

## 영랑호 수질의 공간적 분포 및 개선방안

허인량<sup>†</sup> · 이건호 · 정원구 · 권재혁\*

강원도보건환경연구원  
\*강원대학교 지구환경시스템공학과

## Spatial Distribution and Improvement of Water Quality in the Youngrang Lake

In-Ryang Huh<sup>†</sup> · Geon-Ho Yi · Won-Gu Jeong · Jae-Hyok Kwon

Gangwon Institute of Health and Environment

\*Dept. of Earth and Environmental Engineering, Kangwon National University

(Received 5 October 2016, Revised 19 April 2017, Accepted 26 May 2017)

### Abstract

From 2014 to 2016 water quality survey results according to the location and depth of Youngrang Lake are as follows: Distribution of dissolved oxygen in the water depth was investigated by the middle section and the downstream 1st, 3rd, 5th, when investigating bottem 1m interval anoxic layer. In organic matter and nutrient concentration distribution COD upstream 2.8 mg/L, middle section 4.2 mg/L downstream 4.1 mg/L, more than two times higher in bottem layer and TP concentrations showed a similar trend with COD, upstream of 0.047 mg/L, middle section was 0.051 mg/L, downstream of 0.059 mg/L. There was a difference in salinity every survey period the average salinity is lowest with 28.5 ‰ when the second survey. And the highest with 32.1 ‰ in the fourth investigation. Korean trophic state index(TSI<sub>KO</sub>) were showed eutrophic conditions in the middle section and downstream else showed mesotrophic state in the entire period. In order to evaluate the cause of water pollution Youngrang lake, regression analysis of the relationship between salinity and DO, COD, TN, TP, Chl-a results, R<sup>2</sup> is from 0.63 to 0.95 Youngrang lake water quality was found to have a close relationship with salinity due to inflow of seawater. As a result, in order to improve the quality of Youngrang lake efficient incorporation of the amount of water through the seawater influent as it is considered the key.

**Key words** : Eutrophication, Salinity, Youngrang Lake, TSI<sub>KO</sub>

### 1. Introduction

자연호의 대표적 호수라 할수 있는 석호는 해류의 작용으로 하구의 입구가 모래로 막히면서 형성된 호수이다. 이들 호수는 대부분 수심이 얇고 인접한 바다와 지하를 통해서 해수가 혼입되어 염분이 높은 것이 특징이다. 우리나라의 석호는 조석의 영향이 적은 동해안 일대 112 km에 걸쳐 18개가 분포하고 있다(WREO, 2017). 석호는 산업화 도시화가 진행되면서 상당부분이 매립되기도 하고 석호를 주변으로 아름다운 풍광에 대한 관광의 욕구가 늘며 개발이 진행되어 주변으로부터 유입되는 오염물질로 호수의 오염은 가속화 되었다.

영랑호는 강원도 속초시 장천동·금호동·영랑동에 걸쳐있는 호수로 유역면적은 7.8 km<sup>2</sup>, 수표면적 1.02 km<sup>2</sup>, 평균수심

4 m를 유지하고 있다. 1965년 영랑호의 초기 조사에서 용존산소는 표층에서 포화수준을 유지하다가 4 m에서 점진적으로 감소하여 5.5 m에서 무산소층을 나타냈으며(Cho et al., 1969), 1977년 조사에서는 4 m에서 무산소층을 보인다고 보고되었다(Mizuno and Cho, 1980). 염분도는 표층에서 0.16‰, 심층에서 1.4‰로 보고되었으며 이후 10년이 지난 조사에 따르면(Lee and Kwak, 1987) 표층에서 0.78~1.12‰, 저층에서 0.95~1.94‰로 조사되었다.

1998년 조사된 동해안 석호 조사보고서에 따르면(WREO, 1999) 영랑호의 수질은 부영양 상태를 넘어 과영양 상태를 나타내기도 하였고 2000년에는 수환경 개선을 위해 퇴적물을 준설한 바 있다. 이후 영랑호의 수질을 평가한 연구에 따르면 영랑호는 부영양 상태를 유지하고 있다고 보고된 바 있다(Seo et al., 2007).

2008년 8월을 전·후로 영랑호에서는 대량의 어류폐사가 발생하였으며 어류폐사 당시 태풍에 의한 호수 수체의 진도로 저층 황화물의 확산에 의해 호수 내 어류들이 폐사한 것으로 보고되었다(Kim et al., 2008). 2009년에는 영랑호 수질 개선과 해수유입을 위해 유입수로를 확보하였으며 모래에 의한 수로의 막힘을 방지하고자 도류제를 설치하였다.

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
E-mail irhuh@korea.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이후 해수의 교환에 의해 현재의 호수 염분도는 30% 정도로 해수화가 완료된 상태이다.

본 연구는 영랑호의 수질을 2014년부터 2016년 까지 5회에 걸쳐 호수의 수체를 상류부, 중앙부, 하류부로 구분하여 수심별 수질의 변화와 오염의 원인 그리고 호수 수질의 개선방안을 제시 하고자 하였다.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. 조사기간 및 조사지점

영랑호의 수심별 조사는 2014년 7월과 10월, 2015년 8월, 2016년 5월과 8월, 총 5차에 걸쳐 실시하였다.

수질조사는 영랑호의 유일한 유입 하천인 장천과 영랑호를 위치별로 3개 구간으로 구분하여 바다로부터 반대쪽의 상류부, 중앙부 그리고 하류부 지점으로 나누어 수심별로 조사하였다(Fig. 1). 수심별 조사는 표층으로부터 저층까지 상황에 따라서 0.5 m, 1 m, 2 m씩 구분하여 용존산소를 측정하였으며 이화학적 수질분석은 표층과 2.5 m, 3.5 m, 저층인 5 m에 대하여 시료 채취 후 수질항목에 따른 전처리 후 실험실로 운반하여 실시하였다.

### 2.2. 수질분석 항목 및 분석방법

현장측정 항목중 수온은 디지털 수온계를 사용하여 측정하였으며 용존산소(DO)와 pH, 전기전도도, 염분도는 Cable 이 장착된 현장 수질측정기(YSI, Pro S-DEPTH)를 사용하여 측정하였다. 유기물의 지표인 COD는 영랑호의 염분도가 해수와 같은 수준인 30%로서 수질오염공정시험법의 해수시험법인 알칼리성 과망간산칼륨법에 따라 분석하였으며 황화물 분석은 해양환경공정시험기준 제 7항 황화수소 시험법에 따라 분석하였다. 부영양 상태를 평가하기 위한 영양염류 분석으로 총인과 총질소는 Alliance사의 FUTURA 3의 자동분석장치를 이용하였고 Chl-a는 수질오염공정시험법(MOE, 2014)

**Table 1.** Classification Korean trophic state index (TSI<sub>KO</sub>)

TSI <sub>KO</sub> value	Classification TSI <sub>KO</sub>
TSI <sub>KO</sub> ≤ 30	Oligotrophic
30 < TSI <sub>KO</sub> ≤ 50	Mesotrophic
50 < TSI <sub>KO</sub> ≤ 70	Eutrotrophic
TSI <sub>KO</sub> > 70	Hypertrophic

에 따라 분석하였다. 호수의 부영양화도 지수는 국립환경과학원에서 한국의 호수를 대상으로 평가 개발한 한국형부영양화지수(TSI<sub>KO</sub>)를 사용하였다(Kim et al., 2012).

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

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

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

위와 같은 한국형 부영양화 지수 산정식을 설명하면 3가지 지표 중에서 외부 유입 유기물 지표인 COD에 50%의 가중치를 주고 내부생성 유기물의 지표로서, 조류의 지표인 Chl-a와 그의 밀도를 좌우하는 TP를 각각 25%의 가중치를 주어 다음의 식으로 표시된다.

$$TSI_{KO} = 0.5TSI_{KO}(COD) + 0.25TSI_{KO}(Chl-a) + 0.25TSI_{KO}(TP)$$

이 결과를 바탕으로 4단계의 부영양화를 구분하여 호수의 영양상태를 판정하면 Table 1과 같다.

## 3. Result and Discussion

### 3.1. 용존산소(DO) 및 저층 황화물(S) 분포

1차 조사결과 영랑호의 수심별 DO는 상류부 9.8~7.0 mg/L, 호수 중앙부 9.6~3.3 mg/L, 하류부에서 9.7~4.2 mg/L를 유지하고 있었으며 상·중·하부 저층에서의 용존산소 고갈층은



**Fig. 1.** Sampling site of Lake Youngrang.

나타나지 않았다.

2차 조사에서는 1차 조사와는 달리 바닥층에서의 용존산소 고갈을 볼 수 있었다. 상류부에서 수심별로 8.8~5.2 mg/L, 중앙부에서 8.5~0.4 mg/L, 하류부에서 8.5~0.6 mg/L의 분포를 보여 주었다. 수심이 5 m인 중앙부와 하류부에서 표층의 DO가 8.5 mg/L이었으나 중층인 2.5 m에서는 3.9 mg/L로 급감했는데 이때 수온의 차이는 없었으나 염분도의 차이가 두 지점 모두 2‰로, 밀도 차이에 의한 현상으로 판단된다.

3차 조사부터는 Cable이 장착된 용존산소 측정기를 사용하여 수층 구간을 이전보다 세밀하게 나누어 DO 감소구간을 조사하였다. 조사결과 수심이 낮은 상류부에서는 표층부터 수심별로 9.7~5.1 mg/L의 분포를 보여주었다. 중앙부의 DO는 표층에서 3 m까지 9.4~6.1 mg/L로 감소하다가 이후 3.5 m에서 급속히 감소되어 2.6 mg/L, 4 m에서는 DO 고갈층이 나타났다.

4차 조사에서는 수심별 DO의 차이는 있었지만 2, 3차 조사와 같이 저층의 무산소층을 볼 수 없었다. 조사결과 상류부에서는 전수층에서 풍부한 용존산소를 유지하고 있었으며 중앙부에서는 표층에서 4 m까지 11.0~7.5 mg/L 이었으며 바닥층인 5 m에서 5.8 mg/L였고 하류부에서도 유사한 경향을 보여주었다. 4차 조사시 수층별 용존산소 분포가 2, 3차와 다르게 조사되었는데 이때 두 지점의 평균 염분도는 28.7‰에서 32.1‰로 증가한 것으로 보아 영랑호 하류의 해수 유입로를 통한 활발한 해수의 유입이 수질개선의 원인인

것으로 판단된다.

5차 조사에 따르면 이전인 4차 조사에 비해 수질 악화를 볼 수 있었으며 2, 3차 조사와 같은 양상을 보여 주었다. 상류부에서도 표층의 DO가 8.7 mg/L에서 저층 3.5 mg/L로 뚜렷한 DO 감소를 볼 수 있었다. 중앙부와 하류부에서는 2,3차 조사와 같이 표층의 DO는 포화상태에서 감소되어 저층부에서는 무산소상태가 유지되고 있었다.

영랑호 내의 황화물은 육상으로부터 유입되거나 자체 생산된 유기물의 침전에 따라 퇴적된 유기물이 황산염환원박테리아에 의해 분해되는 과정에서 주변의 산소가 고갈됨에 따라 다량 축적된다(Park et al., 2007). 황산염환원박테리아(Sulfate Reduction Bacteria)는 혐기성 상태를 보이는 퇴적물이나 하수처리장의 슬러지에 많이 분포되어 있으며 특히 인공 양식에 의해 오염된 해양성 퇴적물에 집중적으로 분포하고 있다고 보고되었다(Hyon et al., 2003).

저층의 황화물의 분석결과 상류부에서는 황화물도 검출되지 않았으나 중앙부와 하류부 저층에서는 무산소 상태와 비례하여 황화물이 검출되었다. 수질조사 당시 산소가 충분한 4차 조사를 제외하고 저층의 시료는 분홍색으로 착색되어 있었으며 이취현상도 뚜렷하게 나타났다. 분석결과 중앙부 저층에서 무산소 상태인 2차와 3차 조사에서 8.6 mg/L, 7.2 mg/L이었으며 1차와 5차 조사에서 2.7 mg/L, 3.0 mg/L로 검출되었다. 하류부의 황화물 분포는 중앙부와 유사하였으나 농도는 낮게 나타났으며 저층의 퇴적물 형태에 따라 농도차

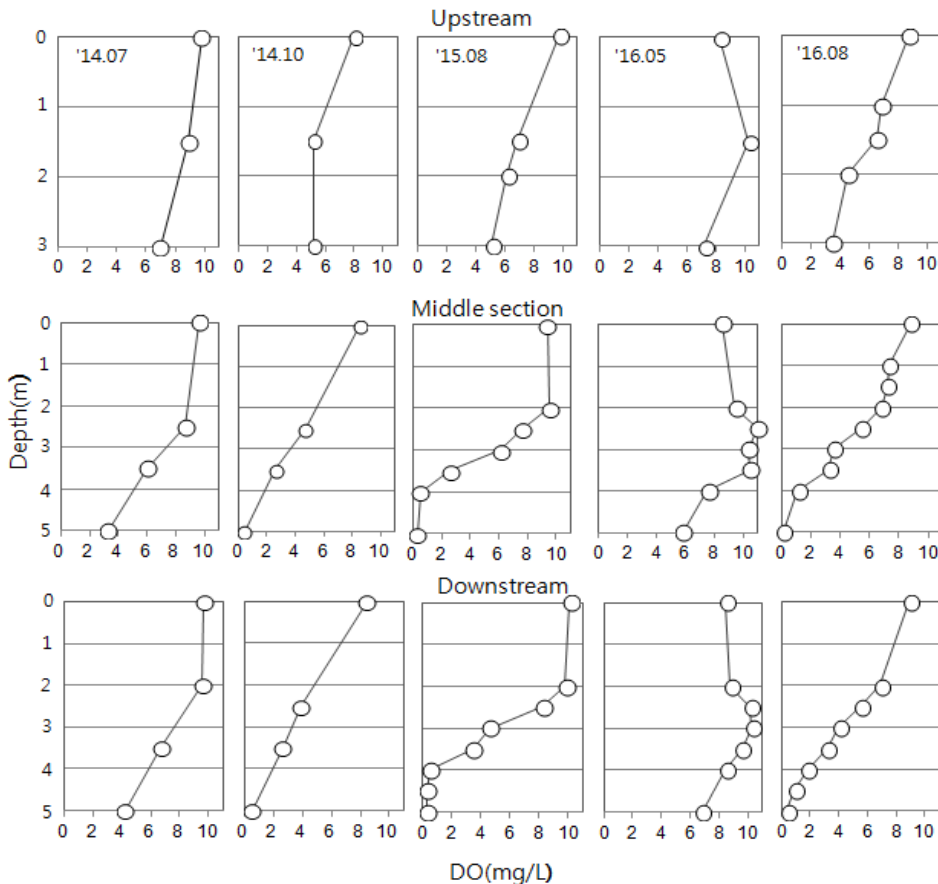


Fig. 2. Vertical distribution of dissolved oxygen in Lake Youngrang during study period.

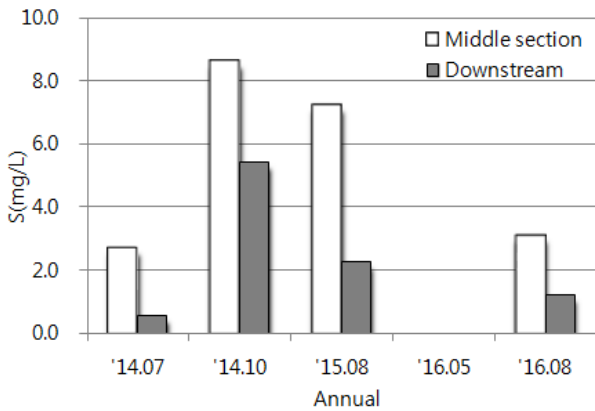


Fig. 3. Bottom layer sulfides Distribution of middle section and downstream in Lake Youngrang.

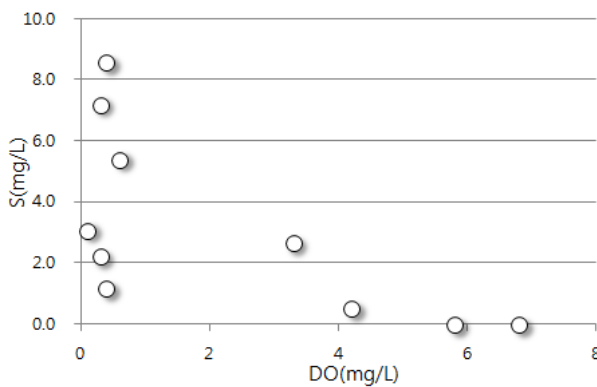


Fig. 4. The relation of DO and sulfides in Lake Youngrang.

이가 있음을 알 수 있었다(Fig. 3).

Fig. 4는 중앙부와 하류부 저층의 용존산소와 황화물의 관계를 나타낸 그림으로 지점에 따라 농도의 차이는 있지만 혐기성 상태에서 황화물의 농도가 높아짐을 잘 보여주었으며 용존산소가 4 mg/L 이상에서는 황화물이 검출되지 않았다. 2008년 조사에서는 저층의 황화물 농도가 10 mg/L 이상으로 보고된 바 있다(Kim et al., 2008).

3.2. 유기물 및 영양염류 분포

조사기간 중 영양호의 상류 유입하천인 장천의 1~5차에 걸친 수질분석 결과 용존산소는 6.8~10.2 mg/L로 어류 서식에 충분한 산소량을 보유하고 있었으며 COD는 1.5~2.8 mg/L, 총질소는 0.682~2.287 mg/L, 총인은 0.035~0.098 mg/L로 하천수 생활환경 평가기준 “약간좋음”의 II 등급 수준을 유지하고 있다.

장천이 유입되는 영양호 상류부의 COD 분포 중 1차에서 5차 조사에 걸친 수층별 평균 COD는 표층 2.2 mg/L, 중층 2.7 mg/L, 저층 3.6 mg/L로 저층이 가장 높았으며 4차 조사에서 평균 4.0 mg/L로 가장 높게 나타났고 전체 조사기간과 수층 평균 COD는 2.8 mg/L였다.

중앙부의 COD 수층별 평균은 0 m에서 2.8 mg/L, 2.5 m에서 2.9 mg/L이었으며 이후 3.5m에서 3.7 mg/L로 증가하였으며 5 m인 저층에서 7.4 mg/L로 높게 나타났다. 기간

별 평균치는 전체 평균 4.2 mg/L에 비해 2차 조사에서 7.3 mg/L로 가장 높게 나타났는데 이때의 저층 COD는 18.9 mg/L로 매우 높았다. 하류부의 COD 분포도 중류부와 유사한 경향을 보여주었다.

부영양화의 주요 지표인 총인의 농도는 상류부에서 전체 조사기간 평균 범위는 0.039 mg/L~0.053 mg/L이었으며 수층별 농도는 0.043 mg/L~0.054 mg/L로 저층에서 높았다. 중앙부의 조사기간별 수층 평균 범위는 0.036 mg/L~0.078 mg/L로 2차 조사때 가장 높았으며 이때의 저층의 총인 농도는 0.1 mg/L로 전체 평균 농도인 0.051 mg/L에 비해 2배 이상 높았다. 하류부의 총인 농도를 평가하면 2차 조사시 수층 평균 농도는 0.108 mg/L로 전체 평균인 0.059 mg/L에 비해 약 2배 정도 높았으며 특히 이때의 수심별 농도분포는 표층에서 0.042 mg/L에서 수심이 깊어짐에 따라 2.5 m에서 0.076 mg/L, 3.5 m에서 0.124 mg/L, 바닥층인 5 m에서 0.19 mg/L로 급격하게 증가함을 알 수 있었다.

총인과 더불어 부영양화의 요인인 총 질소의 농도는 상류부에서 수층별로 0.456~0.601 mg/L로 수층별로 유사한 수준이었으며 조사기간별 분포는 0.331~0.802 mg/L로 2차 조사에서 가장 높게 나타났으며 전체 평균 농도는 0.502 mg/L이었다. 중류부와 하류의 농도 분포는 총인의 분포와 유사한 수준이었으며 중류부의 수층 평균 분포는 전반적으로 수심이 깊어지면서 증가하였으며 2차 조사에서는 표층에서 0.549 mg/L이었으나 수심이 깊어지면서 급격하게 증가하여 바닥층인 5 m에서는 3.973 mg/L으로 7배 이상 증가함을 보여 주었다. 이는 하류부에서도 유사한 상태를 나타냈다(Table 2).

3.3. 부영양화 지수

영랑호의 부영양화지수를 평가한 선행연구에 따르면 2007년 영랑호의 TP, Chl-a, 투명도로 평가한 TSI 지수는 부영양 상태라고 보고되었다(Seo et al., 2007). 본 연구에서 부영양화지수를 연도별 평균값으로 평가한 결과 중앙부에서 2014년과 2015년, 하류부에서 2015년에 부영양 상태였으며 그 외 나머지는 중영양상태를 보여주었다(Table 3).

3.4. 수질오염요인 평가

영랑호로 유입되는 수체는 동해로부터 유입수로를 통해 유입되는 해수와 상류의 장천으로 부터 유입되는 하천수가 있다. 수질에 영향을 주는 두가지 요인 중 우선 해수 혼합에 대한 영향은 다음과 같다.

김등의 연구(Kim et al., 2008)에 따르면 2008년 영랑호의 성층현상은 수온보다 염분의 차이가 주요원인인 것 같다고 보고되었다. 이번 조사결과에 따르면 영랑호의 표층과 저층의 수온차이는 3~5°C정도였으며 수질악화 현상이 뚜렷한 2차 조사 시 수온 차이가 나타나지 않았다. 이로서 영랑호의 저층 용존산소 고갈은 본 조사에서도 염분농도의 차이가 주요한 원인으로 보인다. 영랑호는 2008년 수질개선을 목적으로 해수를 유입시키는 갯터짐사업을 실시하였으며 이후 지속적으로 해수가 유입되어 해수화가 진행되었으며 현

**Table 2.** Vertical distribution of measured water quality parameters in Lake Youngrang during study period

Date	Site \ Item	Depth (m)	pH	DO (mg/L)	Cond. (uS/cm)	Salinity (‰)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl.-a (mg/m <sup>3</sup> )
1st (2014.7.15)	Jang Stream		8.0	8.9	230	0.1	5.0	1.6	1.420	0.098	
	Upstream	0.0	8.5	9.8	43,800	28.4	2.0	1.9	0.304	0.039	5.2
		1.5	8.4	8.9	44,300	28.8	2.0	1.9	0.289	0.036	
		2.5	8.2	7.0	48,200	31.9	13.0	3.5	0.400	0.041	
	Middle Section	0.0	8.5	9.6	44,100	28.5	0.5	2.5	0.280	0.031	5.4
		2.5	8.2	8.7	48,300	31.6	2.0	2.6	0.520	0.049	
		3.5	8.1	6.0	49,100	31.8	3.2	3.5	0.640	0.054	
		5.5	7.5	3.3	49,500	32.2	5.5	4.1	0.420	0.072	
	Downstream	0.0	8.5	9.7	44,200	28.6	1.0	2.1	0.300	0.033	4.8
		2.0	8.4	9.6	47,700	31.1	2.5	2.1	0.380	0.041	
		3.5	8.0	6.7	47,600	31.8	3.6	3.2	0.580	0.054	
		5.0	7.8	4.2	47,800	31.9	10.0	6.3	0.68	0.063	
	2nd (2014.10.1)	Jang Stream		7.5	8.7	188	0.1	5.0	2.2	2.287	0.035
Upstream		0.0	8.8	8.0	29,800	25.7	2.0	1.8	0.600	0.045	8.2
		1.5	8.1	5.2	44,800	28.2	6.0	2.6	0.675	0.048	
		2.9	8.0	5.2	46,800	28.8	5.0	3.2	1.132	0.052	
Middle Section		0.0	8.5	8.5	39,900	27.1	1.0	3.1	0.549	0.046	9.4
		2.5	8.0	4.7	47,400	29.0	7.0	3.4	1.149	0.042	
		3.5	7.9	2.6	48,000	29.1	6.4	3.9	1.300	0.050	
		5.0	7.6	0.4	49,000	29.7	7.0	18.9	3.973	0.100	
Downstream		0.0	8.5	8.5	41,300	26.9	5.0	3.1	0.663	0.042	8.5
		2.5	8.0	3.9	47,400	28.9	3.0	2.4	0.906	0.076	
		3.5	7.8	2.7	48,500	29.4	8.4	3.6	1.500	0.124	
		5.0	7.5	0.6	49,300	30.2	21.0	12.3	2.200	0.190	
3th (2015.8.19)		Jang Stream		8.1	10.2	960	0.47	10.8	1.5	0.682	0.095
	Upstream	0.0	8.4	9.7	40,000	17.8	2.6	3.0	0.484	0.054	6.5
		1.5	8.0	6.9	44,000	28.9	1.8	3.4	0.542	0.055	
		2.7	8.5	5.1	45,000	30.2	15.2	3.8	0.489	0.056	
	Middle Section	0.0	8.4	9.4	42,000	25.3	2.0	3.5	0.515	0.052	7.8
		2.0	7.8	9.6	45,000	30.7	2.8	3.8	0.602	0.054	
		3.5	6.9	2.6	45,000	31.4	1.4	4.2	0.506	0.047	
		5.0	8.6	0.3	46,000	31.8	5.5	8.4	0.717	0.068	
	Downstream	0.0	8.3	10.1	42,000	26.3	2.0	3.8	0.508	0.064	7.4
		2.5	8.3	8.2	45,000	30.7	4.8	4.2	0.654	0.058	
		3.5	7.9	3.4	45,000	31.2	0.4	4.0	0.593	0.060	
		5.0	7.3	0.3	45,000	32.0	0.4	7.4	0.757	0.084	
	4th (2016.5.30)	Jang Stream		7.6	8.6	252	0.1	5.2	1.4	1.010	0.085
Upstream		0.0	7.9	8.2	49,000	31.2	2.8	2.1	0.234	0.024	5.7
		1.5	7.9	10.2	50,000	31.6	10.0	3.8	0.385	0.045	
		3.0	7.8	7.2	51,000	32.6	12.0	4.0	0.425	0.050	
Middle Section		0.0	8.0	8.5	49,000	31.8	3.2	3.0	0.238	0.024	4.4
		2.0	8.0	9.4	51,000	31.9	9.2	3.1	0.221	0.020	
		3.5	8.0	10.4	51,000	32.3	6.0	3.2	0.478	0.047	
		5.0	7.8	5.8	51,000	32.5	10	3.5	0.640	0.060	
Downstream		0.0	8.0	8.5	50,000	31.9	4.4	1.8	0.221	0.021	3.8
		2.5	8.0	10.2	50,000	32.2	7.6	2.0	0.262	0.026	
		3.5	8.1	9.6	50,000	32.3	8.0	3.4	0.217	0.024	
		5.0	7.8	6.8	50,000	32.3	14.0	3.8	0.308	0.032	

**Table 2.** Vertical distribution of measured water quality parameters in Lake Youngrang during study period (continued)

Date	Site	Item	Depth (m)	pH	DO (mg/L)	Cond. (uS/cm)	Salinity (‰)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl.-a (mg/m <sup>3</sup> )
5th (2016.8.24)	Jang Stream			7.6	6.8	197	0.1	1.2	2.8	1.900	0.093	2.4
			0.0	8.0	8.7	39,329	24.6	5.0	2.2	0.660	0.058	8.3
	Upstream		1.5	7.9	6.5	45,797	29.8	4.4	1.7	0.357	0.033	
			3.0	7.7	3.5	46,725	30.2	13.0	3.6	0.560	0.069	
	Middle Section		0.0	8.1	8.8	44,676	28.7	3.8	2.1	0.354	0.028	9.1
			2.0	8.0	6.8	46,861	30.4	2.8	1.8	0.366	0.035	
			3.5	7.6	3.2	46,923	30.5	3.8	1.5	0.456	0.045	
	Downstream		5.0	7.1	0.1	48,463	30.7	13.2	7.7	0.570	0.091	
			0.0	8.1	8.9	46,034	29.8	2.2	2.8	0.321	0.027	6.8
			2.0	8.1	6.9	46,760	30.3	1.8	2.5	0.317	0.029	
			3.5	7.8	3.2	47,135	30.6	1.4	2.8	0.391	0.028	
		5.0	7.4	0.4	47,554	31.0	15.8	8.4	0.096	0.096		

재 호수 전체 평균 염분농도는 29.6‰로 전 수층에 걸쳐 해수와 유사한 수준을 유지하고 있었다. 2007년 연구에 따르면 2005년부터 2007년 사이 영랑호의 어류조사결과 일차담수어 11종(34.38%), 주연성담수어 18종(56.25%), 해수어 3종(9.38%)으로 90% 이상이 담수어가 서식하는 것으로 조사되었다(Choi et al., 2007). 그러나 최근 조사보고(WREO, 2017)에 따르면 해수어 31.4%, 기수어 37.1%, 담수어 31.4%로 해수어화가 진행되어가고 있다. 분석자료를 종합하여 영랑호의 수질변화 요인을 평가해 본 결과 기간별로 염분도의 차이를 볼수 있었다. 해수위 및 물때 등의 차이에 의해 해수 유입량이 다를 수 있으며 해수유입이 많아 염분도가 높을 때는 영랑호 수질이 전반적으로 양호함을 알 수 있었으며 반대로 염분도가 낮을 때는 수질이 악화되어 있음을 알 수 있었다. 본 연구에 있어서 조사기간에 따른 횡수는 3년에 5회로 국한되어 보다 세밀한 영향을 볼 수 없어 아쉬움

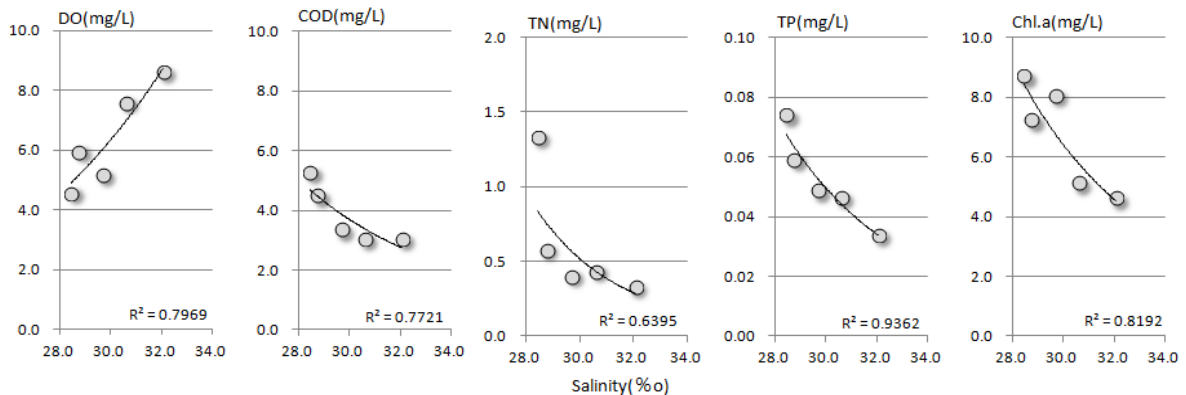
이 있으며 향후 지속적인 조사가 요구되는 바이다.

Fig. 5는 영랑호 수체의 분석항목간의 상관관계 분석을 통해 오염 원인을 평가한 그림이다. 염분농도와 수질과의 연관성을 평가하기 위하여 전체 조사기간 및 수심별 수질 분석 자료를 평균하여 염분농도와 DO, COD, TN, TP, Chl-a와의 관계를 평가하였다. 그 결과 R<sup>2</sup>는 0.63~0.95로 높게 나타났다. 특히 부영양화에 직접적으로 영향이 있는 TP와 Chl-a에서 0.8 이상으로 높았으며 TN이 0.63으로 가장 낮았다. 결과적으로 영랑호의 용존산소는 해수 유입량이 많아 염분농도가 높을 때 높았으며 나머지 항목에서는 염분농도와 반비례하는 것으로 조사되었다.

해수의 유입에 의한 영향과는 달리 상류의 장천의 유입이 영랑호 수질에 영향을 미치는 요인을 평가해 보았다. 영랑호 유역의 강우시 오염물질 유출특성(Yun et al., 2005)과 영랑호로 유입되는 장천유역의 비점오염부하량 산정에 관한 연구(Yoon et al., 2005)에서 유역면적 4.72 km<sup>2</sup> 인 장천에서 SWMM 모델을 적용하여 1년간 유출량을 산정한 결과 1,140,086 m<sup>3</sup>으로 초당 평균 유입량은 0.036 m<sup>3</sup>/sec이며 영랑호의 수표면적(1.02 km<sup>2</sup>)과 평균수심(4 m)으로 계산한 호수내 수량은 4,080,000 m<sup>3</sup>으로 1년간 유출량과 비교하면 장천의 체류시간은 4년으로 계산된다. 이는 춘천에

**Table 3.** The comparison of TSI<sub>KO</sub> value in Lake Youngrang

Site	Date	'14.07	'14.10	'15.08	'16.05	'16.08
Upstream		39	42	46	43	43
Middle section		44	59	52	42	42
Downstream		44	57	52	37	48



**Fig. 5.** The result of regression analysis between salinity and water quality parameters in Lake Youngrang during study period.

위치한 인공호인 의암호의 체류시간인 4일과(Lee, 2005) 비교하면 호수 수체에 비해서 유입량도 매우 적으며 장천의 평균수질도 하천수 수질기준 II등급의 약간 좋음 상태임을 감안할 때 유입하천인 장천이 영랑호 수질에 미치는 영향은 매우 낮을 것으로 판단되며 현재 영랑호의 수질은 해수량의 혼입이 가장 큰 영향임을 알 수 있다.

현재 영랑호의 하부에 설치된 해수 유입수로는 위치상 상류로 부더의 완전한 혼입이 어려운 상태이며 해수 유입수를 통하여 해수를 상류로 유입시키면 밀도차에 의해 호수의 순환이 활발해져 수질개선에 효과가 있을 것으로 판단되며 이를 위한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. Conclusion

영랑호의 수체를 2014년부터 2016년까지 유입하천과 호수 상류부, 중앙부, 하류부에 대해 수심별로 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 영랑호의 유입하천인 장천의 수질 분석결과 COD는 1.5~2.8 mg/L, 총인은 0.035~0.098 mg/L이었으며 평균 수질은 하천수 생활환경 평가기준 “약간 좋음”의 II 등급 수준을 유지하고 있었다.

2) 수심별 용존산소 조사결과 수심이 3 m인 상류부에서는 용존산소 고갈층이 나타나지는 않았으나 수심이 5 m인 중앙부와 하류부에서는 1차, 3차, 5차 조사 시 표층으로부터 DO가 선형으로 감소하여 저층이 무산소층으로 조사되었고 저층의 황화물 분석결과 최대 8.6 mg/L 까지 검출되었다.

3) 유기물의 지표인 COD는 상류부 2.8 mg/L, 중앙부 4.2 mg/L, 하류부 4.1 mg/L로 저층에서 2배이상 높았다. 영양염류 지표인 TP 농도는 상류부 0.047 mg/L, 중앙부 0.051 mg/L, 하류부 0.059 mg/L로 COD와 유사한 경향을 보여주었다. 염분도는 조사기간 마다 차이가 있었으며 조사기간별 평균 염분도는 2차 조사시 28.5‰로 가장 낮았으며 4차 조사시 32.1‰로 가장 높았다.

4) 조사된 자료를 바탕으로 부영양화지수(TSI<sub>ko</sub>)를 평가한 결과 중류부에서 2014년과 2015년, 하류부에서 2015년에 부영양 상태였으며 이외에는 중영양 상태를 보였다.

5) 영랑호 수질오염 원인을 평가하기 위해서 염분농도와 DO, COD, TN, TP, Chl-a와의 관계를 상관관계 분석한 결과 R<sup>2</sup>는 0.63~0.95로 영랑호의 수질은 해수의 유입량에 따른 염분도와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

이로서 영랑호의 수질개선을 위해서는 이미 해수가 종료되어 해양생태로 고착화된 호수 내에 영랑호 하류부의 해수 유입수를 통하여 해수량을 효율적으로 혼입시키는 다양한 연구가 진행 되어야 할 것으로 판단된다.

#### References

Cho, K. S. and Park, Y. S. (1980). Limnological Studies of the Young-nang Lake, *Korean Journal of Limnology*, 2(1), 51-66.

- [Korean Literature]
- Choi, E. Y., Choi, J. S., Park, S. C., Jang, Y. S., Lee, K. Y., and Choi, J. K. (2007). Temporal & Spatial Distribution of Fish Community in the Lagoon Youngrang, Korea, *Kor. J. Env. Eco*, 21(6), 506-514. [Korean Literature]
- Hyon, J. H., Lee, H. K., and Kwon, K. K. (2003). Sulfate Reduction in the Marine Environments: Its Controlling Factors and Relative Significance in Mineralization of Organic Matter, *Ocean Science Journal*, 8(2), 210-224. [Korean Literature]
- Kim, B. C., Lee, J. Y., Choi, J. S., Jeong, G., Huh, W. M., and Park, S. B. (2008). Fish Kill Caused by Eutrophication and Stratification in a Brackish Coastal Lagoon (Lake Youngrang), *Proceedings of the 1994 Autumn Co-Conference of the Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment*, 23-24. [Korean Literature]
- Kim, U. S., Sim, G. B., Kim, S. D., and Choi, H. I. (2012). Water Quality Assessment for Reservoirs Using the Korean Trophic State Index, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 28(1), 78-83. [Korean Literature]
- Lee, G. H. (2005). *A Study of Primary Production Prediction and Control for Water Quality Management in Lake Euam*, ph. D. Thesis, Kangwon University, Chuncheon, pp. 13-14. [Korean Literature]
- Lee, J. H. and Kwak, H. S. (1987). Environmental Studies on the Yangrang Lake, *Korean Journal of Limnology*, 20(1), 39-48. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2014). *Standard Method for the Examination of Water Pollution*, ES 04312.1a, Ministry of Environment.
- Mizuno, T. and Cho, K. S. (1980). Paleolimnological Study from the Present Status of the Lake Hwajin-po and Yeong-rang, *Korean Journal of Limnology*, 13(1), 17-22. [Korean Literature]
- Park, S. Y., Hwang, K. Y., Hwang, I. S., Lee, N. J., and Lee, S. H. (2007). Characteristics of Sulfides Formation in Seonakdong River Sediments, *Proceedings of the 2007 Autumn Co-Conference of the Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment*, 413-417. [Korean Literature]
- Seo, H. J., Kang, S. H., and Cho, J. H. (2007). Characteristics of Water Quality and TSI of Youngrang Lake, *Proceedings of the 2007 Autumn Co-Conference of the Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment*, 492-496. [Korean Literature]
- Wonju Regional Environmental Office (WREO). (2017). Fish in the Lagoon, 10-11.
- Wonju Regional Environmental Office (WREO). (1999). '98 Survey Report of East Coast Lagoon, 111-113.
- Yun, S. J. and Cho, J. H. (2005). Characteristics of Pollutant Discharge in Youngrang Lake Watershed, *Proceedings of the 2005 Autumn Co-Conference of the Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment*, 442-448. [Korean Literature]
- Yoon, J. S. and Cho, J. H. (2005). An estimate of nonpoint pollutant load for the Jangcheon watershed flowing into the Yangrang Lake. *Proceedings of the 2005 Autumn Co-Conference of the Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment*, 80-84. [Korean Literature]