다. 826개 호소 중 COD가 수질기준을 초과하는 호소는 165개로 20.0%, TN은 498개로 60.3%, TP는 65개로 7.9%, SS는 93개로 11.3%, Chl-a는 81개로 9.8%를 차지하고 있다. 반면 유효수심이 5m 이하인 호소는 289개소인데, 이중 COD가 수질

Table 2. Characteristics of Agricultural Lakes in Korea

Classification	Number of lakes (ea)	Total active storage ($\times 10^3$ ㎥)	Total benefitted area (ha)	Average drainage area (ha)	Average surface area of lake (ha)	Average effective water depth (m)
Total	826	2,704,633	433,804	3,174	353	6.5
Effective water depth ≤ 5m (%)	289 (35)	1,086,729 (40)	210,512 (49)	5,716 (180)	943 (267)	3.4 (52)

Table 3. Average Water Qualities of Agricultural Lakes

Classification	SS (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl-a (mg/㎥)
Total	8.84	5.88	1.46	0.05	17.67
Effective water depth ≤ 5m	14.11	8.25	1.62	0.07	28.64

기준을 초과하는 호소는 140개로 48.4%, TN은 212개로 73.4%, TP는 55개로 19.0%, SS는 75개로 26.0%, Chl-a는 73개로 25.3%를 나타내 유효수심이 5m이하인 호소의 수질이 나쁜 경향을 보이고 있다.

이상과 같이 유효수심이 5m이하인 호소는 수질오염에 취약한 구조를 가지고 있으므로 이들 호소의 수질관리 방안을 적극적으로 모색할 필요가 있다.

2. 농업용 호소의 수질관리방안

Fig. 6은 826개 호소의 유효수심에 따른 평균 BOD, COD, SS, Chl-a농도의 변화를 보여주는 그래프인데, 유효수심이 5m보다 커지면서

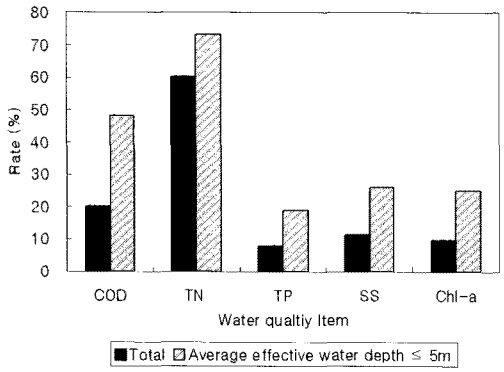
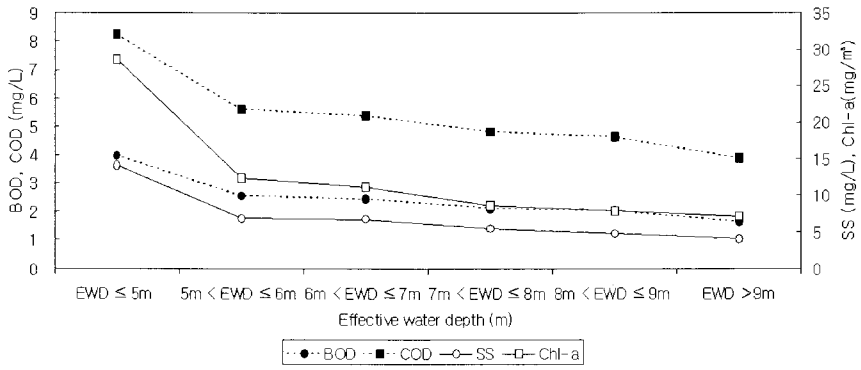


Fig. 5. Rates of Lakes that Exceeds Agricultural Water Quality Standards by Water Quality Items

수질농도가 크게 낮아지는 것을 알 수 있다. 수심이 5m이하인 호소의 평균 COD는 Fig. 6과 같이 8.2mg/L로서 농업용수 수질기준을 초과하였으나, 유효수심이 5m보다 크고 6m이하인 구간에서는 평균 5.6mg/L로 크게 낮아지고, 6m보다 크고 7m이하인 구간에서는 평균 5.4mg/L, 7m보다 크고 8m이하인 구간에서는 평균 4.8mg/L, 8m보다 크고 9m 이하인 구간에서는 평균 4.6mg/L, 9m보다 큰 구간에서는 3.9mg/L로 낮아졌다. BOD는 Fig. 6과 같이 유효수심이 깊어짐에 따라 각 구간에서 4.0mg/L → 2.6mg/L → 2.5mg/L → 2.1mg/L → 2.0mg/L → 1.7mg/L로 낮아졌다. SS는 Fig. 6과 같이 14.1mg/L → 6.9mg/L → 6.8mg/L → 5.5mg/L → 4.8mg/L → 4.1mg/L로, Chl-a는 Fig. 6과 같이 28.6mg/㎥ → 12.4mg/㎥ → 11.2mg/㎥ → 8.6mg/㎥ → 7.9mg/㎥ → 7.2mg/㎥로 낮아지는 경향을 보였다. 그 외 TN은 Fig. 6과 같이 1.6mg/L → 1.2mg/L → 1.2mg/L → 1.1mg/L → 1.0mg/L → 1.0mg/L로 낮아지고, TP는 Fig. 6과 같이 0.07mg/L → 0.03mg/L → 0.03mg/L → 0.03mg/L → 0.02mg/L → 0.02mg/L로 낮아지는 경향을 보였다. 전체적으로 유효수심이 5m보다 커지면서 수질이 크게 양호해지고 그 이후에는 큰 변화가 없는 경향을 보였다. 유효수심에 따라 수질이 차이가 있는지를 알아보기 위하여



* EWD = Effective water depth(m)

Fig 6. Changes of Water Quality by Effective Water Depth

95% 신뢰수준에서 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 Table 4와 같이 수온은 p=7.37E-19, pH는 p=2.32E-22, SS는 p=7.79E-30, BOD는 p=1.1E-68, COD는 p=6.33E-73, TN은 p=1.04E-18, TP는 p=9.13E-40, Chl-a는 p=3.47E-52로서 모든 수질항목이 유의적인 차이를 보였다. 즉, 유효수심이 5m이하인 호소가 5m보다 깊은 호소에 비해 수질이 유의적인 차이를 보일 정도로 높은 경향을 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 7은 유효수심에 따른 COD와 Chl-a농도의 수질기준 초과율을 나타내는데, 유효수심이 5m이하에서는 COD의 수질기준 초과율이 48.4%였으나 유효수심이 5m보다 커지면서 수질기준 초과율이 9.7%로 급격히 낮아지는 경향을 보였다. Chl-a의 경우도 28.6%에서 12.4%로 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

이상과 같이 유효수심이 5m이하인 호소는 부영양화에 의한 수질악화에 취약한 구조를 가지고 있기 때문에 급격히 수질이 악화될 우려가 있다. 특히, 유효수심 5m 전후를 기준으로 수질에 많은 차이가 나는 것을 알 수 있으므로 둑높이기 사업이나, 준설 등을 통하여 유효수심을 최소한 5m이상 확보한다면 보다 효과적으로 농업용수의 수질을 관리할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 수심이 5m이하이면서 수질기준을 초과하는 호소를 우선적으로 둑높이기 사업 등을 통해 조류발생에 취약하지 않은 구조로 바꿀 필요가 있다. 또한 수심이 5m이하이지만 수질이 양호한 호소의 경우도

Table 4. Anova Analysis by Effective Water Depth

Classification	Temp.	pH	SS	BOD	COD	TN	TP	Chl-a
P value	7.37E-19	2.32E-22	7.79E-30	1.1E-68	6.33E-73	1.04E-18	9.13E-40	3.47E-52

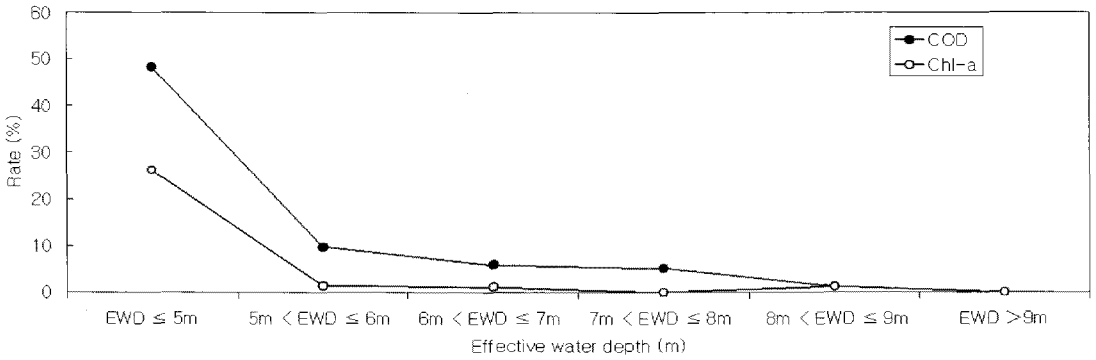


Fig 7. Changes of Water Quality Excess Rates by Effective Water Depth

구조적으로 수질오염에 취약하여 급격히 수질이 악화될 우려가 높기 때문에 둑높이기 사업 등을 통해 구조를 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

Ⅳ. 결 론

우리나라 농업용 호소의 물리 · 화학적 특성과 이에 따른 수질관리방안을 모색하기 위하여 농업용수 수질측정망 대상 호소 826개소에 대한 2000년부터 2009년까지 10년간의 수질자료를 분석하였다.

분석결과 Chl-a 농도가 농업용수 수질기준인 35mg/m³을 초과하는 호소의 95%가 유효수심이 5m이하인 것으로 나타났다. 유효수심이 5m이하인 호소는 다른 호소에 비해 유역면적이 넓어 영양염류가 많이 유입될 수 있는 조건을 갖고 있는 반면, 유효수심이 낮고 만수면적이 넓어 조류가 발생하기 쉬운 조건을 갖고 있어 부영양화에 의한 조류발생에 취약한 구조를 갖고 있는 것으로 나타났다. 반면 수심이 5m이하인 호소의 수혜면적은 농업용수 수질측정망 대상 호소 전체 수혜면적의 49%로서 약 절반을 차지하고 있기 때문에 농업용수 수질관리상 매우 중요한 것으로 나타났다.

유효수심과 수질과의 관계를 분석한 결과 유효수심이 5m이하인 호소는 유효수심이 5m보다 큰 저수지에 비해 수질이 급격이 악화되는 경향을 보이고 있었다. 따라서 우리나라 농업용 호소의 수질보전을 위해서는 우선적으로 유효수심이 5m이하인 호소에 대하여 둑높이기나 준설 등을 통하여 유효수심을 5m보다 깊게 한다면 효과가 있을 것으로 판단된다. 다만, 이 경우 체류시간이 길어져 수질에 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로 체류시간의 증가에 따른 영향을 검토할 필요가 있다.

참고문헌

1. 김호일, 2002, 농업용 저수지의 수질 및 물리적 특성 고찰, 건국대학교 석사학위 논문.
2. 농림수산식품부, 2000~2009, 농업용수 수질측정망 조사보고서.
3. 대한환경공학회, 호소의 수질관리, 풍남, p.349.
4. 박유미, 이의행, 이상재, 안광국, 2009, 탑정저수지의 부영양화 특성 및 주요 변수 간의 상호관계, 한국하천호수학회지 42(1), pp.382~393.

5. 윤경섭, 이광식, 김형중, 김호일, 2003, 농업용 저수지의 유형분류 및 수질관리, 한국농공학회지 45(4), pp.66~77.
6. 이광식, 윤경섭, 김형중, 김호일, 2003, 농업용 저수지의 부영양화와 수질관리방안, 한국환경농학회지 22(2), pp.166~171.
7. 이새봄, 윤춘경, 정광욱, 김형철, 2005, 농업용 저수지에서 Chl-a와 COD, TN, TP간의 상관관계 분석, 2005년 한국농공학회 학술발표대회 논문집, pp. 626~631.
8. 이재연, 이재훈, 신경훈, 황순진, 안광국, 2007, 우리나라 농업용 저수지의 영양상태 및 수질특성, 한국하천호수학회지 40(2), pp.223~233.
9. 전지홍, 윤춘경, 함종화, 김호일, 황순진, 2002a, 농업용 저수지의 물리적 인자가 수질에 미치는 영향, 한국육수학회지 35(1), pp.28~35.
10. 전지홍, 윤춘경, 함종화, 김호일, 황순진, 2002b, 농업용 저수지의 수질항목간의 상관관계 조사, 한국농공학회지 44(3) pp.136~145.
11. 환경부, 2010, 환경정책기본법 시행령.
12. Vollenweider, R. A., and J. Kerekes (1980) OECD cooperative programme on monitoring of inland water, Synthesis Report.