

Landsat 8호 영상을 이용한 진양호의 클로로필 a 농도의 공간분포와 영양상태 분석

장민원^{1a} · 조현경² · 김상민^{1b,†}

¹경상대학교 지역환경기반공학과

²경상대학교 대학원 농공학과

Analysis of a Spatial Distribution and Nutritional Status of Chlorophyll-a Concentration in the Jinyang Lake Using Landsat 8 Satellite Image

Min Won Jang^{1a} · Hyun Kyung Cho² · Sang Min Kim^{1b,†}

¹Department of Agricultural Engineering (Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University

²Graduate School, Gyeongsang National University

(Received 18 September 2018, Revised 21 December 2018, Accepted 27 December 2018)

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the nutritional status of Lake Jinyang using Landsat 8 satellite image band correlated with chlorophyll-a, which is also related to algae proliferation. We selected 20 Landsat 8 images dating from 2013 to 2017, taken close to water quality measurement date when the cloud cover was less than 20 %. Based on the results of the previous studies, analyzing the correlation between chlorophyll-a, and Landsat 8 satellite image band, we selected near infrared wavelength, band 5 which is closely related to the population of algae. The nutritional status was classified using the Aizaki trophic state index (TSIm). The results of the regression equation between band 5 and the observed chlorophyll-a data was used to calculate chlorophyll-a for the image data from 2013 to 2017. The concentration of chlorophyll-a ranged from 3 to 16.1 mg/m³. To illustrate the spatial distribution of chlorophyll-a within the lake, the chlorophyll-a concentration was divided into five grades. The images on October 14, 2014 and April 10, 2016 showed relatively high value of chlorophyll-a, while January 18, 2015 and December 6, 2016 chlorophyll-a value were below 5. The images on October 14, 2014 and April 10, 2016 were rated as eutrophic status in most areas. The results of simulating water quality for the day when the water quality was not measured resulted to an approximate value for the Panmun station while the Naedong station needed some corrections.

Key words : Aizaki trophic, Chlorophyll a, Eutrophication, Landsat 8, Nutritional status index

^{1a} 부교수(Associate Professor), mwjang@gnu.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-0582-9112>

² 석사과정(Master Student), gusrud708@gnu.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0001-9922-0377>

^{1b,†} Corresponding author, 교수(Professor), bbot2002@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0951-1715>

1. Introduction

우리나라의 호수들은 대부분 인공호수이며 저수면적에 비해 넓은 유역 면적을 가지고 있어 주변 오염원의 유입에 쉽게 노출되어 있으며, 수역이 정체되어 체류시간이 길어져 영양물질의 축적이 상당한 실정이다. 하천에서도 댐 건설로 인해 인공호수화 되어 부영양화 문제와 녹조현상이 빈번하게 발생하고 있다. 수역의 부영양화는 가장 심각한 환경문제 중 하나로 물에 질소, 인 등의 영양염류가 과다하게 공급되어 수체 내 1차 생산자인 조류가 비정상적으로 증식되는 현상으로 생태계를 교란하고 냄새와 시각적으로 불쾌감을 증대시켜 수자원 이용에 심각한 문제점으로 작용하고 있다(Kwon et al., 2009).

정체된 수역에서 조류의 발생은 수체의 영양 상태와 매우 밀접한 관계가 있는데, 영양 상태를 평가하는 방법은 영양염류와 부영양화 관련 수질항목을 기준으로 구분하는 방법과 영양상태지수(Trophic State Index, TSI)에 의한 방법이 있다. 영양상태지수는 호수 표층의 유평대(euphotic zone)에서 일어나는 생물학적, 비생물학적 요소를 반영하여 Carlson (1977)에 의하여 개발되었다. 이러한 영양상태지수 (TSI)는 Carlson의 TSI secchi depth (TSISD), TSI chlorophyll-a (TSICHL), TSI total phosphorus (TSITP) 및 Kratzer와 Brezonik (1981)의 TSI total nitrogen (TSITN)으로 구성되어 여러 호수의 영양 상태 평가에 널리 이용되고 있다(Yoon et al., 2014).

원격탐사 기술은 관측하고자 하는 지역의 대상 물체에 접촉 또는 접근하지 않고 위성에서 수집된 전기신호를 분석하여 물체나 현상을 식별하는 과학기술로서 넓은 지역에 대하여 한 번에 자료 수집이 가능하며, 전자적 센서 또는 광학적으로 활용하므로 눈으로 볼 수 없는 파장의 자료를 수집할 수 있다. 또한 동일 지역의 반복 관측이 가능하고 시간과 장소에 따라 변화하는 수표면 오염물질의 공간적인 분포 및 이동 상태를 파악하는데 용이하다(Yoon, 2018).

국내에서 원격탐사를 이용하여 영양상태를 Landsat 5호와 대청호에서 측정된 클로로필 a의 상관관계로부터 회귀모형을 유도하였고, Aizaki의 영양상태 지수와 클로로필 a를 이용하여 작성한 영양상태 분포도에서는 육천천 유입지점과 대청호 상류 지점이 6월은 부영양상태, 3월은 중영양상태인 것으로 나타났다. 또한 탐정지, 백곡지, 미호지 등 충청권 3개의 대형 농업용저수지를 대상으로 클로로필 a 농도와 위성데이터로부터 회귀모형을 유도하고 저수지에 적용하여 영양상태분포도를 작성한 결과 실측값과 유사한 것으로 나타나 클로로필 a 모델의 범용성을 확인하였다(Kim et al., 1996a). Kim et al. (1996b)은 GIS와 같은 공간정보기술을 이용하여 표층수온, 투명도, 클로로필, 해저지질, 해저지형과 같은 해양환경요소들을 수치 주제 도화 하는 기법을 개발하였으며, Kim et al. (2001)은 연안 환경 관련 자료들의 입력 및 삭제, 갱신, 복구 등과 같은 공간정보관리의 효율성을 검증한 연구를 진행하였다.

국외에서는 인공위성영상과 Carlson TSI를 이용하여 습지의 영양 상태를 평가하였고, 얇은 호수에서 클로로필 a의

공간분포와 패턴을 조사하여 클로로필 a의 영양 상태를 TSI로 표기하였다(Rahimeh et al., 2011). Fernanda et al. (2008)은 Landsat 8호를 이용하여 열대성 저수지의 영양 상태를 평가하였으며, Evlyn et al. (2015)은 원격탐사기법으로 영양 상태를 평가할 때 탁도가 낮은 수체가 부영양화 수역을 파악하는데 정확도가 높다는 연구 결과를 발표했다.

본 연구의 목적은 고해상도 위성인 Landsat 위성영상을 이용하여 영상이 가지는 여러 band 중 호소의 클로로필 a와 상관성을 가지는 band를 찾고, 원격탐사기법과 영양상태지수(TSI)를 이용하여 진양호의 부영양화 진행 정도 및 발생 여부를 파악하는 것이다. 상관분석을 통해 band 별 클로로필 a에 관한 회귀분석식을 얻을 수 있고, 이로부터 클로로필 a 분포도를 작성하여 영양상태의 공간적인 분포를 파악할 수 있다.

2. Materials and Methods

2.1 대상유역

대상유역이 위치한 남강댐 유역은 경상남도와 전라남·북도의 9개 시·군에 걸쳐있으며, 경상남도 함양군, 산청군 전체와 의령군, 진주시, 사천시, 하동군, 함천군 일부지역을 포함하고, 전라북도 남원시, 전라남도 구례군의 일부지역을 포함한다(Joo et al., 2008). 남강댐 유역의 남강은 경상남도 거창군 서상면의 덕유산에서 발원하여 함양군의 함양위천, 남강 제 1지류인 양천과 산청군에서 합류하며, 하류의 덕천강과 합류 후 남강댐에 유입된다(Kim et al., 2010). 진양호의 유역면적은 2,285 km²이고, 저수면적은 28.2 km²로서 그 비율은 81이며, 국내 중, 대형 저수지에 비해 비교적 단

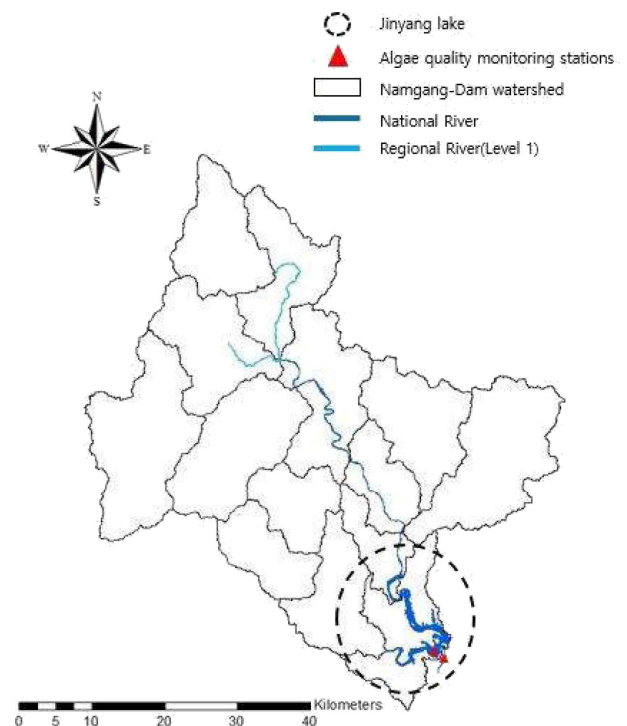


Fig. 1. Jinyang lake and selected algae monitoring stations.

순한 지형학적 구조를 갖고 있다. 연평균 강수량은 1,417 mm이고, 연평균 유입량은 $2,031 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이다. 총저수량은 $309.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이고 유효저수량은 $299.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이다. 평균 수심은 5 m이고, 최대수심은 12 m로 유입부에서 얇고, 댐 부근에서 가장 깊으며, 평균 체류시간은 22~54일에 해당한다(Kim et al., 1999; NRERC, 2009).

2.2 Landsat 영상

Landsat OLI/TIRS 8호는 2013년 2월에 발사되었는데 하루에 평균적으로 약 14°씩 이동을 하여 약 16일 간격으로 동일한 지점을 촬영하며, 약 99분에 지구를 1바퀴 돌고 있다. 예상 운영기간은 5.25년이지만, 약 10년이 넘는 시간동안 우주에 머물 수 있는 충분한 연료를 가지고 있다. Table 1은 Landsat 8호 위성의 분광해상력 및 공간해상도이다.

본 연구에서는 진양호 유역에 대해서 클로로필 a 농도를 기준으로 영양 상태를 평가하기 위해 USGS의 Landsat 8호 인공위성 영상을 이용하여 연구를 진행하였다. Landsat 8호 위성영상은 Cloud Cover가 20% 이하인 영상을 이용하였고, 물환경정보시스템 수질측정자료 중 촬영 일자과 가장 근접한 일자에 측정된 수질자료를 수집하여 활용하였다. 2013년부터 2017년까지의 영상자료의 DN (digital number) 값(반사도)과 클로로필 a와의 상관관계 분석을 위해 식 (1)을 이용하여 피어슨상관계수(Pearson correlation coefficient, r)를 산정하였고, 식 (2)를 이용해 상관계수의 검정을 위한 t 값을 계산하였다. 피어슨 상관계수는 두 연속형 변수 사이의 선형적인 상관성을 분석해 주며, t 를 구하여 표본 집단의 개체 수에서 2를 뺀 자유도를 가지는 t 분포(t distribution)에 적용시킬 수 있으며, t 분포는 좌, 우 양측이 대칭인 곡선으로 표준 정규분포를 따른다. t 분포의 확률밀도 함수에서 t 값보다 큰 영역의 합이 유의수준 0.05보다 작으면 상관계수 r 이 유의성을 가지는 것으로 분석한다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (1)$$

Table 1. Spectral resolution and spatial resolution of Landsat 8 satellite image

Sensors	Landsat 8	Wavelength (μm)	Resolution (m)
Operational Land Imager	Band 1	0.433-0.453	30
	Band 2	0.450-0.515	30
	Band 3	0.525-0.600	30
	Band 4	0.525-0.600	30
Thermal InfraRed Sensor	Band 5	0.630-0.680	30
	Band 6	0.845-0.885	30
	Band 7	1.560-1.660	30
	Band 8	2.100-2.300	15
	Band 9	1.360-1.390	30
	Band 10	10.30-11.30	100
	Band 11	11.50-12.50	100

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

원격탐사를 이용하여 클로로필 a 농도를 파악하기 위해서는 위성데이터와 실측값의 상관성이 높아야 자료로서 가치가 있다. 클로로필 a와 DN값의 상관관계를 분석한 기존 연구의 결과에 따라 청색 파장대인 2밴드와 클로로필의 반사와 흡수파장대인 3, 4밴드의 영상자료와 조류의 개체 수와 관계가 깊은 근적외파장대인 5밴드를 수집하였으며 본 연구는 5밴드를 사용하여 연구를 진행하였다. Table 2는 영상촬영일자와 수질측정일자를 정리하였다.

2.3 수질자료

국립환경과학원의 물환경연구소는 단위유역의 기준부하량 준수 여부와 정확한 수질 평가를 위하여 2004년부터 단위유역 발달을 대상으로 수질·유량 총량측정망 사업을 운영하고 있다. 수질총량측정망 자료는 유량과 수질을 약 8일 간격으로 동시에 측정하고 관측소별 용존산소 (DO), 생화학적 산소요구량 (BOD), 화학적 산소요구량 (COD), 부유물질 (SS), 총질소 (T-N), 총인 (T-P), 총유기탄소 (TOC), 클로로필 a (Chl-a) 등의 수질농도 자료를 포함하고 있다 (NIER, 2017). 본 연구에서는 Landsat 8호 영상과의 상관관계 분석을 위해 국립환경과학원의 물환경정보시스템 (Water Information System)으로부터 2013년 3월부터 2017년 11월까지의 수질자료를 수집하여 이용하였다. Table 3은 본 연구에서 상관관계 분석에 사용되는 클로로필 a의 농도를 수집한 자료이다.

2.4 영양상태 평가지표

호수 수질과 관련된 모델은 호수의 영양등급 구분을 위한 평가모델과 외부로부터 유입되는 오염물질량의 변화에 따른 수질 예측모델로 구분된다. 예측모델은 장래의 수질을 예측하여 그에 따른 방지대책을 검토하기 위한 수단으로 이용되고, 평가모델은 호수의 영양 상태를 파악하기 위한 하나의 방법이다. 또한 현재의 수질 및 미래의 수질에 대해 대비할 수 있으며, 세계 여러 나라들은 각국에 환경특성에 맞게 영양상태 지표를 개발하였고, 수질 평가에 각국

Table 2. Image capture date and Algae quality measurement date of Landsat 8 satellite in Jinyang lake

Image capture date	Algae quality measurement date	Image capture date	Algae quality measurement date
2013.03.27	2013.03.26	2015.11.02	2015.11.02
2013.06.05	2013.06.04	2016.04.10	2016.04.11
2013.10.27	2013.10.28	2016.08.16	2016.08.15
2014.05.07	2014.05.07	2016.12.06	2016.12.05
2014.10.14	2014.10.13	2017.01.23	2017.01.23
2014.12.17	2014.12.15	2017.05.15	2017.05.15
2015.01.18	2015.01.19	2017.11.07	2017.11.06
2015.05.26	2015.05.27		

의 영양상태 지표를 사용하고 있으며 대표적으로는 Carlson TSI와 Aizaki TSI가 있다.

Aizaki TSI는 부영양화 지수로서 조류의 양을 직접적으로 구할 수 있는 클로로필 a 농도에서 구하는 것이 가장 적절

Table 3. Jinyang lake Algae quality measurement data from March 2013 to November 2017

Algae quality measurement date	Chl-a density (mg/m ³)_Naedong	Algae quality measurement date	Chl-a density (mg/m ³)_Panmun
2013.03.26	7.0	2013.03.26	7.4
2013.06.04	8.2	2013.06.04	9.4
2013.10.28	4.1	2013.10.28	8.1
2013.11.11	8.1	2013.11.11	3.7
2014.04.21	3.6	2014.04.21	8.0
2014.05.07	3.4	2014.05.07	3.1
2014.10.13	5.7	2014.10.13	6.2
2014.12.15	7.8	2014.12.15	4.6
2015.01.19	7.5	2015.01.19	5.5
2015.03.24	6.5	2015.03.24	5.0
2015.05.27	8.2	2015.05.27	5.8
2015.11.02	3.0	2015.11.02	4.3
2016.04.11	11.4	2016.04.11	9.7
2016.05.11	10.1	2016.05.11	12.4
2016.08.15	9.5	2016.08.15	12.8
2016.12.05	4.3	2016.12.05	4.5
2017.01.23	7.3	2017.01.23	10.1
2017.03.13	3.8	2017.03.13	3.8
2017.05.15	16.1	2017.05.15	11.3
2017.11.06	8.3	2017.11.06	7.3

Table 4. Aizaki trophic state index

TSI	Transparency (m)	Chl-a (mg/m ³)	Total phosphorus (mg/m ³)
0	48.67	0.10	0.41
10	26.74	0.26	0.91
20	14.69	0.66	2.03
30	8.07	1.64	4.50
40	4.43	4.10	9.97
50	2.44	10.25	22.13
60	1.34	25.63	49.09
70	0.74	64.07	108.89
80	0.40	160.17	241.56
90	0.22	400.43	535.86
100	0.12	1001.08	1188.74

Table 5. Correlation analysis of Band 5 image by algae quality monitoring stations

Water quality monitoring station	Regression model	R ²	RMSE	RMAE	NSE
Panmun, Naedong	Chl-a = 0.00102 (Band-5 DN) - 0.286	0.67	2.23	0.52	-3.41

하다고 가정하여 투명도를 기준으로 한 Carlson의 TSI 대신 클로로필 a 농도를 기준으로 한 TSI를 생각했다(Aizaki, 1981). 클로로필 농도 1,000 mg/m³를 지수 100으로 하여 지수 0에서는 조류에 의한 빛의 흡수가 물에 의한 흡수보다 충분히 작아지는 값으로 0.1 mg/m³로 가정하고, 그 사이를 지수적으로 표현하여 클로로필 a 농도가 2.5배가 될 때 지수가 10씩 증가되는 TSI 식을 만들었다.

$$TSLM(Chl-a) = 10(2.46 + \frac{\ln(Chl-a)}{\ln(2.5)}) \quad (3)$$

3. Results and Discussion

3.1 밴드 5 영상자료 DN값의 상관관계 분석

본 연구에 사용한 Landsat 8호 5밴드의 DN값으로 산정한 반사도와 클로로필 a 농도를 이용하여 다중회귀분석을 실시하여 클로로필 a의 회귀모형을 유도하였고 적합성 검증을 위해 R², RMSE, RMAE, NSE를 산정하였다. Table 5는 다중회귀분석의 결과와 R², RMSE, RMAE, NSE의 값을 나타내고 있다. Fig. 2는 클로로필 a와 DN값의 상관관계를 나타낸 그림이다.

3.2 남강댐 유역의 클로로필 a 분포도

인공위성 영상을 이용하여 남강댐의 클로로필 a 분포도를 작성하기 위해 클로로필 a 회귀모형을 영상에 적용하여 농도별 5개 등급으로 나누고, 영상별로 클로로필 a 분포도를 작성하였다. 2014년 10월 14일과 2016년 4월 10일 영상이 비교적 클로로필 a의 농도가 높은 것으로 나타났으며, 2015년 1월 18일, 2016년 12월 6일은 클로로필 a의 농도가 5 이하인 곳이 나타났다.

클로로필 a 분포도를 이용하여 남강댐 유역의 클로로필

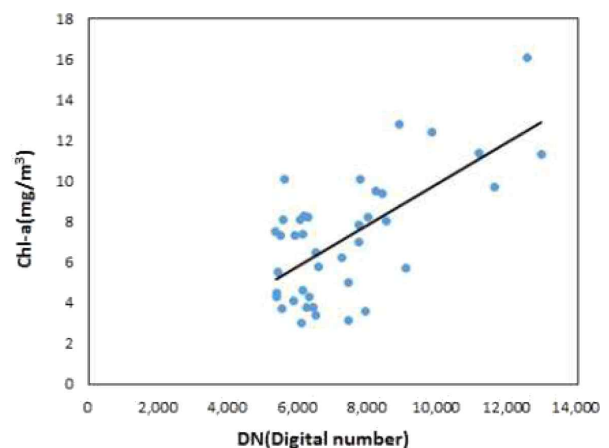


Fig. 2. Correlation analysis between chl-a and reflectance for algae quality monitoring stations.

a의 농도를 산술평균한 결과 가장 높은 평균을 가진 영상 날짜가 2014년 10월 14일이었고 2016년 4월 10일, 2017년 6월 16일, 2013년 6월 5일 순으로 높았다. Fig. 3은 남강댐 지역의 클로로필 a 농도를 5단계로 나누어 나타낸 그림이다.

3.3 남강댐 지역의 영양상태 분포도

인공위성 영상을 이용하여 남강댐의 영양 상태를 파악하기 위해 영양상태지수 평가모델에 의한 방법을 적용하였다. 영양상태지수는 호수의 조류량과 직접적인 관계가 있는 클로로필 a 농도를 기준으로 개발된 Aizaki trophic state

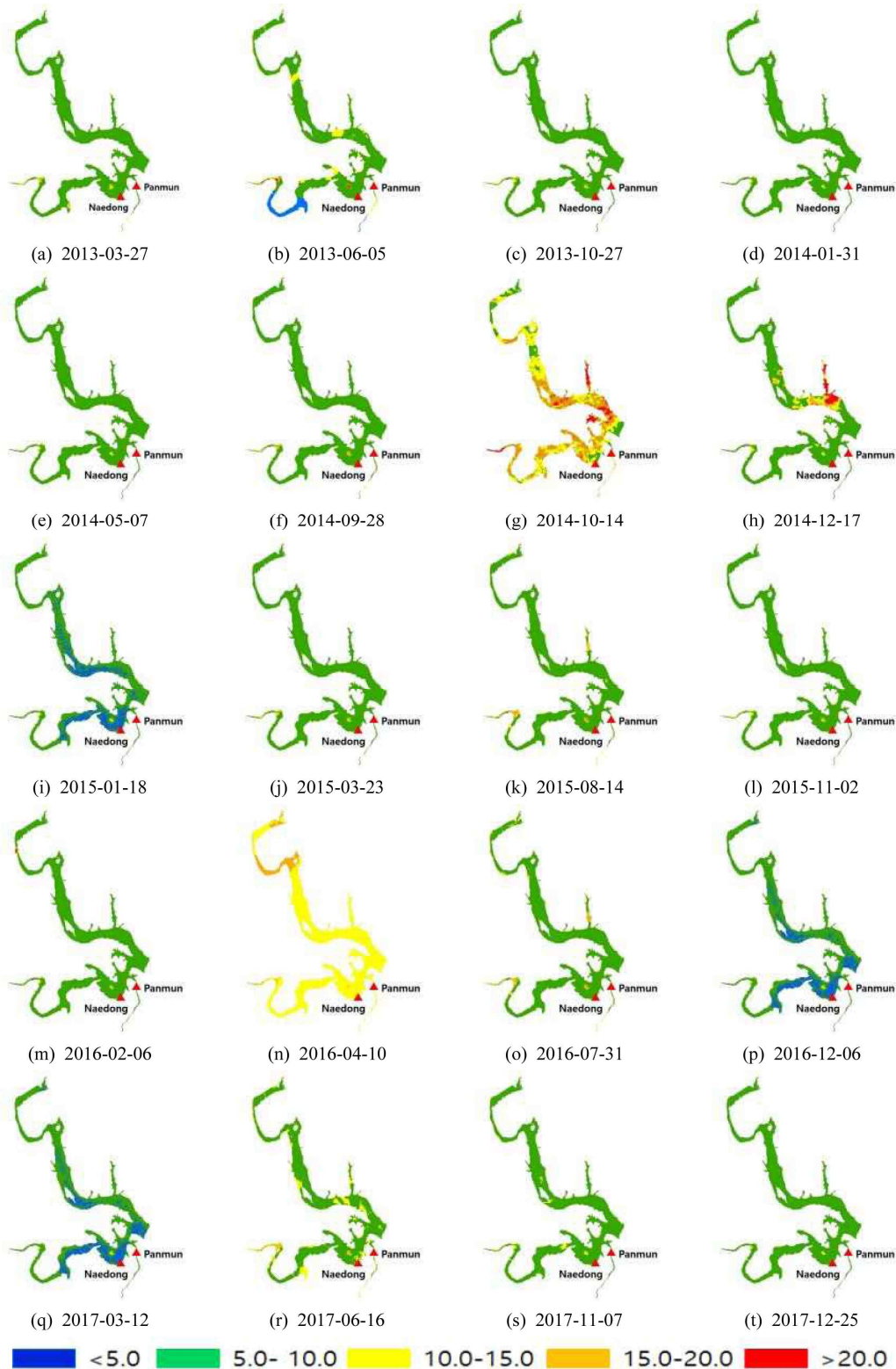


Fig. 3. Seasonal chl-a distribution from 2013 to 2017.

index (TSI)을 적용하였고, 클로로필 a 분포도로부터 각 픽셀의 농도를 이용하여 영양상태 분포도를 작성한 후 산정하였다. Aizaki 등은 TSI에 의한 호수의 영양상태 구분을 TSI가 40 이하이면 빈영양상태, 40~50이면 중영양상태, 50이상이면 부영양상태로 평가하였다. 이를 클로로필 a 농

도로 환산하면 클로로필 a가 4.09 mg/m³ 미만일 경우 빈영양상태, 4.10~10.25 mg/m³이면 중영양상태 그리고 10.26 mg/m³를 초과하면 부영양상태로 구분된다.

회귀모형을 위성영상에 각각 적용시켜 남강댐 전역의 클로로필 a 분포도를 작성하고 Aizaki의 TSI를 이용하여 영

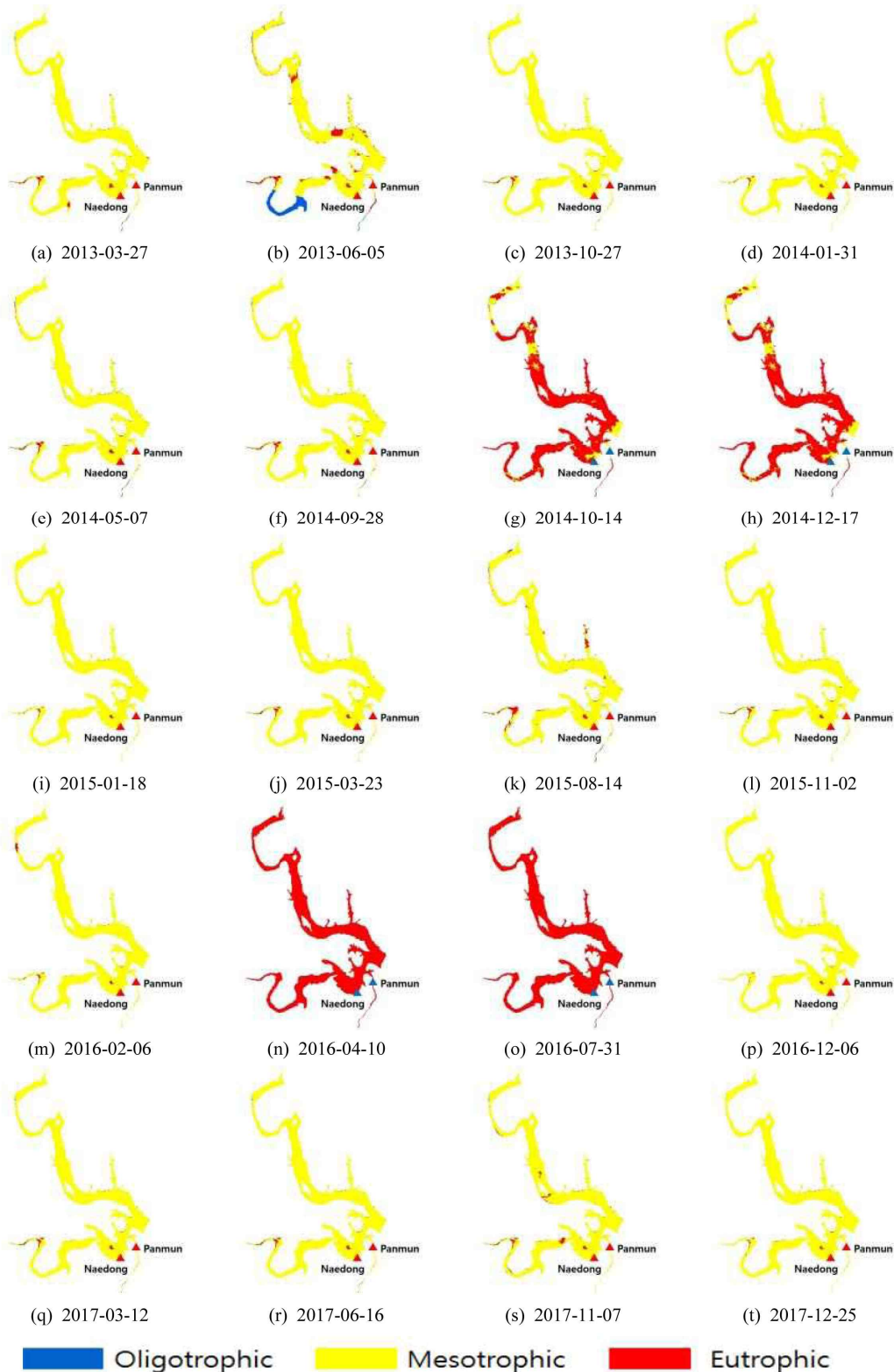


Fig. 4. Seasonal chl-a nutritional status distribution from 2013 to 2017.

Table 6. Comparison of water quality between simulated and measured value

Simulated value			Measured value		
Image capture date	Station		Algae quality measurement date	Station	
	Panmun	Neadong		Panmun	Neadong
2018-01-26	5.87	4.29	2018-01-22	6.50	6.40
2018-03-31	8.65	6.55	2018-03-26	7.10	6.70
2018-04-16	13.40	11.33	2018-04-16	11.30	3.50

양상태 분포도를 작성한 결과 대부분의 영상이 중영양상태이고, 클로로필 a 분포도를 작성할 때 산술평균값이 높게 산정되었던 2014년 10월 14일 영상이 중영양상태와 부영양상태가 혼합되어 있고, 2016년 4월 10일 영상이 대부분이 부영양상태로 평가되었다. Fig. 4는 남강댐 지역의 영양상태 분포도를 나타낸 그림이다.

3.4 수질 미계측 영상 자료와 수질 측정자료 비교분석

회귀분석에 사용되지 않았던 2018년의 영상 중 Cloud Cover가 20% 이하인 영상을 선정하여 2013년부터 2017년까지 영상을 회귀 분석한 식을 적용하였다. Table 6은 회귀 분석식을 적용한 영상자료의 수질 모의값과 측정값을 비교한 것이다.

2018년 1월 26일의 영상은 수질 측정일자 2018년 1월 22일의 수질 농도와 비교하였을 때 판문은 0.63, 내동은 2.11정도의 차이를 보이며 2018년 3월 31일 영상은 2018년 3월 26일의 수질과 비교한 결과 판문, 내동에서 각각 1.55, 0.15의 차이를 보였다. 두 촬영일자의 수질 모의값과 실측치는 대략 1.11정도의 차이를 보여 회귀분석식의 적용이 합리적이라고 분석되었다. 2018년 4월 16일의 영상은 영상촬영일자에 수질 측정이 이루어졌으며 모의값과 실측치의 차이는 판문에서 2.1, 내동에서 7.8의 차이를 보였다. 판문에서는 차이가 양호한 값을 보였지만 내동에서는 큰 차이를 보여 내동의 회귀 분석식은 더 많은 자료를 활용하여 수정이 필요할 것으로 보인다.

4. Conclusion

본 연구에서는 Landsat 8호 영상을 이용하여 남강댐 진양호 지역의 클로로필 a 농도와 영양상태의 공간적인 분석이 이루어졌다. 조류의 개체 수와 관계가 깊은 근적외광인 밴드 5의 DN값과 클로로필 a 농도의 상관성을 분석하고 회귀모형을 개발하였다. Landsat 8호 영상과 클로로필 a의 회귀모형을 유도하였으며, 모형의 상관결정계수 (R²)는 0.67로 산정되었다.

회귀모형을 각 위성영상에 적용시켜 클로로필 a 분포도를 작성한 결과 2014년 10월 14일과 2016년 4월 10일 영상이 비교적 클로로필 a의 농도가 높은 것으로 나타났으며, 2015년 1월 18일, 2016년 12월 6일은 클로로필 a의 농도가 5이하로 나타났다. 클로로필 a의 농도가 높게 나타난 곳은 평균값 또한 높게 분석되었다. 클로로필 a 분포도를 이용하여 Aizaki의 TSI 영양상태 평가지표를 적용한 영양상태 분

포도를 작성한 결과 대부분의 영상이 중영양상태이고, 클로로필 a 분포도를 작성할 때 산술평균 값이 높게 산정되었던 2014년 10월 14일 영상이 중영양상태와 부영양상태가 혼합되어 있고, 2016년 4월 10일 영상이 대부분이 부영양상태로 평가되었다.

Landsat 8호 영상의 적용성 평가를 위해 회귀분석에 사용되지 않았던 2018년의 영상을 선정하여 2013년부터 2017년까지 영상을 회귀 분석한 식을 이용하여 영상자료의 수질을 모의하고 측정값과 비교하였다. 2018년 1월 26일의 영상은 수질 측정일자 2018년 1월 22일의 수질 농도와 비교하였을 때 판문은 0.63, 내동은 2.11정도의 차이를 보이며 2018년 3월 31일 영상은 2018년 3월 26일의 수질과 비교한 결과 판문, 내동에서 각각 1.55, 0.11의 차이를 보였다. 두 촬영일자의 수질 모의값과 실측치는 대략 1.11정도의 차이를 보여 회귀분석식의 적용이 합리적이라고 분석되었으나 2018년 4월 16일의 영상은 영상 촬영일자에 수질 측정이 이루어졌으며 모의값과 실측치의 차이는 판문에서 2.1, 내동에서 7.8의 차이를 보였다. 판문에서는 차이가 양호한 값을 보였지만 내동에서는 큰 차이를 보여 내동의 회귀 분석식은 더 많은 자료를 활용하여 수정이 불가피할 것으로 보인다. 또한 더 정확한 신뢰성을 가지기 위해 보정을 한 DN값을 가지고 연구를 진행하여야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서와 같이 인공위성 영상과 영양상태지수를 이용하면 지역의 영양상태별 공간적인 분포와 영양상태의 정량화가 가능함을 파악하였으며, 조류 발생에 따른 효과적인 수자원 관리를 위해 클로로필 a의 분포도는 상당히 중요한 자료로 사용될 것으로 보인다. 또한 더 많은 자료를 활용한 회귀분석이 이루어지면 보다 정확한 영양상태를 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국연구재단 이공학 개인기초연구지원사업 연구비지원(과제번호 2017-1001)에 의해 수행 되었습니다.

References

- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Hosomi, M., and Muraoka, K. (1981). Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters, *Internationale Vereinigung für*

- Theoretische und Angewandte*, 21(1), 675-681.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes, *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361-369.
- Evlyn, M. L. M., Lobo, F. L., and Costa, M. P. (2015). Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities, *Journal of Remote Sensing of Environment*, 157, 170-184.
- Fernanda, W., Nariane, B., Enner, A., and Thanan, R. (2008). Modeling the spatio-temporal dissolved organic carbon concentration in Barra Bonita reservoir using OLI/Landsat-8 images, *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(1), 1-6.
- Joo, J. G., Lee, J. H., Kim, J. H., and Kim, Y. S. (2008). Analysis of quality improvement effects by construction of sewer systems in Nam river basin, *Journal of Korea Institute of Science and Technology*, 9(3), 771-778. [Korean Literature]
- Kim, B. C., Park, J. H., Heo, Y. Y., Lim, B. J., Hwang, G. S., Choi, G. S., and Chae, G. S. (1999). The limnological survey of major lakes in Korea(3): lake Jinyang, *Journal of environmental research*, 32(1), 111-126. [Korean Literature]
- Kim, B. S., Jo, M. H., and Seo, Y. S. (2001). A study on suitability mapping for artificial reef facility using satellite remotely sensed Imagery and GIS, *Journal of Korean Society for Remote Sensing*, 17(1), 99-109. [Korean Literature]
- Kim, S. J., Park, T. Y., Jang, M. W., and Kim, S. M. (2010). Flood runoff estimation for the streamflow stations in Nangang dam watershed considering forest runoff characteristics, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 52(6), 85-94. [Korean Literature]
- Kim, T. G., Kim, T. S., Jo, G. S., and Kim, H. (1996a). Analysis of chlorophyll reflection characteristic and nutritional status of Daecheong lake using remote tomography, *Journal of Korea Society for Geospatial Information System*, 4(2), 35-45. [Korean Literature]
- Kim, T. G., Kim, G. E., Jo, G. S., and Kim, H. G. (1996b). Monitoring of lake water quality using LANDSAT TM imagery data, *Journal of Korea Society for Geospatial Information System*, 4(2), 23-33. [Korean Literature]
- Kratzer, C. R. and Brezonik, P. L. (1981). A carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes, *Water Resources Bulletin*, 17, 713-715.
- Kwon, Y. H., Yoon, J. S., Lee, H. J., Yoon, Y. S., Seo, J. G., and Lee, J. G. (2009). Remote monitoring of green algae using intrinsic spectral characteristics, *Korea Environmental Science Society*, 18(1), 585-587. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MOLIT). (2018). *Water Resources Management Information System (WAMIS)*, <http://www.wamis.go.kr>. (Accessed March. 2018).
- Nakdong River Environment Research Center (NRERC). (2009). *'08 Management report of target water quality monitoring system in Nakdong river basin*, Nakdong River Environment Research Center, 142-163. [Korean Literature]
- National Institute of Environment Research (NIER). (2017). *Water Information System*, <http://water.nier.go.kr> (Accessed Jun. 2017).
- Rahimeh, R., Pourgholam, R., Najafpour, S. H., and Doustdar, M. (2011). Trophic status of a shallow lake (North of Iran) based on the water quality and the phytoplankton community, *World Applied Sciences Journal*, 14, 112-120.
- Yoon, J. H. (2018). *Assessment of reservoir trophic state using multi-spectral remote sensing and spatial distribution of chlorophyll-a*, Master's Thesis, Cheongju University, 28-33. [Korean Literature]
- Yoon, Y. J., Han, J. H., and An, G. K. (2014). Influence of seasonal monsoon on trophic state index (TSI), empirical water quality model, and fish trophic structures in dam and agricultural reservoirs, *Journal of Environmental Science International*, 23(7), 1321-1332. [Korean Literature]