



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

창녕함안보 구간 유역의 보 설치
전·후 하천 수질 변화 및
수질환경요인의 통계적 분석



2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

지구환경시스템과학부 환경공학전공

곽 보 라

공 학 석 사 학 위 논 문

창녕함안보 구간 유역의 보 설치
전·후 하천 수질 변화 및
수질환경요인의 통계적 분석

지도교수 김 일 규

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함.

2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

지구환경시스템과학부 환경공학전공

곽 보 라

곽보라의 공학석사 학위논문을 인준함.

2016년 2월 26일



위 원 장 공학박사 이 병 헌



위 원 공학박사 여 석 준



위 원 공학박사 김 일 규



목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
제 2 장 이론적 배경	3
2.1 유역 현황	3
2.2 조류(Algae)	4
2.2.1 조류의 종	4
2.2.2 조류발생에 따른 장애	7
2.2.3 녹조발생에 따른 대응 정책	8
2.3 통계분석 이론	12
2.3.1 다변량 통계분석	12
2.3.2 상관 분석	15
2.3.3 요인 분석	16
2.3.4 분류 분석	21
제 3 장 실험 및 방법	25
3.1 조사 대상 지점 선정	25
3.2 자료 수집 및 수질 특성 분석	28
3.2.1 자료 수집	28

3.2.2 수질 특성 분석	29
3.2.3 조류 특성 분석	31
3.3 통계분석방법	32
제 4 장 결과 및 고찰	33
4.1 낙동강 수계의 수질특성 분석	33
4.1.1 기상 요인 분석	33
4.1.2 현장 측정 항목	35
4.1.3 일반 수질 항목	37
4.1.4 조사 시기별 개체 수	39
4.2 항목별 통계적 분석	44
4.2.1 수질항목별 상관성 분석	44
4.2.2 수질인자와 조류와의 상관성 분석	51
4.2.3 요인 분석	54
4.3 보 설치 전·후의 수질특성 변화 분석	57
4.3.1 보 설치 전·후의 유량 변화	57
4.3.2 보 설치 전·후의 수질 변화	63
4.3.3 보 설치 전·후의 조류 변화	75
제 5 장 결론	78
참고문헌	80

List of Tables

Table 2.1. Issued regulation by algae bloom warning system.	8
Table 2.2. Regulation of water quality forecasting system.	9
Table 2.3. Five main steps of factor analysis.	20
Table 3.1. Measurement points of water quality and discharge on main river.	26
Table 3.2. Measurement points of water quality and discharge on influent.	27
Table 3.3. Water quality parameters investigated in the study.	28
Table 4.1. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in YJ site.	45
Table 4.2. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in CD site.	46
Table 4.3. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in PJ site.	47
Table 4.4. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in SD site.	48
Table 4.5. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in HA site.	49
Table 4.6. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in IH site.	50
Table 4.7. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters and algae.	52
Table 4.8. Eigen values and cumulative percentage of factors in Changnyeong-Haman weir section.	55
Table 4.9. Rotated component matrix by factor analysis in Changnyeong-Haman weir section.	56

List of Figures

Fig. 2.1. Conceptual diagram of factor analysis.	17
Fig. 3.1. Status of the measurement point water quality, discharge and water levels by the organizations.	25
Fig. 4.1. The location of automatic weather station in monitoring sites. ..	34
Fig. 4.2. Daily average value of rainfall and temperature in monitoring sites.	34
Fig. 4.3. Box plot of measurement on site water quality parameters in Changnyeong-Haman weir section.	36
Fig. 4.4. Box plot of general water quality parameters in Changnyeong-Haman weir section.	38
Fig. 4.5. Microscopic inspection in the study.	40
Fig. 4.6. Algae cell counts on the certain sampling time (a) YJ (b) CD site.	41
Fig. 4.7. Algae cell counts on the certain sampling time (a) PJ (b) SD site.	42
Fig. 4.8. Algae cell counts on the certain sampling time (a) HA (b) IH site.	43
Fig. 4.9. Relationship between Diatoms and d-silica concentration in monitoring sites.	52
Fig. 4.10. Relationship between Cyanobacteria concentration and N/P ratio in monitoring sites.	53
Fig. 4.11. Scree plot in Changnyeong-Haman weir section	55
Fig. 4.12 Component plot in rotated space in Changnyeong-Haman weir section.	56
Fig. 4.13. Monthly variation of Jeokpo-kyo discharge before and after weir construction.	58
Fig. 4.14. Monthly variation of Jindong discharge before and after weir construction.	59
Fig. 4.15. Monthly variation of Imhaejin discharge before and after weir construction.	60

Fig. 4.16. Monthly variation of Jukgo discharge before and after weir construction.	61
Fig. 4.17. Monthly variation of Georyong-river discharge before and after weir construction.	62
Fig. 4.18. Comparison of annual T-P value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.	66
Fig. 4.19. Comparison of annual T-P value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.	67
Fig. 4.20. Comparison of annual T-N value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.	68
Fig. 4.21. Comparison of annual T-N value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.	69
Fig. 4.22. Comparison of annual BOD value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.	70
Fig. 4.23. Comparison of annual BOD value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.	71
Fig. 4.24. Comparison of annual COD value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.	72
Fig. 4.25. Comparison of annual COD value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.	73
Fig. 4.26. Comparison of annual Chl-a value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.	74
Fig. 4.27. Monthly variation of algae cell counts after weir construction. ..	77

Comparison of water quality after Changnyeong-Haman weir construction and
Statistic Analysis of water environmental factor in Nakdong river

Bo-ra Gwak

Division of Earth Environmental System Sciences,
Major of Environmental Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The study of water environment system using a multivariate analysis and comparison of water quality after Changnyeong-Haman weir construction in Nakdong river have been conducted. The purpose of this study is to establish better understanding related water qualities in the Changnyeong-Haman weir section which can provide useful information. The data were consisted of algae data and water quality data including several parameters. Statistical analyses used in this study were correlation analysis, principal components, and factor analysis. According to result among water quality parameters, strong relationship between BOD, COD, and TOC have been observed. Besides, in the correlation of water quality parameters and algae, a negative correlation was observed between diatoms and d-silica. Furthermore, the results of principal component analysis to the overall water quality were classified into three main factors. In addition, when comparing before and after construction weir, overall water qualities have get better, but the occurrence of phytoplankton was increased. As increasing volume of water flow and residence time after construction weir, the relatively lower concentration of nutrient has been indicated. Therefore, the good conditions for phytoplankton to grow up are formed.

제 1 장 서 론

우리나라는 하천 및 호수 등 지표수에 대한 수자원 의존도가 매우 높다. 지표수는 태양광에 노출되어 있고, 기온의 영향을 직접 받기 때문에 기후변화에 대해 매우 민감한 수체이다. 기후변화로 인한 이상 저온, 이상 고온, 홍수, 가뭄 등의 자연 현상은 하천, 호수의 물리화학적 및 생태학적 특성을 변화(교란)시키고 있다(Bates et al., 2008). 이 중에서, 담수생태계 먹이망의 1차생산자인 미세조류(식물플랑크톤, 부착조류 등)는 세대기간이 짧고 수온과 수질(영양염류 농도)에 민감하게 반응한다(낙동강물환경연구소, 2011).

조류의 대량 번식은 다양한 요인에 의해 발생한다. 담수조류를 포함한 모든 조류의 성장 요인으로 물속의 빛, 이산화탄소, 다양한 영양염류(질소, 인 등)를 이용하여 광합성 산물을 생성하는 일차생산자이며, 수생태계 먹이사슬(food web)에서 에너지 공급원으로 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 하지만, 적절한 빛(조도)과 영양염 공급에 있어서 균형이 깨어질 경우 조류는 수생태계에 오히려 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 과도한 영양염 농도의 증가에 따른 부영양화(eutrophication)에 의한 조류 개체수의 증가는 그 대표적인 사례이다. 부영양상태가 아니더라도 증식(growth)에 필요한 최소한의 영양염(질소, 인)만 존재하면 물의 체류시간(residence time), 유량, 수온, 난류(turbulence) 등 기타 물리적, 수리수문학적 환경요인들과의 상호 작용에 의해 조류는 언제든지 대발생 할 수 있다(낙동강유역환경청, 2014). 최근에는 기후변화에 따른 수온 상승, 성층현상 강화, 대기 중 CO₂ 농도 상승, 체류시간 증가 등으로 수생태계에서 남조류의 우점도와 기간이 증가되며 계절적으로 식물플랑크톤 발생 경향이 변화하고 있다(Paerl and Huisman, 2009). 특히 인간의 경제활동과 산업 활동 등이 증가함에 따라 하천 및 호수에서의 오염원의 부하량이 자정능력을 넘어 서게 되고, 과잉된 오염부하는 하천 및 호수에 서식하는 조류의 대량증식 현상을 야기하게 되었다. 오늘날에는 항공기술이 발달함에 따라 인공위성

(MODIS, MERIS, and LANDSAT sensors)을 이용하여 광범위하게 일어나는 녹조의 분포와 진행상황을 이해하기 위한 연구가 진행되고 있다(Vincent et al., 2004; Wynne et al., 2008; Becker et al., 2009)

조류의 대량 번식은 국내에서는 1990년대 이후 가속화 되었으며, 기후변화로 인한 홍수 및 가뭄피해, 물 부족 문제 등 자연 현상에 따라 여러 가지 형태의 피해를 보일 것으로 예상되어 선제적인 대책 마련을 위하여 2009년 말부터 2011년까지 4대강 본류를 대상으로 하천 준설과 보 설치를 단계적으로 완료하였다(낙동강물환경연구소, 2013). 그러나 하천의 보 설치에 상류의 유속을 저하시켜 반 정수성 환경을 조성하게 되는 것이 일반적이다(Walther and Whiles, 2008, 이미진, 2014). 보와 같이 하천을 횡단하는 수공구조물은 수위 및 유량 조절이 가능하다는 장점과 함께 흐름 및 유사에 연속성을 차단하여 지속적인 유사관리가 필요하다는 단점이 있다. 저수구역을 가지는 보와 댐 등의 수공구조물은 유속을 감소시키고, 구조물 상류구간에 유사퇴적을 유발함으로써 하상의 불안정화를 초래하게 된다(정안철 등, 2015).

본 연구는 보 설치로 인해 낙동강 창녕함안보 구간에 대한 수질이 호소화됨에 따라 여름철 조류 발생의 빈도가 증가하고 남조류의 bloom 현상이 심해지는 등의 원인을 확인하고자 보 설치 전 · 후의 수질 변화를 비교 · 분석하였다. 그리고 보 설치 후 낙동강 창녕함안보 구간의 수질인자들 간의 상관성과 수질인자와 조류인자들 간의 상관성 분석을 하고자 하였고, 수질에 영향을 미치는 주요 요인을 밝히고자 하였다. 이는 낙동강 창녕함안보 구간의 수질 현황을 이해하고 더 나아가 향후 단기 조류 예측의 가능성을 예측 · 파악하는데 필요한 자료를 제공하고자 수행되었으며, 현재의 제도 및 정책에서 조류 대발생 시 문제에 효율적으로 대응할 수 있는 대책의 보완을 제시하고자 하였다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 유역 현황

우리나라 4대강 중의 하나인 낙동강은 한반도 동남부(동경 $127^{\circ} 29' \sim 129^{\circ} 13'$, 북위 $35^{\circ} 06' \sim 37^{\circ} 13'$)에 걸쳐 있는데, 북·서로는 백두대간(소백산맥)이 한강유역과 금강유역, 섬진강유역과의 분수령을 이루며, 동으로는 낙동정맥(태백산맥), 남으로는 낙남정맥(남해안을 따라 형성된 산지)으로 둘러싸인 커다란 분지를 이루고 있다. 동서 폭이 약 180 km, 남북 길이 120 km 가량인 낙동강유역의 면적은 23,384.2 km^2 로 한강의 유역면적에 비해 조금 뒤지지만, 총 하천길이는 510.4 km로 남한에서는 가장 길다. 태백의 함백산에서 발원한 낙동강은 태백산맥을 따라 남으로 흐르다가 안동 부근에서 반변천 등 여러 지류를 모아서 물질을 서쪽으로 튼다. 문경 부근에서 내성천과 영강의 물을 담고 다시 남으로 흐르는데, 위천, 금호강, 황강의 물을 더하여 꾸불꾸불 흐르다가, 남강 합류점에서 동으로 방향을 바꾼다. 낙동강유역의 지류들이 하천의 상류에서부터 침식한 물질을 운반하여 낙동강하구를 중심으로 낙동강 삼각주를 형성하는데 김해 대동(大東)에서 두개의 물길로 갈라져 김해평야를 적신 다음 남해의 품으로 든다(부산광역시청, 2015).

낙동강에 설치된 8개의 보 중에 창녕함안보는 총연장 549.3 m(고정보 405.3 m, 가동보 144 m), 높이 10.7 m로 저수량은 127.1 백만톤이며, 가동보는 하천 표면의 물을 흘려 보내 수위 조절이 용이하고, 구조물 높이가 낮아 자연 경관성이 양호한 회전식 수문을 선정하였다. 가동보 수문 규모는 기본계획시 제시된 승강식 수문(B 15 m*H 9 m*6 문)에 비해 통수단면을 확대한 회전식 수문(B 40 m*H 9.58 m*3 문)을 설치하여 수질오염방지, 홍수 시에 물 흐름을 원활하게 하고 하천바닥에 쌓인 모래를 흘려보내 능력이 증대되도록 제작되었다(국토교통부, 2015).

2.2 조류(Algae)

2.2.1 조류의 종

조류는 수중 또는 물이 존재하는 환경에서 엽록체(葉綠體)를 지니고 광합성을 하며, 선채, 양치, 이끼류, 종자식물을 제외한 가장 하등한 식물군을 일컫는다. 일반적으로 조류는 남조류(藍藻類), 규조류(矽藻類), 갈조류(褐藻類), 녹조(綠藻類) 등으로 구분된다. 광합성을 하는 조류는 수(水)생태계의 기초 생산자로서 중요한 역할을 하며 수중에서 생산되는 유기물의 대부분이 조류에 기인한다. 녹조는 하천과 호소 등에서 조류가 대량으로 증식하여 물이 녹색을 띠는 현상을 의미하며, 물의 표면에서 주로 발생하는 녹조현상은 물이 혼합되지 않고 정체된 수체(water body)에서 남조류 등 조류의 급격한 세포분열(증식)의 산물이다. 앞서 설명한 바와 같이 담수에서 서식하는 다양한 조류들이 녹조현상(water bloom)을 일으킬 수 있으나 남조류에 의해 생성되는 녹조는 가장 대표적이라 할 수 있다. 특히, 남조류(*Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* 등)의 대발생은 부산물로 냄새와 맛(이취미) 물질과 독소를 생성함으로써 수질(water quality)과 먹는물(drinking water)의 안정성을 저하시킬 수 있다(낙동강 유역환경청, 2014).

(1) 남조류(Blue-green algae, cyanobacteria; Cyanophyta)

남조류는 광합성을 하는 원핵생물로서 원시 지구의 대기 중에 산소를 존재하게 한 특별한 생물이다(Graham et al., 2009). 수온과 일조량의 변화에 따라 각각 선호하는 환경조건에서 높은 경쟁력을 갖기 때문에 고수온과 고광도에서 증식하여 우점하며, 수중 영양염류의 증가에 따라 대발생한다고 알려져 있다(Sommer et al., 1986; Tryfon and Moustaka-Gouni, 1997). 클로로필-a를 가지고 광합성을 통해 산소를 만드는 세균이며, 2-MIB(2-Methylisoborneol, 곰팡이

냄새)와 지오스민(Geosmin, 흙냄새) 등과 같은 맛·냄새 물질을 발생시킨다(김태균, 2014).

또한, 남조류는 부력조절 특성이 있기 때문에 다른 조류들 보다 유리한 환경조건에서 존재할 수 있으며 수표면에서 높은 온도, 광, 영양물질 등의 획득에 대한 경쟁력을 가진다(Walsby, 1994; Paerl and Fulton, 2006). 주요 종으로는 *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nodularia*, *Aphanizomenon* 등이 알려져 있다.

(2) 규조류(Diatoms; Bacillariophyta)

규조류는 단세포성으로 뚜렷한 핵과 리본형 또는 작은 수정체형 색소를 가지며, 세포벽은 규산질로 된 단단한 껍질이 있고 위껍질과 아래껍질이 등근접시 모양으로 끼워져 있다. 또한 바늘모양, 별모양, 막대 모양의 세포형태도 존재한다. 어떤종은 매우 아름다운 형태를 하고 있으며, 평판 접시처럼 상하 두 개의 중첩된 세포벽으로 구성되어 있어 관찰 각도에 따라 위에서 보는 경우와 옆에서 보는 경우에는 전혀 모양이 달라 보이는 경우가 많다. 규조류의 세포벽으로 이루어진 대량의 화석 퇴적물이 해안지역에서 발견되는데 이는 해양에서 주요 분류군인 규조류에 의한 것이며, 규조토도 수세기 동안 규조류 사체의 축적으로 이루어진 것으로써 음료의 여과, 화장품 제조, 광택제로 사용되고 있다.

서식형태에 따라서 부유성과 저서성으로 나뉘며, 저서성에는 수역의 바닥 침전물 등에 서식, 수생식물에 부착, 돌에 부착, 모래에 부착, 동물에 부착하는 것 등이 있다. 섬모나 편모가 없는 규조류는 종에 따라서 단단한 표면의 활주운동에 의해서 움직인다. 활주운동은 물리, 화학적 반응에 의해서 점액성 물질의 분비로 인해 일어나거나 변형된 아메바 운동에 의해 일어난다. 증식은 무성생식으로 2분열하는데, 위껍질과 아래껍질의 안쪽으로 새로운 개체가 생겨나면서, 껍질이 떨어져나가고 새로운 껍질이 생긴다. 이 껍질은 자라지 않기

때문에 분열을 하면서 점차 작은 개체들이 나오게 된다. 호소의 플랑크톤, 하상의 부착규조, 완속여과지의 여과막을 구성하는 생물로 물의 정화에 중요한 역할을 하고 있으나, 대량 번식할 경우에는 여과지 폐쇄를 일으키거나, 물에서 비린내와 같은 이취미를 발생시킨다. 세포벽이 단단하여 쉽게 부서지지 않아 어류나 수서곤충 등의 위장에서도 세포 형태가 원형 그대로 존재하는 경우가 많다.

(3) 녹조류(Green Algae; Chlorophyta)

녹조류는 엽록소가 많이 들어 있어 녹색을 띠고 있으며, 엽록체는 다양한 형태로 분화되어 컵모양, 판모양, 별잎모양, 띠모양, 측립성, 종축성 등을 하고 있다. 세포는 대개 단핵이지만 다핵성 세포들도 존재하고 있으며, 녹말의 형태로 양분을 저장하고, 세포의 운동성을 가지고 있는 기관인 편모는 그 수에 관계없이 길이가 같음 대체적으로 세포의 머리 부분에 편모가 존재한다. 지금까지 7000종 이상의 녹조류가 발견되었으며, 대부분이 수생성이다. 크기와 모양은 다양하며, 동일한 2개의 세포가 모여 구형을 이룬 것, 세포가 뭉 군체를 이룬 것, 측면에 붙어 연결된 것, 다핵성인 것 등이 있다. 생식관은 모 단세포성이고, 2분열, 무성생식과 유성생식을 할 수 있다.

담수에서 가장 많이 발견되며, 어떤 종은 눈의 표면, 습한 토양, 나무줄기의 녹색 부분, 지의류나 원생동물과의 상호 공생 등 다양한 환경에서 발견된다. 일반적으로 호소의 담수초기에 많은 종이 발견되고, 여름철에 활발한 번식이 이루어진다. 남조류나 규조류에 비해 대량 번식하는 우점율은 낮은 편이다. 그러나, 대량번식하게 되면 풀냄새, 채소냄새 등의 냄새와 맛을 낸다.

(4) 기타 조류

황녹색조류(Xanthophyta), 와편모조류(Dinoflagellates; Pyrrophyta), 유글레나류(Euglenoids; Euglenophyta), 황색편모조류(Yellow-green, Golden-brown Algae; Chrysophyta), 갈색편모조류(Cryptophyta) 등이 있다.

2.2.2 조류발생에 따른 장애

과도한 조류발생으로 인한 녹조현상이 나타나 단순히 수체의 착색뿐만 아니라 물속의 산소를 고갈시켜 어·패류의 질식사를 초래하여 어업에 경제적인 피해를 주기도 한다. 퇴적층에 침전된 다량의 사체로 인해 수질문제의 원인이 될 수 있으며, *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* 등의 남조류는 독소를 생성하기 때문에 직접적인 피부접촉이나 먹었을 경우 피부염, 복통, 두통 등을 유발하여 건강상의 문제를 주기도 한다. 또한 정수처리 시에도 여과지 폐색, 응집저해, 염소저항성 증가 등을 일으켜 수돗물 생산량을 감소시키거나 처리 비용을 증가시켜 경제적인 피해를 주기도 한다(Sundback et al., 1990; Oh et al., 2007).

조류발생에 의한 정수과정에서의 가장 직접적인 문제는 물에서 느껴지는 불쾌한 맛과 냄새를 유발하는 이취미 발생 장애이다. 이취미 발생에 다른 장애로는 남조류에 의한 곰팡이냄새(흙냄새)와 담수적조발생시 황금편모조류 일부종과 녹조류 등에 의한 비린냄새(생선냄새, 해조류냄새) 등이 있으며 조류종에 따라서 냄새가 달라지는 특성을 가지고 있다. 특히 흙, 곰팡이 냄새를 내는 geosmin은 인간의 최소감지농도(threshold)가 매우 낮은 4ng/L로 보고되어 정수처리과정에서 적극적인 대처가 필요한 물질이다(Pirbazari et al., 1993; Ho et al., 2004). 그 외에도 풀냄새 등이 규조류와 녹조류의 대량증식 시 발생하나 그 장애 규모는 작은 편이다. 이러한 곰팡이냄새, 흙냄새, 비린냄새, 생선·해조류냄새 등은 맛과 냄새에 이상을 일으켜 시민들에게 수돗물을 불신하게 하는 요인이 되고 있고, 정수처리 시에도 염소와 반응하여 염소 소독부산물을 생성하는 것으로 알려져 있다. 이취미장애는 결국 정수처리과정에서 염소처리, 활성탄 흡착 등을 강화하게 하여 처리비용 증가의 원인이 되고 있다.

2.2.3 녹조발생에 따른 대응 정책

정부에서는 녹조발생 예방 및 대응을 위해 다양한 정책들을 추진하고 있는데, 크게 ①조류발생 모니터링 ②녹조대응 ③수질오염물질 감사·관리 ④조류 관련 연구·기술개발 등 4가지로 분류할 수 있다.

먼저 조류발생 모니터링을 위해 조류경보제와 수질예보제를 운영하고 있다. 조류경보제는 1998년부터 운영을 시작하여 현재 상수원으로 이용되는 호소 등 전국 22개 주요호소를 대상으로 운영하고 있으며, 2013년 2월부터는 낙동강 수계에서 상수원으로 이용되고 있는 칠곡보·강정고령보·창녕함안보 3개보를 대상으로 하천에서의 조류경보제를 시범운영하고 있다. 조류경보제는 주간단위로 조류발생 상황을 모니터링하여 조류발생 정도에 따라 ‘주의보→경보→대발생’의 경보를 발령하여 관계기관별로 녹조 대응을 위한 필요한 조치를 취하도록 하는 제도이다. 경보단계별 발령기준은 아래와 같다.

Table 2.1. Issued regulation by algae bloom warning system.

경보단계	발령·해제기준
조류 주의보	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 15 mg/m ³ 이상이고, 남조류 세포수가 500 cells/mL 이상인 경우
조류 경보	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 25 mg/m ³ 이상이고, 남조류 세포수가 5,000 cells/mL 이상인 경우
조류 대발생	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 100 mg/m ³ 이상이고, 남조류 세포수가 1,000,000 cells/mL 이상인 경우
해제	2회 연속 채취 시 클로로필-a 농도 15 mg/m ³ 미만이거나, 남조류 세포수가 500 cells/mL 미만인 경우

* 환경부 (2014)

수질예보제는 2012년부터 4대강 16개보를 대상으로 7일 단위의 조류발생 정도를 예측·발표하여 취·정수장 관리자 및 보 운영자들이 장래 조류발생에 미리 대비할 수 있도록 하는 제도로써 조류발생 예측 정도에 따라 ‘관심→주의→경계→심각단계’로 구분하여 예보하고 있다. 수질예보제의 관리단계 발령기준은 아래와 같다.

Table 2.2. Regulation of water quality forecasting system.

남조류 세포수(cells/mL) 클로로필-a 예측 농도(mg/m ³)	10,000 미만 ¹⁾	10,000 이상	50,000 이상	2×10 ⁵ 이상
35mg/m ³ 을 초과하고 7일중 4일 이상 유지	-	관심 단계 ²⁾	주의 단계	경계 단계
70mg/m ³ 을 초과하고 7일중 4일 이상 유지	관심 단계	주의 단계	경계 단계	심각 단계
105mg/m ³ 을 초과하고 7일중 4일 이상 유지	주의 단계	경계 단계	심각 단계	심각 단계
140mg/m ³ 을 초과하고 7일중 4일 이상 유지	경계 단계	심각 단계	심각 단계	심각 단계
175mg/m ³ 을 초과하고 7일중 4일 이상 유지	심각 단계	심각 단계	심각 단계	심각 단계

비고)

1. 남조류 세포수는 유해남조류인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*속에 해당하는 종의 세포수의 합으로 한다.
2. 클로로필-a 농도가 70 mg/m³을 초과하여 수질관리 단계 최초 발령 시에는 초과한 날 이후 전반적으로 농도 상승이 예상될 경우 발령한다.
3. ¹⁾남조류 세포수가 10,000 미만일 경우, 수질관리 단계 발령을 위한 클로로필-a 농도 기준은 각각 70mg/m³, 120mg/m³, 160mg/m³, 200mg/m³ 초과 시로 완화한다.
4. ²⁾남조류 세포수가 10,000 초과 시에는 클로로필-a 예측 농도 값과 관계없이 “관심”단계를 발령한다.

* 환경부 (2014)

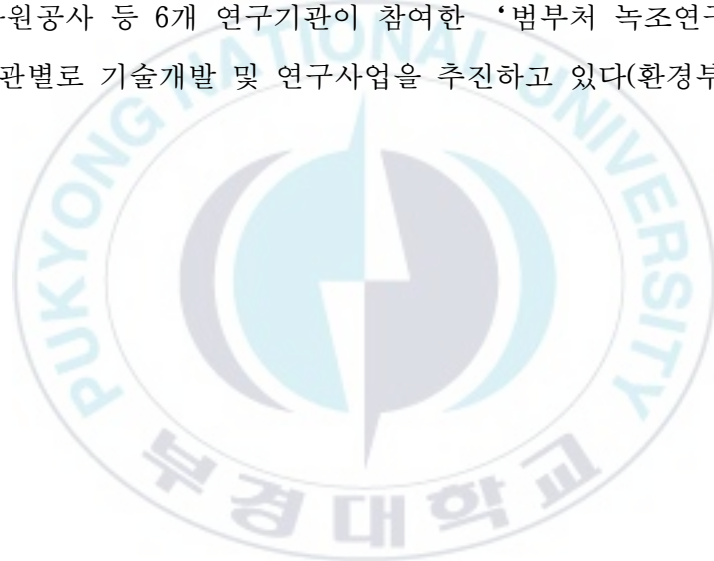
아울러 2014년 2월부터는 보 구간에서 1개 지점의 측정결과로 보 전체의 조류발생 상황을 관리하는 대표성부족 문제를 보완하기 위하여 보 구간을 10개 지점으로 구분하고, 각 지점은 다시 수심으로 3등분하여 총 30개 지점의 클로로필-a 농도를 측정하는 입체적 모니터링시스템을 낙동강 강정고령보를 대상으로 시범운영하고 있으며, 초분광센서를 이용하여 조류발생상황을 면 단위로 측정하는 원격모니터링시스템을 2014년 8월부터 북한강 의암호와 낙동강 수계를 대상으로 시범운영하고 있다.

또한, 녹조대응 정책으로는 관계기관 협업체계 구축·운영, 취·정수장 운영강화, 녹조제거 사업 등을 추진하고 있다. 관계기관 협업체계의 좋은 사례로 2014년 4월 환경부·국토교통부·농림축산식품부 합동으로 마련한 “수질·녹조 대비 댐·보·저수지 운영기준”을 들 수 있다. 동 기준은 평상시에 확보한 댐·보의 저수량을 수질악화 또는 녹조발생 시 ‘댐·보 연계운영협의회’를 통해 비상방류 할 수 있도록 한 것으로서 수질을 고려한 수자원의 효과적인 활용방안을 마련하였다고 할 수 있겠다. 아울러 유해남조류가 발생하는 기간 동안에는 취·정수장의 운영을 강화하고 있다. 평시 조류발생 상황을 주기적으로 모니터링하여 조류가 대량발생 할 경우에는 냄새 물질과 조류독소에 대한 모니터링을 강화하고, 취수시설 주변에 조류차단시설을 설치하고, 선택취수가 가능한 경우 조류영향이 없는 수심으로 취수지점을 변경하며, 정수장에는 전염소 처리 및 분만활성탄 투입 등의 조치를 취하고 있다. 또한, 녹조발생 우심지역에는 조류를 직접 제거할 수 있는 시설을 설치하여 녹조발생시 녹조제거사업을 실시하고 있다.

수질오염물질 감시·관리 정책으로는 조류의 먹이물질인 총인의 하천유입 저감을 위해 수질오염물질 배출시설에 대한 감시·단속을 강화하고 있다. 갈수기인 매년 12월부터 다음연도 5월까지를 수질관리 중점기간으로 정하여 오염물질 배출사업장, 축산농가 및 비점오염신고 사업장에 대한 지도점검을 강

화하고 있으며, 녹조발생 시기인 7월부터 9월까지의 녹조현상이 빈번한 지역의 인근 사업장에 대한 집중단속을 실시하고 있다. 또한, 조류발생 상황을 현장에서 감시하기 위해 4대강에서 활동하고 있는 환경지킴이(167명)들이 녹조 발생 우심지역에 대한 순찰을 매일 실시하고 있으며, 수계전체의 조류발생 상황 감시를 위해 경비행기(5대)를 활용하여 연간 800여회 정도의 항공환경감시 비행을 실시하고 있다.

조류 연구·기술개발의 효율적인 추진을 위해 2013년 12월 국립환경과학원, 한국환경산업기술원, 한국과학기술연구원, 한국농어촌공사, 한국생명공학연구원, 한국수자원공사 등 6개 연구기관이 참여한 ‘범부처 녹조연구 협의체’를 구성하여 기관별로 기술개발 및 연구사업을 추진하고 있다(환경부, 2014).



2.3 통계분석 이론

2.3.1 다변량 통계분석

수질특성평가의 한 방법인 통계적 접근방식은 생태학 연구부문에서 80년대 부터 많이 사용하는 방법으로 생태계 및 생태계 구성인자에 미치는 환경요인 의 영향을 통계학과 컴퓨터를 이용하여 자료를 처리하고 분석하는 기법이다. 이러한 기법에서는 변수 상호간의 의존성과 변수들에 공통적으로 영향을 미치는 요인들을 찾아낼 수 있어 주관적인 오염평가와 산술적인 수질해석으로 인 하여 평이한 유역의 오염상태만을 설명하던 기존의 연구방법이 아닌 합리적이고 신뢰성 있는 수질해석이 가능하다(Chang-Hyung Lee, 2002; Mi-Ah Kim, 2007; Jung-Hee Yoon et al., 2007).

다변량 자료란 통상 둘 이상의 서로 상관되어 있는 확률적 반응 변수들을 포함하고 있는 자료를 의미한다. 여러 개의 반응 변수가 있는 다변량 자료를 분석할 때에 개별적인 반응 변수별 일변량분석을 잇달아 수행하여 그 얻어지는 결과들을 종합하는 형식의 분석방법을 사용할 수도 있다. 일반적으로 단일 독립변수와 단일 종속변수 간의 인과관계를 파악하고자 할 때 일변량 통계분석(univariate statistical analysis)을 적용한다. 이는 변수의 변동원인을 규명하기 위하여 많은 요인들 중 한 요인을 택하여, 연구하고자 하는 변수와의 관계를 분석하고 또다시 한 요인을 선택하여 같은 분석을 반복한다. 이렇게 개별 분석된 결과를 종합하여 연구하고자 하는 변수를 이들 요인에 의해 설명하는 것이다. 이러한 일변량 통계분석은 요인들의 상호작용이 없는 상태에서의 분석에서는 문제가 없으나 실제 현실에서는 요인들 간 상호작용이 존재할 뿐만 아니라 변수들 또한 요인에 영향을 주는 경우가 많다. 즉, 종속변수와 독립변수의 구분이 불분명하고, 독립변수들 간의 종속 독립의 관계가 존재하게 된다 (강선해, 2013). 이러한 접근방법은 근본적으로 다변량 자료가 가지는 반응 변

수들 간의 상관관계를 고려하지 않음으로 인한 부적절성을 벗어나기 어려우며 때로는 자료에 대한 그릇된 이해나 잘못된 결론을 도출하는 경우도 있다. 따라서 자료분석의 목적에 부합하는 기법을 사용하여 올바른 결과를 도출하도록 해야 할 것이다. 다변량 통계분석(multivariate statistical analysis)은 이러한 문제를 해결하기 위하여 개발된 분석 방법이다.

다변량 자료에 대한 통계분석은 여러 가지 방법이 있다. 구조적 단순화, 군집화 및 분류, 의존성의 분석, 분석 대상의 현상화, 관련 모수 추정과 가설의 구축 및 검정으로 크게 다섯 가지로 구분된다. 구조적 단순화는 자료가 내포하고 있는 정보의 손실을 최소화 하는 범위 내에서 다변량 자료의 구조적으로 복잡한 관계를 요약하여 단순화하는 방법이다. 다변량 통계분석이 가지는 복잡성이 근본적으로 변수의 다차원성에 있음을 감안할 때 이는 자료의 구조 및 특성을 이해할 수 있게 하는 중요한 수단이며 단순화의 과정은 주로 상호의존 관계에 있는 다차원 변수들을 적절히 변환시켜 서로 독립적인 성분으로 만들거나 차원의 축약을 통해 이루어진다. 군집화 및 분류는 분석 대상들을 동질적인 무리들로 나누는 것으로 동일한 집단 내에서는 높은 유사성을 가지고 서로 다른 집단 간에는 큰 이질성을 가지도록 집단화함을 의미한다. 이런 점에서 이 또한 넓게 보아 단순화의 한 과정으로 볼 수 있으며 이를 통해 분석 대상들이 가지는 패턴, 각 부분 인자를 구축하며 변수들 간의 선형관계를 파악하는 등이 이 범주에 포함된다. 그리고 분석 대상의 현상화 분석 대상들 간의 유사함 또는 유사하지 않은 정도를 기초로 그들 간의 상대적 위치를 저차원 공간에서 시각적으로 현상화하고 이로부터 내부적 구조를 탐색한다. 관련 모수 추정과 가설의 구축 및 검정 일변량에서의 통계추론과 같이 다변량의 경우에도 모집단이나 분포에 관련된 모수들을 추정하고, 통계적 가설의 구축과 이에 대한 검정 등이 중요한 관심 대상이 된다(강현철 등, 2005).

이외에도 다변량 자료에 대한 통계분석은 여러 가지 목적으로 시도되고 있으나 본 연구에서는 변수의 차원을 줄이는 회귀분석, 상관분석, 요인분석을 통하여, 낙동강 창녕함안보 구간의 수질인자들 간의 상관성과 수질인자와 조류인자들 간의 상관성 분석을 하고자 하였고, 수질에 영향을 미치는 주요 요인을 밝히고자 하였다. 또한, 추가적으로 분류분석기법 중 트리모형을 덧붙여 추후에 분석하여 보완하고자 하였다,



2.3.2 상관 분석

상관분석은 변수간의 관련성을 분석하기 위하여 두 변수간의 선형적인 상관 관계를 파악하는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 기법이다 (Park et al., 2014). 보편적으로 자주 이용되는 척도로는 Pearson 상관계수 (Correlation Coefficient, r)가 많이 이용되며, Pearson 상관계수는 두 변수가 각각 간격척도 혹은 비율척도로 측정된 경우 상관관계의 크기를 의미한다. 변수들이 정규분포를 따른다는 가정 하에 적용하는 상관계수로 -1에서 1까지의 값을 취하는데 절댓값이 1에 가까울수록 상관성이 강하다. 즉, 상관계수는 선형관계(linearity)를 나타내는 척도로 사용하는 것으로 해석에 주의를 요한다.

두 변수 사이의 관계를 알아보하고자 할 때 가장 먼저 해볼 수 있는 일은 산점도(scatterplot)를 그려보는 것이다(원태연 등, 2010). 산점도란 X 와 Y 값의 n 개의 쌍으로 구성된 자료를 좌표 상에 옮겨 그린 그림으로서, 산점도를 이용하면 여러 형태의 두 변수 간의 상관관계를 파악할 수 있다. 직선적으로 관련된 정도를 측정하기 위한 척도의 성질 중의 하나는 분명히 변수들에 대해 원점을 선택하는 것과는 무관해야 한다. 이러한 성질은 변수 자체보다 표준편차를 정의할 때처럼 오히려 변수들의 평균으로부터의 편차를 사용함으로써 충족될 수 있다. 또 다른 성질은 관계를 나타내는 척도가 X 와 Y 의 측정에 사용되는 단위와 무관해야 한다. 또한 X 와 Y 의 값이 두 배가 되더라도 변수들 간의 관련성은 변하지 않아야 한다(남기성, 2010).

2.3.3 요인 분석

요인분석 수행의 목적은 입력변수들의 특성을 파악하고, 데이터 축소하고, 또한 다중공선성으로 인한 문제를 해결하는데 있다. 수많은 입력 변수들이 어떻게 서로 상관되어지는지를 파악하여 어떤 분석을 수행하기에 앞서 데이터의 특성을 이해하는데 도움이 된다. 그리고 데이터의 축소를 통하여 분석결과 해석을 용이하게 하며, 많은 비모수적 통계 및 데이터마이닝 분석방법의 경우 입력데이터에 다중공선성이 존재할 경우 분석 결과 모델의 오류 또는 결과 해석에서의 오류가 발생할 우려가 높다. 따라서 다중공선성의 상태를 고려하여 분석해야한다. 그렇지 않을 경우 잘못된 분석 결과를 내기 쉽다. 여러 가지 해결방법이 있지만 그 중 하나가 요인분석을 사용하는 것이다. 다시 말하면, 요인분석을 사용하여 새로운 잠재변수를 만들어 추가한 후 분석을 수행하면 다중공선성의 문제를 해결할 수 있다.

하천의 수질은 다양한 요인들의 복합적인 작용에 의하여 발생되기 때문에 이러한 현상을 해석하기 위해서는 개개의 관련된 요인을 대입시켜 현상을 해석하는 것보다는 가능한 관련된 요인을 동시에 대입시켜 해석할 수 있다면 보다 보편성 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다. 이와 같이 자연현상에 대하여 관련되는 요인들을 가능한 동시에 대입시켜 보다 객관성 있는 해석을 유도하고자 하는 것이 다변량 해석기법이다(김종구, 2002).

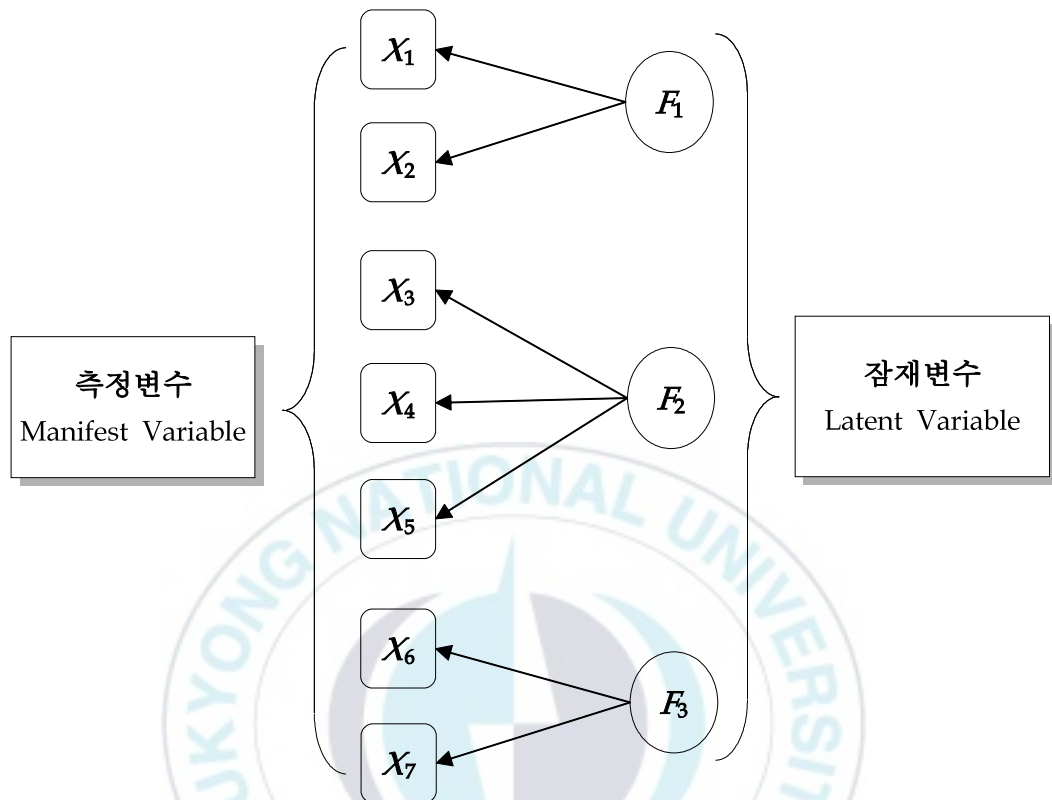


Fig. 2.1. Conceptual diagram of factor analysis.

요인분석은 여러 개를 변수 대상으로 하고 그들 간의 상호관련성을 이용하여 변수 속에 내재된 요인으로 결정될 수 있는 소수의 공통적인 새로운 변수를 찾아내는 과정을 거치게 된다. 따라서 다변량의 자료를 축소하여 보기 좋은 상태로 만들기 위해서나, 이론적으로 특정 요인을 추출하기 위해서 사용한다. 요인분석의 과정은 먼저 상관행렬을 구한 뒤, 이를 통해 몇 개의 요인으로 구성되는가를 보여준다. 이렇게 추출된 요인에 해당하는 각 문항의 요인부하값을 가지고 요인을 구성하는데, 보통 요인부하값이 0.6 이상일 때 그 요인에 속한다고 해석할 수 있다(Jung-hee Yoon, 2007). 요인부하량은 각 변인과 요인 간의 상관관계라고 생각할 수 있다. 따라서 요인부하량이 관찰변인과 요인의 상관이고 요인에 대한 각 변인의 가중치라는 점에서 요인부하량이 크면 그만큼 그 요인을 잘 측정하는 변인이라고 할 수 있다. 또한 요인부하량의 자승은 결정계수 R^2 를 의미하기 때문에 요인부하량이 높은 변인은 해당 요인을 그만큼 잘 설명하는 변인이라고 할 수 있다.

요인 수를 결정하는 방법에는 최소고유값(minimum eigenvalue)기준, 스크리 검정(Scree test), 분산의 비율(Percentage of variance), 선행이론 방법이 있다. 이중 최소고유값(minimum eigenvalue)기준 방법은 가장 많이 사용되는 방법의 하나로 적용이 매우 간단하지만 기본 모형으로 주대각성분 분석법 또는 공통 요인 분석법을 사용하는가에 따라 적용이 달라진다. 주대각성분 분석법에서는 상관행렬의 대각에 ‘1’이 들어간다는 것을 상기하면 분석에서 전체 변량이 고려된다. 주대각성분분석법에서 요인들은 고유값이 ‘1’보다 적을 경우에는 의미가 없는 것으로 간주하고 무시한다. 공통요인 분석법을 선택할 경우 고유치는 약간 하향 조정되어야 한다. 요인 수의 결정에 있어서 최소고유값 기준 하나만으로 결정하는 것은 매우 위험하다. 다른 기준들도 고려한 후 결정하는 것이 좋다. SPSS에서는 요인추출을 결정하는 최소고유값은 기본값이 ‘1’이다(원태연 등, 2010). 고유값(eigenvalue)은 한 요인 설명력을 나타내는데 “한 요인에 대한 요인 적재 값 제곱의 합”을 가리킨다. 그러므로 고유값이 높다

는 것은 그 요인이 변수들 간의 분산을 잘 설명한다는 것을 의미한다(박찬진, 2014).

전체 데이터를 잘 대변하는 요인은 남겨두고 설명력이 낮은 것은 배제하여 변수를 줄일 수 있다. 그러나 변수들이 어떤 요인들에 대하여 요인 부하량을 나타낼 때 비슷한 부하량을 나타낼 경우 어느 요인에 해당하는지 분류하기가 쉽지 않기 때문에 비슷한 요인 부하량이 어느 한 요인에 높게 나타나도록 하기 위해서는 요인축을 회전시키는 방식을 이용한다. 이러한 회전방식은 직각회전(Orthogonal Rotation)과 사각회전(Oblique Rotation)방식으로 구분되고 직각회전방식에는 Varimax, Quartimax, Equimax 등의 방법이 있고, 사각회전에는 Promax 방법을 많이 쓰고 있다(Park et al., 2014, Jung et al., 2013). 직각회전은 두 요인의 회전축이 직각을 유지하면서 한쪽 요인의 요인 적재값을 1에 가깝게 만들어 주고 다른 하나의 요인적재값은 0에 가깝게 만들어 주는 방법이다. 따라서 요인들 간의 상관계수가 0이 되며 이는 요인들의 관계가 독립적인 경우, 추가분석으로 회귀분석이나 판별분석을 실행할 때 다중공선성을 피하기 위한 경우에 사용하게 된다. 사각회전은 직각회전과 다르게 두 요인의 직각을 유지하지 않은 상태에서 한쪽 요인의 요인적재값을 1에 가깝게 만들어 주고 다른 하나의 요인적재값은 0에 가깝게 만들어 주는 방법이다.

요인분석은 관찰변인간의 상관을 이용하기 때문에 상관의 크기에 매우 민감하다. 사례수가 적어지면 그만큼 요인분석에 사용되는 상관계수가 불안정하게 산출되기 때문에 요인분석 결과를 해석하는데 매우 주의해야 한다. 요인분석의 절차는 먼저 요인의 수를 결정하고 해석하기 쉽게 회전시킨다. 그리고 요인적재량을 이용하여 요인을 이루는 항목들을 선택하고 새롭게 결정된 잠재변수에 이름을 부여한다. 잠재변수에 값(점수)을 계산하여 입력하고 추가 생성된 데이터를 사용하여 추가적 분석을 수행한다.

Table 2.3. Five main steps of factor analysis.

요인분석의 과정	
1. 요인분석의 적용 가능성 점검	
▪ Bartlett의 단위행렬 점검	▪ 고유값의 점검
▪ 공통변량의 점검	▪ 잔영상관행렬의 점검
▪ KMO의 표본적합도 점검	
2. 최초 요인의 추출	
▪ 주대각성분 분석법	▪ 최소제곱법
▪ 최우추정요인 추출법	▪ 주축요인 추출법
▪ 알파요인 추출법	▪ 이미지요인 추출법
3. 요인의 수 결정	
▪ 최소고유값(Eigenvalue) 기준	▪ 스크리검정(Scree test)
▪ 통계적 가설검정	▪ 분산의 비율
▪ 선행 이론	
4. 요인의 회전	
▪ 쿼티맥스회전	▪ 베리맥스회전
▪ 이쿼맥스회전	▪ 프로맥스회전
▪ 오브리민회전	
5. 분석결과의 해석	

* SPSS PASW Statistics 18.0 통계조사분석 p.419 (2010)

2.3.4 분류 분석

SPSS에서 제공하는 나무모형은 분류분석 방법으로 널리 이용되고 있는 분석 방법이다. 분류 결과가 나무모형과 같은 그림으로 제공되기 때문에 결과의 이해가 쉽고, 활용하기가 쉬워서 마케팅, 의학 분야 등에 널리 이용되고 있다. 나무모형을 만들어가는 방법으로는 CHAID, Exhaustive CHAID, CART, QUEST 방법이 있다. 실제 자료를 가지고 나무 모형을 만들어 갈 때는 나무모형 그림이 커서 한 화면으로 부족한 경우가 많다. SPSS는 이러한 경우에도 효율적으로 나무모형을 활용할 수 있도록 Tree Editor를 제공하고 있다.

나무모형(Decision Tree)은 나뭇가지 모양의 나무구조로 도형화하여 분류모형을 제공하는 분석기법이다. 관심 있는 반응변수(종속변수, 목표변수 : target variable)가 범주형인 경우에는 설명변수(독립변수)의 값에 따라 각 케이스를 그룹으로 분류하고, 반면에 반응변수가 연속형인 경우에는 설명변수의 값에 따라 반응변수의 추정값을 나무구조로 나타내는 분석을 나무모형 분석이라 한다. 이러한 나무모형은 분류, 세분화, 예측, 변수 선택, 교호작용 탐색, 범주 합병 또는 연속변수의 범주화의 용도로 이용된다.

나무모형은 나무구조로 표현되어 분류모형을 제공하므로 일반인들도 이해하기 쉽고, 쉽게 활용할 수 있으므로 데이터마이닝 관점에서 널리 이용되는 방법이다. 노드(node)라고 하는 몸통과 노드와 노드를 연결해주는 줄기로 구성되어 있으며, 최종적으로 분류되어 더 이상의 분할이 이루어지지 않는 노드를 최종노드(terminal node)라고 한다. 중간노드의 개수가 많아질수록 나무모형의 구조가 복잡해지고, 따라서 해석 또한 어려워진다는 것을 알 수 있다. 이와같이 분할해나가면서 최종적으로 의사결정에 이르는 분석방법을 나무모형(tree model), 나무구조모형(tree-based model) 또는 의사결정나무(decision tree)라 한다.

나무모형 분할은 나무구조를 생성하는 과정이므로 나무모형에서 가장 중요한 틀을 잡아주는 일이다. 나무구조가 만들어져야 뿌리노드에서 최종노드까지의 나무의 크기를 결정하고 최종노드에서 의사결정을 할 수 있게 된다. 분할 방법의 기본적인 아이디어는 나무구조의 단계마다 가급적 같은 그룹의 관찰치들이 같은 노드에 속하도록 분할 규칙을 찾는 데 있다. 즉, 뿌리노드에서는 여러 개 집단들의 관찰치들이 섞여 있지만 분할이 진행됨에 따라 중간노드에서는 점점 더 동질적인 노드가 만들어지고 마지막으로 최종노드에서는 하나의 집단이 다른 집단에 비해 압도적으로 많아지도록 하는 현상을 갖도록 한다. SPSS에서 제공되고 있는 분할 규칙은 다음과 같이 네 가지가 있다.

① CHAID(Chi-Squared Automatic Interaction Detection)

각 단계에서 CHAID 방법은 종속변수와 가장 큰 교호작용 효과를 가지는 독립변수를 선택한다. 각 독립변수의 범주들은 종속변수에 대해서 유의한 차이가 있지 않은 경우에는 병합되며, 분할은 각 노드에서 두 가지 가지로만 분할되는 이분할법이 아닌 세 가지 이상의 여러 가지로 분할될 수 있다. 연속형 설명변수가 있는 경우에는 범주화를 수행하여 모든 변수를 범주형으로 취급한다. 1980년에 Kass(1980)에 의하여 제안된 방법이다. 카이제곱 점합성 검정에 근거하여 만들어진 의사결정나무로 현재까지도 널리 사용되고 있다. CHAID 방법은 독립변수에 결측치가 존재하는 경우, 이를 하나의 범주로 간주하여 처리한다.

② Exhaustive CHAID

각 독립변수에 대해서 모든 가능한 분할을 검토하는 방법으로 CHAID 방법의 수정 방법이다. 이것은 다음에 소개하는 CRT 방법과 유사하나 지니지수 대신에 카이제곱검정을 사용하는 방법이다.

③ CRT(Classification and Regression Trees)

CRT 방법은 종trqustn에 대해서 가능한 한 많이 동질적인 그룹이 소하도록 노드를 구성하는 방법을 사용한다. 종속변수에 대해서 똑같은 값을 갖는 케이스로만 이루어진 최종노드를 순수노드(pure node)라고 한다. Breiman, Friedman, Olshen과 Stone(1984) 등은 CRT를 통하여 의사결정나무 규칙에 의한 나무모형의 성장, 최종모형의 선정을 위한 나무모형의 가지치기(puring) 등을 이론적으로 정립하였다. 이 방법은 좌우 2개 가지로만 분할되는 이진분할 방법을 이용한다. 각 노드에서의 분할 규칙은 데이터가 만들어 낼 수 있는 모든 가능한 분할 규칙 중 불순도(impurity)를 최소로 하는 것을 선택한다. 불순도 함수로는 지니(Gini)지수, 엔트로피(Entropy)지수, 편차(deviance)지수 등이 있다. CRT방법은 독립변수에 결측치가 존재하는 경우에 이 변수와 밀접한 관련성을 가지는 다른 독립변수를 이용하여 분류 작업에 이용한다. 이용되는 독립변수를 대체변수(surrogate)라고 한다.

④ QUEST(Quick, Unbiased, Efficient Statistical Tree)

QUET 방법은 CRT가 가지고 있는 변수 선택의 편의(bias)를 수정하기 위해 개발된 방법이다. Loh와 Shih(1997)에 의하여 제안되었다. CRT 방법은 변수 선택과 분할점 선택이 동시에 이루어지는데, QUEST 방법은 유의한 변수를 먼저 선택하고, 선택된 변수에 대해서 분할점을 선택한다. 연산 속도도 빠르고 예측 정확도도 우수한 방법으로 알려져 있다. CRT와 마찬가지로 각 노드에서 이분할법(binary split)만을 실시한다. 종속변수가 명목형(nominal)인 경우에만 이용된다. 결측치 처리 방법은 CRT와 같다.

나무모형이 계속 분할되어 지나치게 많은 노드와 가지를 가지게 되면 해석이 복잡해질 뿐만 아니라 새로운 자료에 적용시킬 때 좋은 분류 성능을 지니고 있지 않을 가능성이 커진다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 적

당한 크기의 나무모형을 결정하여야 한다. 이러한 방법으로는 가지치기 방법 또는 분할정지 방법이 이용된다.

① 분할정지 방법

분할정지 방법은 나무구조를 만들어 나갈 때, 각 단계마다 분할이 꼭 필요한지 아닌지 통계적 유의성을 이용하여 평가한다. 만약 분할이 필요하다면 계속 분할해나갔지만, 분할이 유의하게 필요하지 않으면 분할을 정지하고 그 때까지 구해진 나무모형을 최종모형으로 채택한다. 이 방법은 빠른 시간에 나무모형을 완성할 수 있다는 장점이 있지만, 다음에 설명하는 가지치기 방법보다는 예측정확도가 떨어지는 단점이 있다. CHAID 방법에서 사용하고 있는 방법이다.

② 가지치기(pruning) 방법

가지치기 방법은 먼저 큰 규모의 나무구조를 만든 후 불필요한 가지를 제거하는 방식이다. 이 방법은 나무구조를 만들어 갈 때 각 단계마다 분할의 유의성을 평가하지 않고 계속적으로 분할해나가도록 허용한다. 하지만 궁극적으로 하위노드에 속한 관찰치의 수가 아주 적을 때 분할을 멈추게 된다. 그 결과 잠정적으로 구해진 나무구조는 규모가 크게 될 것이다. 나무구조 중에는 불필요한 가지가 포함될 수 있다. 따라서 적절하지 않은 마디를 제거하여 적당한 크기의 나무구조를 가지는 나무모형을 최종적인 예측모형으로 선택하는 것이 바람직하다. 불순도와 최종노드의 수를 고려하여 적절한 크기의 나무구조를 찾는 방법을 사용하고 있으며, CART 방법과 QUEST 방법이 채택하고 있는 방법이다. 가지치기 방법은 분할정지 방법보다 더 우월한 나무구조를 찾아낼 수 있다는 장점이 있다. 반면에 가지치기 방법은 나무구조를 크게 만들고 나서 가지치기를 하여야 하는 방식이므로 연산이 오래 걸린다는 단점이 있다(박성현 등, 2011).

제 3 장 실험 및 방법

3.1 조사 대상 지점 선정

조사지점은 대표성, 접근성 및 모형에 활용성 및 기존의 수질과 유량 측정 지점 등을 고려하여 선정하였다. 기존의 수질과 유량 측정지점은 Fig. 3.1과 Table 3.1~3.2에 나타내었다.

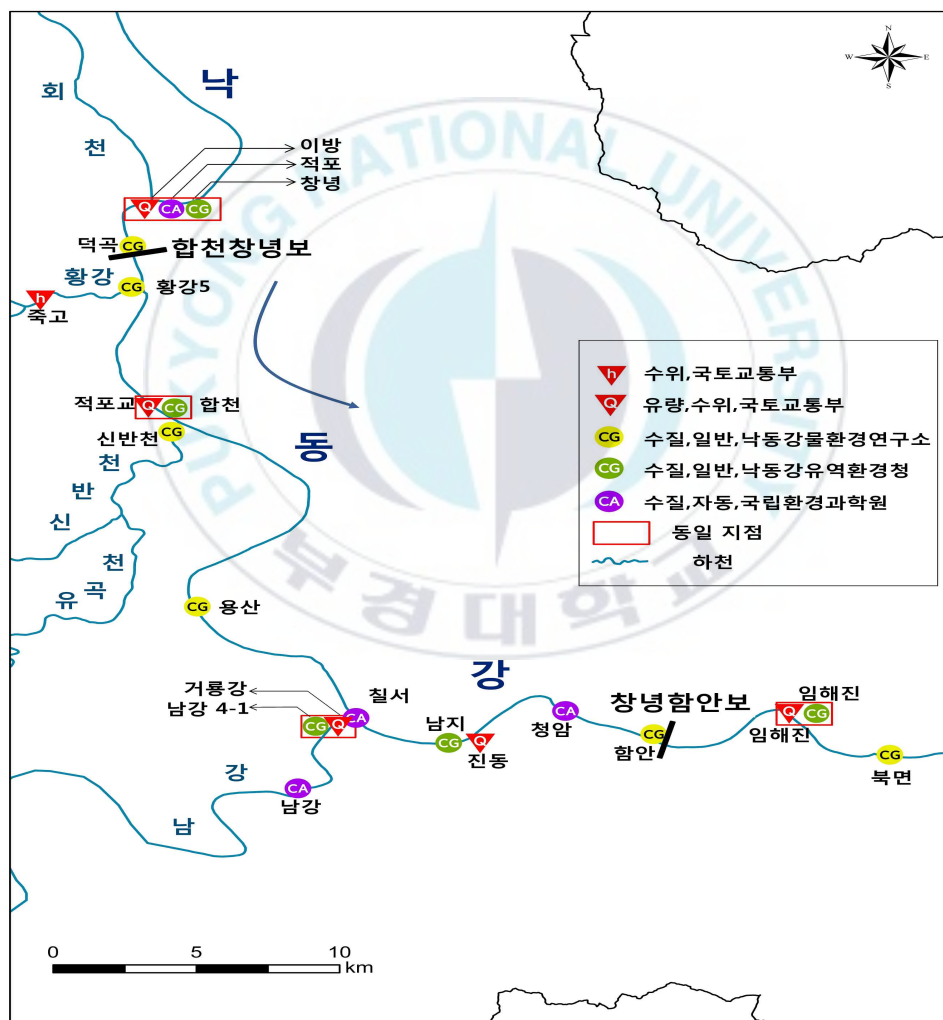


Fig. 3.1. Status of the measurement point water quality, discharge and water levels by the organizations.

Table 3.1. Measurement points of water quality and discharge on main river.

수 질 측 정 지 점	환경부 수질 측정 지점			국토교통부 유량 측정 지점			비고
	명 칭	채수 위치	기 관	명 칭	측정 위치	방 식	
	대암-1	우곡교	낙동강 물환경연구소				
울지교	창녕	울지교	낙동강 유역환경청	이방	울지교	자동유량 ADVM 부자수위	
	적포	울지교	국립환경과학 원				자동 측정
	덕곡	합천창녕보 상류 500 m	낙동강 물환경연구소				수질 예보제
	합천	적포교	낙동강 유역환경청	적포교	적포교	자동유량 ADVM 부자수위	
박진교	용산	박진교	낙동강 물환경연구소				
	칠서	남강 합류 후 1 km 하류	국립환경과학 원				자동 측정
	남지	남지교	낙동강 유역환경청				조류 정보제
				진동	진동양수장 옆	자동유량 ADVM 부자수위	
	청암	함안보 상류 3.5 km	국립환경과학 원				자동 측정
함안	함안	창녕함안보 상류 500 m	낙동강 물환경연구소				수질 예보제
임해진	임해진	임해진 나루	낙동강 유역환경청	임해진	청암취수장 옆	자동유량 ADVM 부자수위	

Table 3.2. Measurement points of water quality and discharge on influent.

하천명	수질 측정 지점	환경부 수질 측정 지점			국토교통부 유량 측정 지점			비고
		명칭	채수 위치	기관	명칭	측정 위치	방식	
황강					합천 (수자원공사)	경상남도 합천군 합천읍 합천리	ADCP 유속계 전자파	
		황강3	황강교	경상남도 보건환경 연구원	죽고	황강교	유속계	
	청덕교	황강5	청덕교	낙동강 물환경 연구소				
신반천		신반천	상포교	낙동강 물환경 연구소				
남강	송도교 (남강 4-1의 3.5 km 상류)	남강	송도교	국립환경 과학원				자동 측정
		남강 4-1	경상남도 함안군 대산면 장암리	낙동강 물환경 연구소	거룡강	경상남도 의령군 지정면 성산리	자동유량 ADVM	

상기 내용을 근거로 다음과 같이 조사지점을 선정하였다.

- 낙동강 본류 4개소: 을지교, 박진교, 함안, 임해진
- 지류 2개소: 청덕교(황강), 송도교(남강)

3.2 자료 수집 및 수질 특성 분석

3.2.1 자료 수집

조사기간은 2004년 1월부터 2015년 9월까지로 기상요인 자료는 연구 대상 구간내의 기상청 자동기상 관측소의 측정값을 기준으로 수집하였으며, 수질 항목은 환경부 물환경정보시스템의 자료를 수집하였다. 또한, 유량은 국가 수자원관리종합정보시스템(WAMIS)의 자료를 수집하였으며, 보 설치 전의 조류 발생 자료는 2002년, 2004년, 2006년 낙동강물환경연구소의 보고서 등을 참조하였다.

Table 3.3. Water quality parameters investigated in the study.

Parameters	Notation	Unit
유량(Discharge)	DC	mg/L
수온(Water Temperature)	WT	℃
수소이온농도(pH)	pH	
용존산소(Dissolved Oxygen)	DO	mg/L
전기전도도(Electric Conductivity)	EC	μmhos/cm
생물학적산소요구량 (Biochemical Oxygen Demand)	BOD	mg/L
화학적산소요구량 (Chemical Oxygen Demand)	COD	mg/L
부유물질(Suspended Solid)	SS	mg/L
총질소(Total Nitrogen)	T-N	mg/L
암모니아성질소(Ammonia nitrogen)	NH ₃	mg/L
질산성질소(Nitrate nitrogen)	NO ₃	mg/L
총인(Total Phosphorus)	T-P	mg/L
인산염인(Phosphate)	PO ₄	mg/L
클로로필-a(Chlorophyll-a)	Chl-a	mg/m ³
총유기탄소(Total Organic Carbon)	TOC	mg/L

3.2.2 수질 특성 분석

본 연구의 6개 모니터링 지점에 대한 수질조사는 2014년 7월부터 11월까지 측정된 결과를 사용하였으며 현장 측정 항목으로는 수온(WT), 전기전도도(EC), 수소이온농도(pH), 용존산소(DO)를 수질다항목측정기인 HORIBA로 측정하였다. 일반 수질 항목으로는 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 암모니아성질소(NH₃-N), 총인(T-P), 인산염인(PO₄-P), 클로로필-a(Chl-a), 총유기탄소(TOC), 용존실리카(d-silica), 총실리카(t-silica)로 10개 항목을 분석하였다.

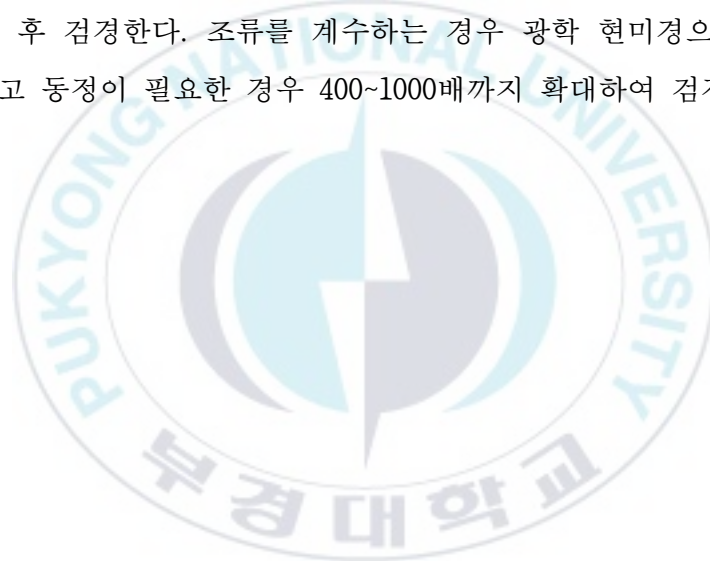
실험방법은 수질오염공정시험기준의 수질채수방법에 따라 각 지점별 대표성 확보를 위하여 하천의 횡단 방향으로 하천 중앙과 좌우 수면 폭을 2등분한 지점 (총 3개 지점)의 시료를 채취하여, 혼합시료로 하였으며, 하천의 수심이 4 m 이상인 경우 표층수와 중층수 (3 m)를 채수하여 시료 보존기간 안에 신속히 분석하였으며, 현장 측정 항목의 경우에는 현장에서 HORIBA 수질다항목측정기를 이용하여 바로 측정하여 기록하고, 채수된 시료는 폴리에틸렌용기에 담아 아이스박스에 아이스팩과 함께 보관하여 연구실까지 운반하였다.

부유물질(SS)는 미리 무게를 단 유리섬유여과지(GF/C)를 여과장치에 부착하여 일정량의 시료를 여과시킨 다음 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과 전 후의 유리섬유 여과지의 무게차를 산출하여 부유물질의 양을 구하였다. 클로로필-a(Chl-a)는 흡광광도법으로 아세톤(9+1) 용액을 이용하여 일정량의 시료를 여과한 후 여과지로부터 클로로필 색소를 추출하고, 시료를 마개 있는 원심분리관에 넣고 밀봉하여 4 °C 어두운 곳에서 하룻밤 방치한 후 추출액의 흡광도를 663, 645, 630 및 750 nm에서 측정하여 클로로필-a의 양을 계산하였다. 총질소는 자외선/가시선 분광-산화법을 사용하였으며 전처리 한 시료의 상징액을 취하여 유리섬유 여지로 여과한 후 처음 여액 5~10 mL 비이커로 옮겼다. 여기에 염산(1+16) 5 mL를 넣어 pH 2~3으로 하고 이 용액의 일부를 증장

10 mm 흡수셀에 옮겨 220 nm에서 시료용액의 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로부터 총질소의 양을 구하여 시료중의 총질소의 농도를 산출하였다. 총인(T-P)은 자외선/가시선 분광-산화법을 사용하였으며, 시료 50mL를 분해병에 넣고 과황산칼륨용액(4 W/V%) 10 mL를 넣어 마개를 닫고 섞은 다음 고압증기멸균기에 넣고 120 ℃로 30분간 가열분해 한 후 방냉하여 전처리를 하였다. 전처리한 시료의 상등액 25 mL를 취하여 마개있는 시험관에 넣고 몰리브덴산암모늄, 아스코르빈산 혼합액 2 mL를 넣고 섞은 다음 15분간 방냉하여 일부를 증장 10 mm 흡수셀에 옮겨 880 nm에서 시료용액의 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로부터 총인의 양을 구하여 시료중의 총인의 농도를 산출하였다. 화학적 산소요구량(COD)은 산성 과망간산칼륨법을 사용하여 시료를 황산산성으로 하여 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 30분간 수욕상에서 가열반응 시킨 다음 과망간산칼륨으로 적정하여 소비된 과망간산칼륨량으로부터 이에 상당하는 산소의 양을 측정하여 농도를 구하였다. 총유기탄소(TOC)는 TOC장비(Agilent TOC-L)을 사용하여 연소산화방식으로 시료를 분석하였다. 총실리카(t-silica)는 항온수조에 120 ℃에서 1시간동안 가열분해 한 후 방냉하여 전처리를 한 다음, 염산 1 mL, 암모늄몰리브덴산 2 mL, 옥살산 2 mL를 넣고 5~10분간 방치하여 410 nm에서 시료용액의 흡광도를 측정한다. 미리 작성한 검량선으로부터 실리카의 양을 구하여 시료중의 총실리카의 농도를 산출하였다. 용존실리카(d-silica)는 유리섬유여과지(GF/C)를 여과장치에 걸러진 시료에 총실리카 분석법과 같은 발색시약을 넣어 410 nm에서 시료용액의 흡광도를 측정하였다.

3.2.3 조류 특성 분석

조류 식별 및 계수를 위해 표층수 및 중층수를 채수한(한 정점에서 횡단면을 기준으로 양쪽 두 포인트 지점 총 3개) 샘플을 혼합하여, 3 L 용량의 반돈 채수기를 이용하여 채수하여 냉장한 후 실험실에서 Lugol solution으로 최종 1 % 되게 첨가하여 고정한 후 냉장 보관하여 실험실에서 검경한다. 조류 계수를 위해서 SR 챔버 또는 혈구 계수기를 이용한다. 조류량이 많은 경우 1 mL 전체를 검경하여 계수하고 희박한 경우 자연침강법으로 가라앉힌 후 상등액을 제거하여 농축한 다음 계수하는데 계체수가 계수면적당 10~40 정도가 되도록 계수를 맞춘 후 검경한다. 조류를 계수하는 경우 광학 현미경으로 100~200배율로 검경하고 동정이 필요한 경우 400~1000배까지 확대하여 검경한다.



3.3 통계 분석 방법

본 연구에서는 모니터링을 통해 수집된 결과와 물환경정보시스템에서 2013년 6월부터 2015년 9월까지 보 건설 이후의 2년간 자료를 수집하여 상관분석과 회귀분석, 요인분석을 통계분석 프로그램인 SPSS(ver. 18.0)를 통해 분석하였다. 주성분 및 요인분석을 실행하여 조사대상구간의 수질변동 특성을 파악하고자 하였다. 다변량 분석의 여러 가지 기법 중에서도 가장 기본이 되는 분석 방법으로서 변수 간에 상관성을 갖는 여러 종류의 특성치들의 정보를 큰 손실 없이 요약 표현이 가능하며, 상호 유관한 특성치들의 변화 양상으로부터 이들 속에 내재하고 있는 상호 독립적인 고유의 패턴을 도출할 수 있다. 또한 다변량으로 구성되는 데이터로부터 소수의 특징적인 변량을 합성하여 주성분을 산출하고, 차원이 축소되어 데이터 분석이 용이해진 주성분을 사용하여 전체 다변량 데이터의 경향을 분석하게 된다.

고유치(Eigen Value)를 기준으로 실시하였다. 고유치는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산 크기를 나타내는 것으로 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분석을 설명해 준다는 것을 의미하며, 고유치가 1보다 작다는 것은 1개의 요인이 변수 1개의 분산도를 설명해 줄 수 없다는 것을 의미하므로 주요인을 추출하기 위해서는 통상 고유치가 1이상을 기준으로 결정한다. 또한 변수들이 여러 요인에 대하여 비슷한 요인부하량(Factor Loading)을 나타낼 경우에 변수들이 어느 요인에 속하는지 분별하기가 어렵다. 따라서 변수들의 요인부하량이 어느 한 요인에 높게 나타나도록 하기 위한 방법인 Varimax 방식을 이용하여 주요 요인을 판별하였다.

제 4 장 결과 및 고찰

4.1 낙동강 수계의 수질특성 분석

4.1.1 기상 요인 분석

창녕함안보 구간 기상요인 분석을 위해 일 단위 평균 강수량, 평균 기온의 기상청자료를 수집하였다. 연구 대상 구간 내의 기상청 자동기상 관측소 위치도(Fig. 4.1)를 보고 청덕, 도천, 길곡 지점을 선정하였다. 세 지점의 조사 기간(2014년 7월 16일~11월 5일)동안 일평균 기온과 일평균 강수량을 각각 조사하여 평균 내어 하나의 그래프로 나타내었다(Fig. 4.2). 조사 기간 중 일평균 최대기온은 7월 31일 28.9 °C로 가장 높았으며, 8월은 한 달간 평균 23.9 °C으로 20 °C 이상을 유지하였다. 그 이후 점차 감소하여 11월 4일 7.1 °C로 조사 기간 중 최저의 일평균 최대기온을 기록하였다. 한편, 일평균 강수량은 8월 3일 73.17 mm로 많은 비가 내리고 8월 중순부터 장마기로 접어들어 8월 25일 91.5 mm로 가장 많은 비가 내렸다. 이 후 간헐적인 강우가 오다가 9월 24일에 63.17 mm로 많은 양의 가을비가 내렸다.

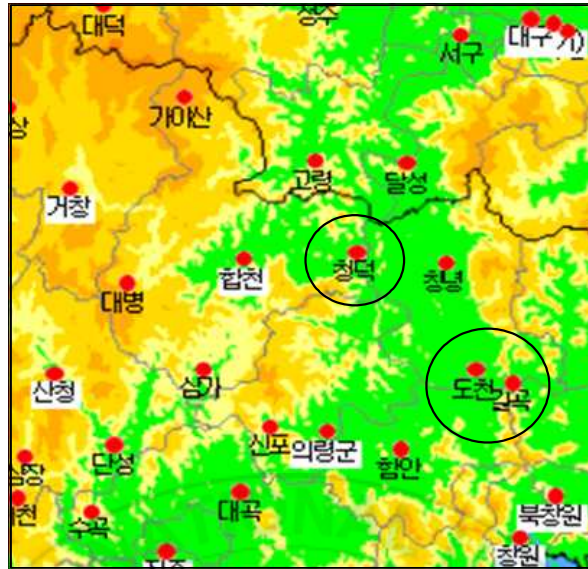


Fig. 4.1. The location of automatic weather station in monitoring sites.

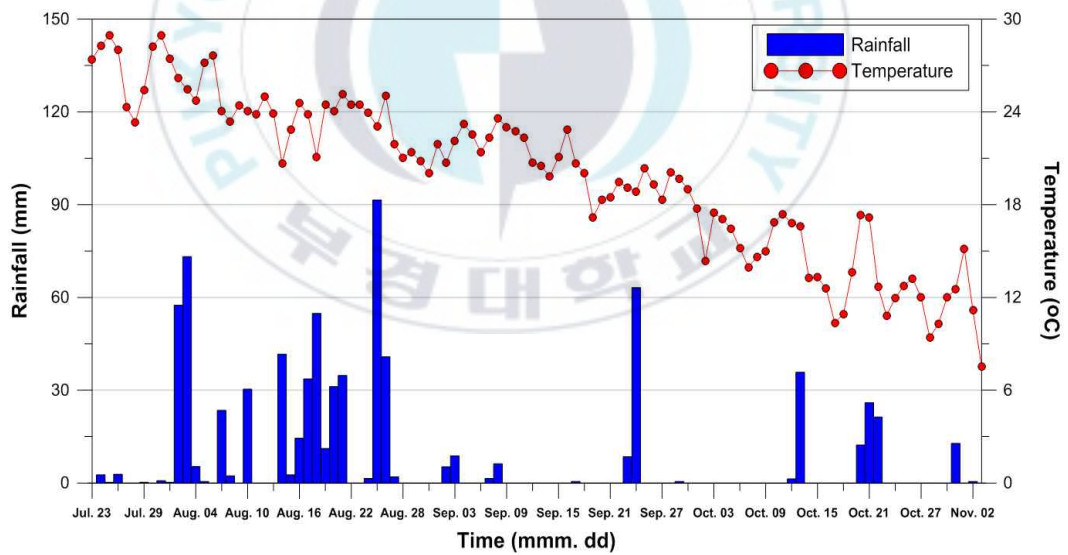


Fig. 4.2. Daily average value of rainfall and temperature in monitoring sites.

4.1.2 현장 측정 항목

낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성을 알아보기 위하여 먼저 각 지점별 현장 측정 항목의 특성치를 Fig. 4.3에 나타내었다. 창녕함안보 구간의 전체 지점에 대한 수질 농도를 살펴보면 수온은 겨울철 최저온도 2.4 °C를 나타내고 여름철 최고온도 31.8 °C를 나타내어 연평균 16.7 °C로 수심이 얕은 지류보다 본류에서 약간 높게 나타났지만 그 수준은 유사하다고 볼 수 있다. pH의 경우는 6.7~9.5의 범위에서 연평균 8.1로 PJ지점에서 8.3으로 가장 높게 나타났으며, DO의 경우에도 5.1~16.8 mg/L의 범위에서 연평균 11.0 mg/L로 PJ지점에서 12.0 mg/L로 가장 높게 나타났다. 전기전도도의 경우 61~656 μ mhos/cm의 범위에서 연평균 293.7 μ mhos/cm로 지류에 속하는 CD 지점과 SD 지점보다는 본류에 속하는 YJ 지점과 PJ 지점, HA 지점, IH 지점에서 높은 것으로 확연한 차이가 나타났다.

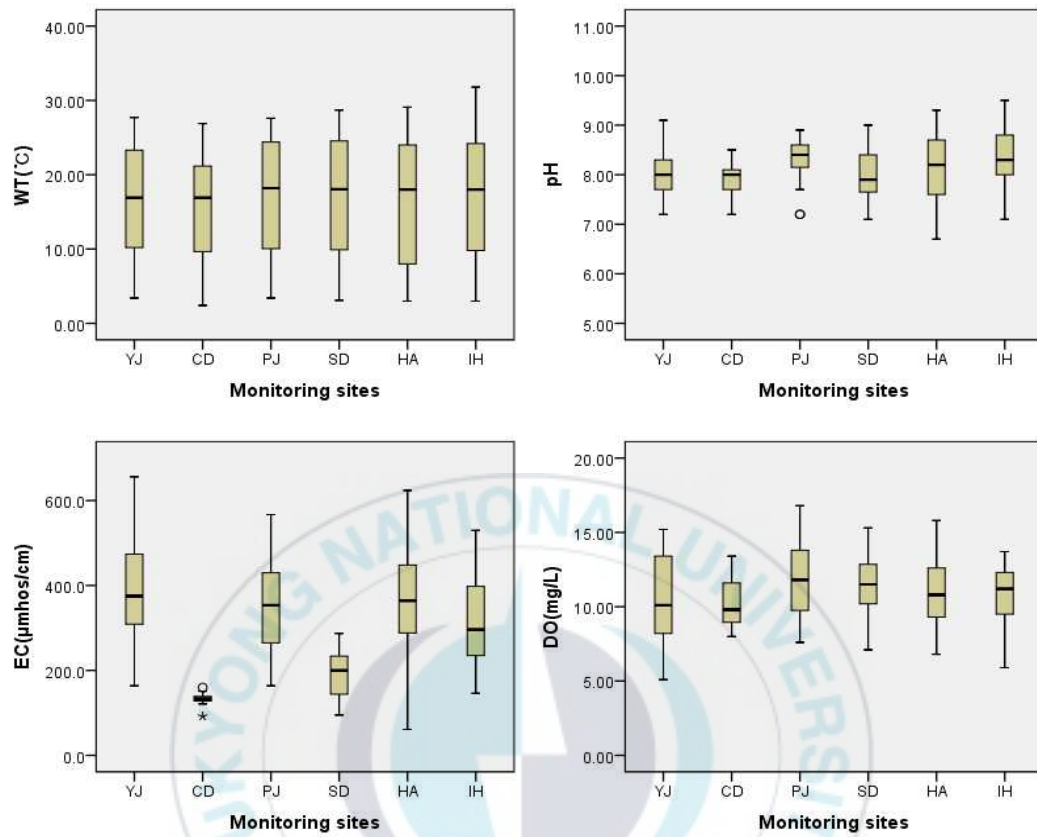


Fig. 4.3. Box plot of measurement on site water quality parameters in Changnyeong–Haman weir section.

4.1.3 일반 수질 항목

낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성을 알아보기 위하여 각 지점별 일반 수질 항목의 특성치를 Fig. 4.4에 나타내었다. COD의 농도 범위는 2.5~9.1 mg/L, 평균 5.5 mg/L로 CD지점을 제외한 모든 지점에서 하천 생활환경기준 III등급(보통)으로 조사되었으며 특히, YJ 지점과 PJ 지점에서 각각 6.8 mg/L과 6.7 mg/L로 높게 나타났다. SS의 농도 범위는 2.0~100.6 mg/L, 평균 11.2 mg/L로 강우에 영향을 받아 편차가 크게 나타난 것으로 판단되며, T-N의 경우 농도 범위는 1.097~5.964 mg/L, 평균 2.894 mg/L로 나타났고, TOC의 경우 농도 범위는 1.4~5.7 mg/L, 평균 3.2 mg/L로 나타났다. Chl-a의 경우 농도 범위는 1.1~111.2 mg/m³, 평균 23.5 mg/m³로 나타났으며, T-P의 경우 농도 범위는 0.012~0.250 mg/L, 평균 0.054 mg/L로 CD지점을 제외한 모든 지점에서 II등급(약간 좋음)에 해당하는 수준을 나타내었다. 전반적으로 YJ 지점과 PJ 지점에서 COD, T-N, TOC의 수질 항목에 대한 농도가 다른 지점에 비해 높게 나타났는데 이러한 이유는 지점별 특성으로서 YJ의 경우 합천보 상류에 위치하여 유속이 상당히 느려지는 구간의 특성을 가지고, PJ지점은 지류들이 본류로 유입되고 축산 농가 등이 하천 인근에 위치하는 특성을 가진다. 또한, SD지점의 경우에는 T-P와 Chl-a의 수질 항목에 대한 농도가 다른 지점에 비해 높게 나타났는데, 이는 축산 농가 등이 하천 인근에 위치하는 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 이에 낙동강 창녕함안보 구간의 효율적인 수질관리를 위해서는 본류로 유입되는 지류에 대한 집중관리가 선행되어야 할 것으로 보인다.

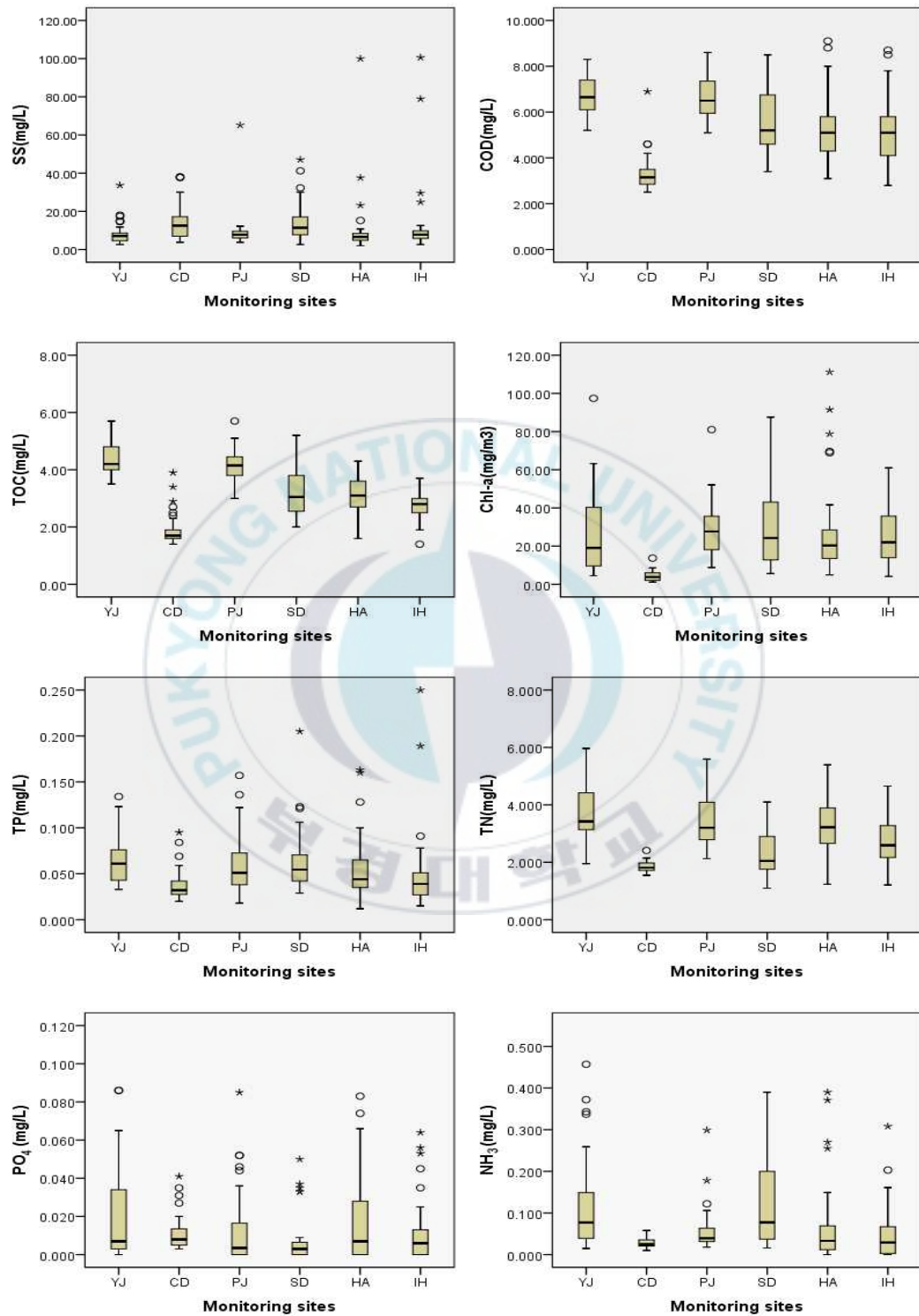


Fig. 4.4. Box plot of general water quality parameters in Changnyeong–Haman weir section.

4.1.4 조사 시기별 개체 수

Fig. 4.5는 창녕함안보 구간에서 채수해 온 시료를 실제 검경하여 관찰된 조류이다. Fig. 4.6~4.8는 조사 시기별(2014년 7월~11월) 남조류, 규조류, 녹조류 개체수를 각 지점별로 나타낸 그래프이다. 전반적으로 조류의 개체 수는 CD 지점에서 다른 지점에 비해 낮게 나타났으며, SD 지점에서 높게 나타났다. 또한, CD 지점을 제외한 지점에서 여름철에는 남조류, 가을에는 규조류가 우점하는 경향으로 보여져 일반적인 하천에서의 식물플랑크톤 종구성의 변화와 낙동강 중·하류에서의 식물플랑크톤 종들의 변화가 대체로 일치하였다(Hutchinson, 1967, Fogg, 1975, Park et al., 2005). 이는 조류 군집변화에 수온 변화는 가장 큰 영향요인으로, 규조류는 거의 모든 온도범위에서 출현하고 있지만 남조류보다 저온에서 경쟁력이 강하게 나타난다(유재정 등, 2014). 반면에 남조류는 일반적으로 겨울에는 광화학적으로 생존 가능한 하상 표면에 존재하다가 바람 등 교란에 의해 수동적으로 수체에 이동하여 대량증식의 원인이 되는 것으로 알려져 있다(Yuhong et al., 2013). 또한, 조사 구간의 상류인 YJ 지점을 제외하고 전반적으로 총 개체 수가 10월 6일에 비해 10월 17일 확연히 증가함을 보였다. 낙동강 중·상류에 피었던 조류들이 10월 13일 창녕함안보 구간에 약 36 mm 강우로 인해 하류로 흘러 내려와 영향을 받았던 것으로 판단된다(Fig. 4.2 참조).

각 지점별 조사 시기별 조류의 우점종을 알아보면, YJ 지점에서는 9월 22일 조류 발생이 급격하게 증가하여 총 개체 수가 23,743 cells/mL를 나타내었으며, 그 중 규조류가 15,626 cells/mL로 우점하는 것으로 나타났다. 한편 PJ 지점과 SD 지점에서는 9월 15일 조류 발생이 급격히 증가하여 총 개체 수가 각각 9,433 cells/mL와 33,603 cells/mL를 나타내었다. 우점종은 PJ 지점에서는 남조류, SD 지점에서는 규조류이며, 총 개체 수의 비율은 각 95%, 91%를 차지하였다. 8월 26일 조사 지점에서 약 40 mm 가량의 많은 비가 내리고, 그 후 비

가 많이 오지 않은 갈수기로 접어들었으며, 일평균기온이 20 ℃ 이상을 유지하여 충분히 조류가 성장할 수 있는 조건이 형성되었다고 판단된다(Fig. 4.2 참조). CD 지점에서는 8월 13일과 9월 15일에 남조류가 총 개체 수의 93%, 99%를 차지하여 우점하고 있었으며, 10월 17일에 총 개체 수가 3,562 cells/mL로 증가하여 남조류가 총 개체 수의 72%를 차지하여 우점하였다. HA 지점에서는 10월 17일과 27일의 총 개체 수가 각각 6,258 cells/mL과 6,329 cells/mL 으로 나타났으며, 10월 17일에는 남조류가 3,006 cells/mL를 나타내어 총 개체 수의 46%를 차지하였고, 10월 27일에는 규조류가 3,381 cells/mL를 나타내어 총 개체 수의 53%를 차지하여 우점하였다.

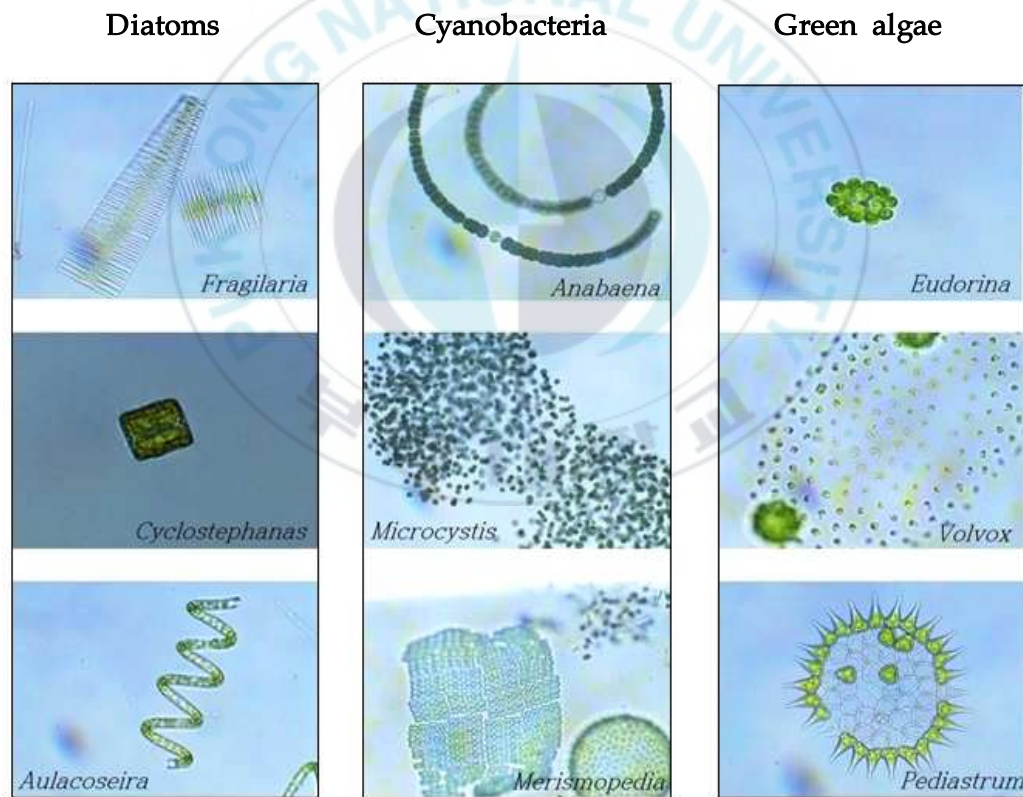


Fig. 4.5. Microscopic inspection in the study.

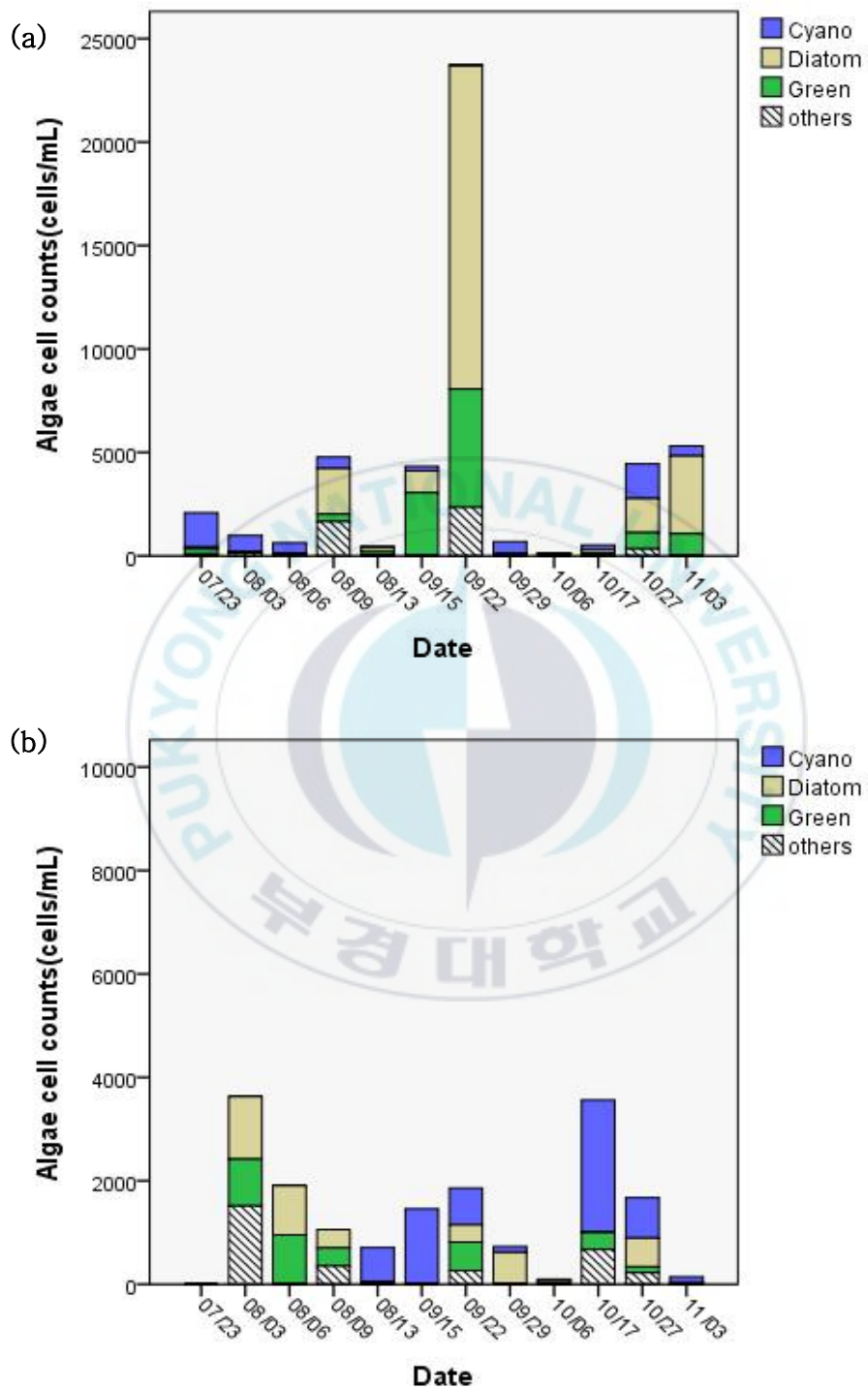


Fig. 4.6. Algae cell counts on the certain sampling time (a) YJ (b) CD site.

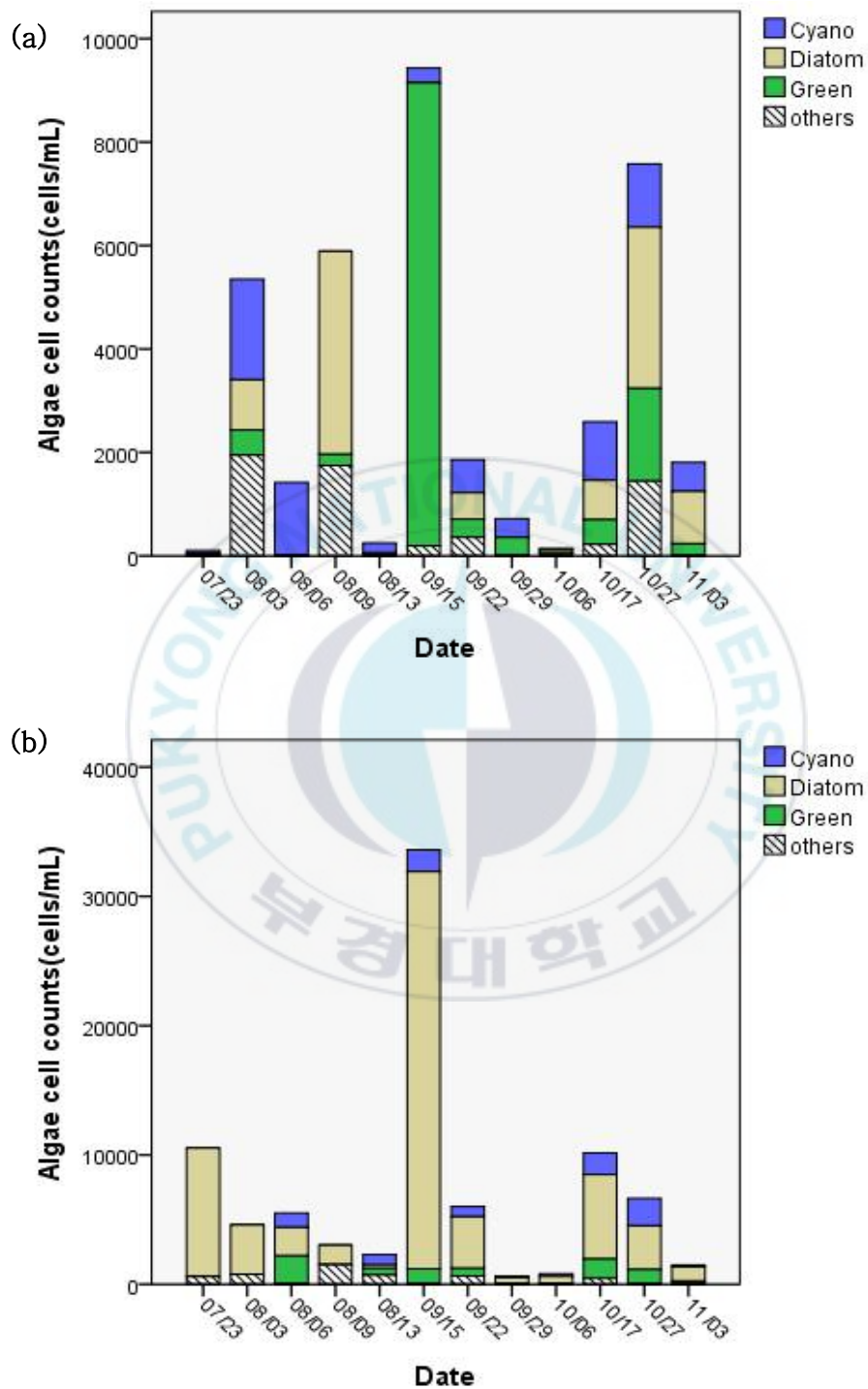


Fig. 4.7. Algae cell counts on the certain sampling time (a) PJ (b) SD site.

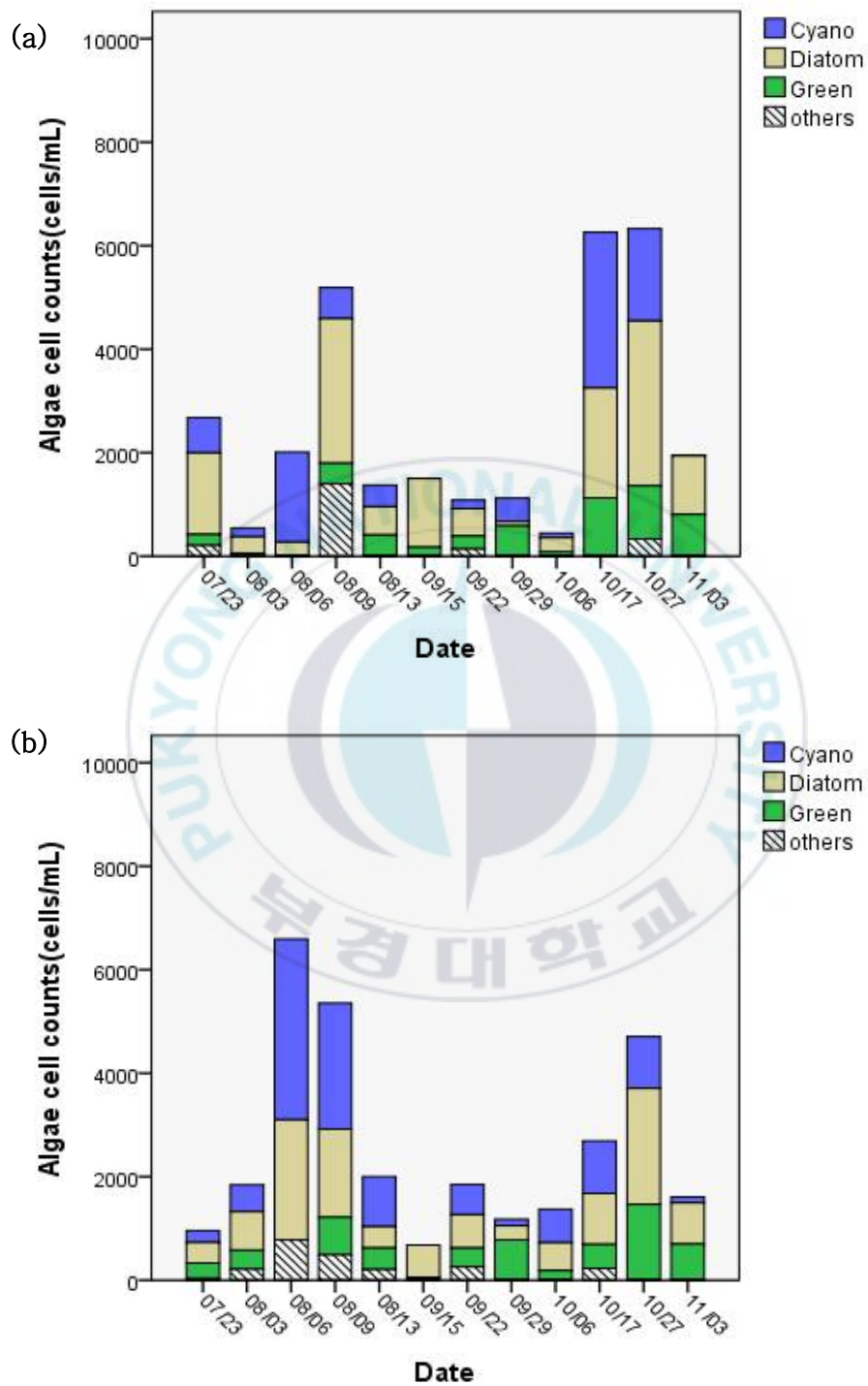


Fig. 4.8. Algae cell counts on the certain sampling time (a) HA (b) IH site.

4.2 항목별 통계적 분석

4.2.1 수질항목별 상관성 분석

6개의 대상조사지점의 수질의 상관분석을 위해 보 설치 후 2013년 6월부터 2015년 9월의 2년간의 자료로 각 수질항목별로 분석한 결과를 Table 4.1 ~ 4.6에 나타내었다. 6개 모든 지점에서 용존산소와 수온의 관계는 높은 음의 상관성($p < 0.01$)으로, 이는 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 전형적인 경향을 보였다. 또한, 유량과 부유물질의 관계는 높은 양의 상관성($p < 0.01$)으로 유량증가에 따른 부유물질 유입과 관련이 있는 경향을 보였다. 그리고 총인과 부유물질은 강우 시 유출수와 함께 유사한 유출 특성을 갖는 항목으로 상관성이 높게 나타났다(박수진, 2012).

전기전도도와 T-N에 대해 강한 양의 상관성을 보였으며, 이는 질소계열 오염물질이 포함되는 비료와 축산오수, 생활하수를 통해 염류의 유입에 대한 영향이 크게 나타나는 것으로 판단된다. 또한, 유기물 간접지표인 BOD와 COD, TOC는 서로 강한 양의 상관성을 보였으며, T-P와 COD, SS, TOC에 대한 상관성이 강하여 유기물질과 인계열의 오염물질에 대한 상관성을 보였다. 그리고 T-P와 PO_4 -P는 높은 양의 상관성($p < 0.01$)을 보였으며, 청덕교 지점을 제외한 나머지 5개의 지점에서는 T-N과 NO_3 -N의 관계가 높은 양의 상관성($p < 0.01$)을 보였다.

또한 T-P와 Chl-a에 대한 상관계수는 YJ 지점과 IH 지점을 제외하고 유의한 양의 상관성을 보였으며, PO_4 -P와 NH_3 -N 농도가 다른 영양염류와는 달리 Chl-a 농도와 음의 상관성을 보였다. 이는 인산염인과 암모니아성질소는 식물이 쉽게 이용할 수 있는 형태로서 식물플랑크톤 등 수중 식물의 증가에 따라 식물체내로 쉽게 변환이 이루어지기 때문이다(Kappers, 1980; 김 등, 2002).

Table 4.1. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in YJ site.

	DC	WT	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
DC	1	.338*	-.396**	-.308*	-.436**	-.200	.398**	.660**	-.277	.123	-.233	.626**	.637**	-.170	.050
WT		1	-.010	-.818**	-.602**	-.044	.338**	.232*	-.811**	.120	-.798**	.538**	.388**	-.124	.330**
pH			1	.325**	.012	.397**	.243*	-.144	-.154	-.380**	-.152	-.260**	-.595**	.524**	.163
DO				1	.425**	.296**	-.019	-.158	.729**	-.388**	.701**	-.424**	-.411**	.476**	-.037
EC					1	.160	-.078	-.315**	.710**	.017	.704**	-.534**	-.546**	.064	-.089
BOD						1	.543**	.105	.203	-.128	.108	.051	-.221	.560**	.529**
COD							1	.390**	-.083	-.198*	-.089	.394**	.214	.466**	.744**
SS								1	-.117	.108	-.102	.648**	.426**	.190	.254*
T-N									1	-.101	.925**	-.328**	-.182	.168	-.046
NH ₃ -N										1	-.185	.103	.145	-.424**	-.037
NO ₃ -N											1	-.341**	-.159	.164	-.073
T-P												1	.803**	.052	.391**
PO ₄ -P													1	-.291**	.212
Chl-a														1	.325**
TOC															1

Table 4.2. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in CD site.

	DC	WT	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
DC	1	.247*	-.202	-.271*	-.301**	.127	.738**	.455**	-.161	.432**	.077	.616**	.464**	-.128	.687**
WT		1	.197	-.879**	-.120	.124	.229*	.051	-.163	.250*	-.084	.383**	.540**	.083	.365**
pH			1	-.031	.001	.114	-.152	-.066	-.136	-.073	-.099	-.110	-.107	.169	-.139
DO				1	.065	-.047	-.250*	-.044	.051	-.323**	-.091	-.415**	-.547**	-.023	-.422**
EC					1	-.026	-.201	-.214	.296**	-.073	.174	-.052	.024	-.017	-.089
BOD						1	.304**	.290**	-.117	.059	-.140	.117	.077	.383**	.210
COD							1	.688**	-.096	.501**	.081	.791**	.574**	.281*	.811**
SS								1	-.081	.203	-.066	.560**	.141	.346**	.462**
T-N									1	.149	.595**	.125	.079	.053	.057
NH ₃ -N										1	.242*	.582**	.567**	.160	.567**
NO ₃ -N											1	.211	.148	-.054	.133
T-P												1	.780**	.244*	.837**
PO ₄ -P													1	.081	.763**
Chl-a														1	.151
TOC															1

Table 4.3. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in PJ site.

	DC	WT	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
DC	1	.208	-.204	-.235*	-.187	.060	.159	.865**	-.117	.338**	-.252*	.417**	.351**	-.056	-.008
WT		1	-.237*	-.712**	-.508**	.355**	.470**	.256*	-.506**	.187	-.615**	.604**	.471**	.272*	.271*
pH			1	.685	-.018	.161	.078	-.172	-.241	-.389**	-.209	-.246*	-.484**	.143	.078
DO				1	.281*	-.019	-.141	-.255*	.092	-.379	.148	-.463	-.492	-.073	-.054
EC					1	-.083	-.159	-.178	.719**	-.022	.689**	-.523**	-.558**	-.080	.008
BOD						1	.826**	.290**	.004	-.271*	-.189	.480**	-.013	.610**	.731**
COD							1	.447**	-.035	-.142	-.255*	.691**	.196	.676**	.890**
SS								1	-.043	.155	-.233*	.603**	.298	.320**	.319**
T-N									1	-.070	.935**	-.193	-.230	.000	.180
NH ₃ -N										1	-.119	.092	.214	-.344**	-.195
NO ₃ -N											1	-.360**	-.230	-.143	-.023
T-P												1	.692**	.437**	.558**
PO ₄ -P													1	-.164	.039
Chl-a														1	.677**
TOC															1

Table 4.4. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in SD site.

	DC	WT	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
DC	1	.254*	-.291**	-.221	-.486**	-.134	.130	.550**	-.156	-.168	-.097	.476**	.819**	-.178	.017
WT		1	-.348**	-.435**	-.715**	.392**	.610**	.347**	-.814**	-.622**	-.828**	.480**	.211	.635**	.451**
pH			1	-.032	.421**	.111	.036	-.109	.288**	.325**	.219*	-.162	-.317**	.009	.151
DO				1	.325**	.238*	.031	-.145	.237*	-.044	.152	-.140	-.202*	.064	.097
EC					1	-.062	-.222*	-.415**	.786**	.705**	.711**	-.309**	-.307**	-.271**	-.039
BOD						1	.841**	.263**	-.259**	-.280**	-.445**	.513**	-.102	.785**	.795**
COD							1	.527**	-.433**	-.410**	-.567**	.742**	.164	.808**	.893**
SS								1	-.258	-.285**	-.264**	.738**	.556**	.221*	.374**
T-N									1	.805**	.935**	-.261**	-.022	-.523**	-.286**
NH ₃ -N										1	.766**	-.268**	-.083	-.451**	-.285**
NO ₃ -N											1	-.336**	.029	-.663**	-.432**
T-P												1	.611**	.393**	.665**
PO ₄ -P													1	-.216*	.095
Chl-a														1	.719**
TOC															1

Table 4.5. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in HA site.

	DC	WT	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
DC	1	.752**	-.262**	-.247*	-.483**	.111	.528**	.618**	-.433**	-.011	-.415**	.556**	.454**	.140	.245*
WT		1	-.033	-.326**	-.424**	.250**	.443**	.222*	-.591**	-.070	-.627**	.428**	.320**	.214*	.328**
pH			1	.351**	.146	.267**	.130	-.161	-.111	-.300**	-.118	-.250**	-.334**	.299**	-.019
DO				1	-.115	.150	.126	-.142	-.175	-.102	-.160	-.202*	-.236*	.155	-.171
EC					1	.038	-.192*	-.184	.576**	.165	.449**	-.387**	-.329**	-.100	-.226*
BOD						1	.601**	.278**	.041	-.026	-.141	.354**	.119	.846**	.031
COD							1	.451**	-.202*	-.058	-.249**	.493**	.354**	.500**	.187
SS								1	-.023	.006	-.088	.525**	.320**	.223*	.107
T-N									1	.200*	.883**	-.043	-.027	-.036	-.107
NH ₃ -N										1	.127	.199	.302**	-.127	.031
NO ₃ -N											1	-.093*	-.058	-.107	-.156
T-P												1	.833**	.289**	.398**
PO ₄ -P													1	.099	.275**
Chl-a														1	.012
TOC															1

Table 4.6. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters in IH site.

	DC	WT	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	Chl-a	TOC
DC	1	.208	-.322**	-.420**	-.348**	.057	.507**	.871**	-.073	.101	-.139	.788**	.622**	-.038	.357**
WT		1	.067	-.687**	-.601**	.345**	.479**	.181	-.778**	-.193	-.752**	.341**	.346**	.296**	.450**
pH			1	.328**	-.021	.242*	-.002	-.281**	-.121	-.295**	-.098	-.325**	-.343**	.296**	.071
DO				1	.317**	-.158	-.361**	-.368**	.478**	-.057	.478**	-.464**	-.488**	-.026	-.315**
EC					1	.107	-.357**	-.324**	.745**	.237*	.655**	-.447**	-.454**	-.258**	-.282**
BOD						1	.343**	.099	-.053	-.231*	-.093	.138	-.070	.474**	.276**
COD							1	.497**	-.280**	-.118	-.283**	.508**	.367**	.305**	.483**
SS								1	-.032	-.069	-.069	.882**	.586**	.069	.343**
T-N									1	.194	.902**	-.162	-.199*	-.225*	-.245*
NH ₃ -N										1	.117	-.086	.206*	-.457**	.028
NO ₃ -N											1	-.124	-.180	-.117	-.255**
T-P												1	.744**	.165	.416**
PO ₄ -P													1	-.085	.475**
Chl-a														1	.153
TOC															1

4.2.2 수질인자와 조류와의 상관성 분석

창녕함안보 구간의 수질과 조류항목 상관분석을 위해 조사지점 대상으로 모니터링한 자료를 이용하여 분석한 결과를 Table 4.7에 나타내었다. t-silica와 d-silica의 상관성은 매우 강하게 나타났으며, 규조류와 d-silica의 상관성은 $(-)0.466(p<0.01)$ 으로 음의 상관관계로 나타났다. Wang(2013) 연구에서도 d-silica와 규조류의 관계에서 $(-)0.471(p<0.001)$ 로 음의 상관관계를 나타내었다. 이는 규조류가 d-silica를 짧은 시간에 소모하기 때문에 d-silica의 농도가 감소하는 것으로 추정된다.(Fig. 4.9) 그리고 Smith(1985) 등은 N/P ratio에 따라 질소 고정 남조류의 우점이 결정된다고 보고한 바가 있다. 전 세계적으로 대표적인 17 곳의 호수에서 나타난 남조류 개체수와 총질소와 총인의 농도 비율을 비교한 결과, N/P ratio가 29 이하로 낮아질 때 남조류 개체수가 증가하고, 29 이상으로 증가할 때 감소한다는 연구 결과를 나타내었다(Smith, 1983, Liqiang et al., 2003, Kim et al, 2014). 본 연구 결과에서는 N/P ratio가 26 이하인 구간에서는 N/P ratio가 감소할수록 남조류 개체수가 감소하고, 26 이상인 구간에서는 N/P ratio가 증가할수록 남조류 개체수가 감소한 것으로 나타났다.(Fig. 4.10). 그리고 Chl-a와 남조류, 규조류, 녹조류의 상관계수가 각각 $(-)0.050, 0.232, 0.278$ 로 거의 상관성이 없는 것으로 나타났으며, 식물성플랑크톤과 Chl-a의 상관관계가 $0.2(p<0.05)$ 로 상관성이 거의 없다는 다른 연구 결과와도 일치하였다(손희중, 2013).

Table 4.7. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters and algae.

	NP ratio	d-silica	t-silica	Chl-a	Cyano	Diatoms	Green
NP ratio	1	.119	.093	-.115	-.287*	-.008	.144
d-silica		1	.928**	-.412**	-.386**	-.466**	-.146
t-silica			1	-.315*	-.404**	-.447**	-.077
Chl-a				1	-.050	.232	.278*
Cyano					1	.120	.208
Diatoms						1	.191
Green							1

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

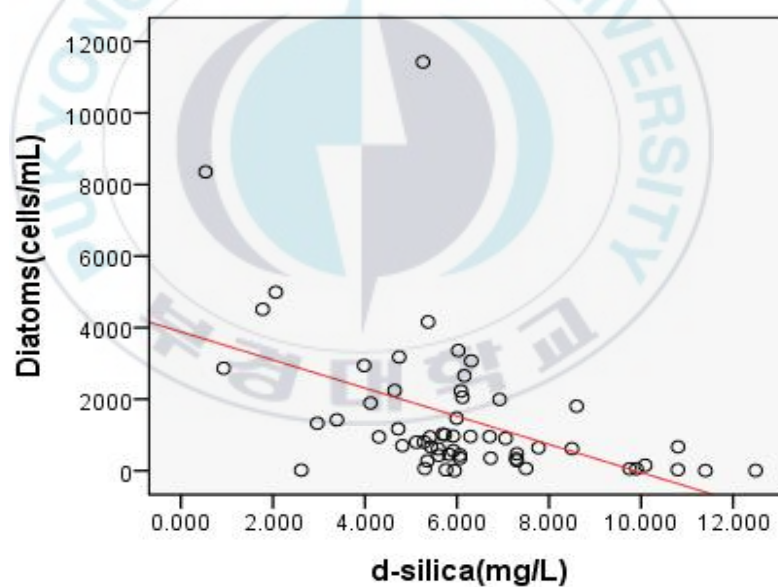


Fig. 4.9. Relationship between Diatoms and d-silica concentration in monitoring sites.

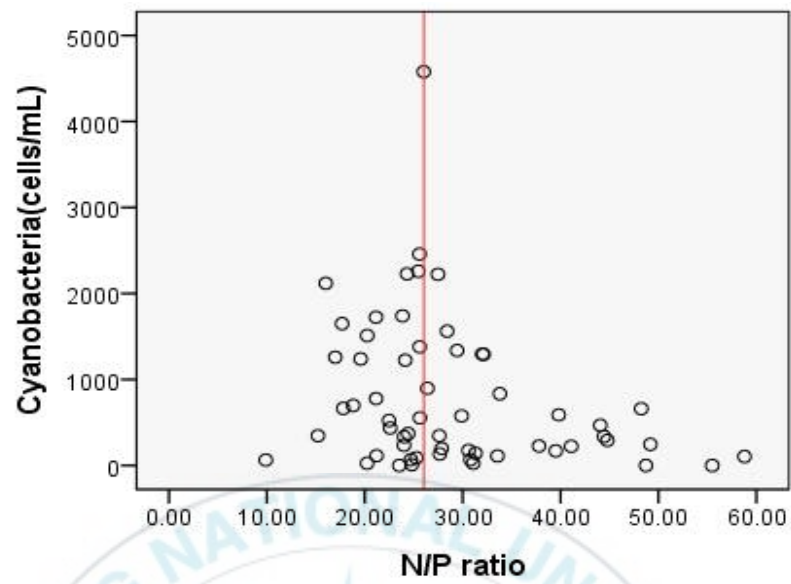


Fig. 4.10. Relationship between Cyanobacteria concentration and N/P ratio in monitoring sites.

4.2.3 요인 분석

다변량 통계분석 중 요인분석(factor analysis)은 낙동강 창녕함안보 구간의 수질에 영향을 미치는 요인(인자)을 파악하기 위하여 실시하였고, 분석방법으로는 주성분 분석법(principal component analysis)을 이용하였다. 한 요인의 설명력을 나타내는 eigenvalue는 한 요인에 대한 요인 적재값의 제곱의 합을 가리킨다. 그러므로 eigenvalue가 크다는 것은 그 요인이 변수들의 분산을 잘 설명한다는 것을 의미한다.

창녕함안보 구간 수질의 주성분 분석에 대한 결과를 Table 4.8과 Fig. 4.11에 나타내었으며, 요인과 변량과의 상관계수에 따른 요인 구조를 명확하게 하기 위하여 직각 회전 방식인 Varimax 방식을 적용하여 Table 4.9와 Fig. 4.12에 나타내었다. 3개의 주성분이 추출되었으며, 제 1요인의 고유치는 3.843로써 27.453% 기여하고 있으며, 제 1요인부터 제 3요인까지 전체 분산의 67.539%를 설명해 주고 있다. 제 1요인은 COD, BOD, Chl-a, TOC, T-P로 분류되었고, 제 2요인은 T-N, NO₃-N, EC이며, 제 3요인은 PO₄-P로 분류되었다. 제 1요인으로 하수에 의한 유기물질과 인계열 오염물질의 유입과 관련이 있음을 보이며, 제 2요인의 경우 질소계열 오염물질 유입과 관련이 있는 것으로 보였다(박진환 등, 2014).

Table 4.8. Eigen values and cumulative percentage of factors in Changnyeong-Haman weir section.

component	Initial eigen values			Extraction sums of squared loadings		
	Total	Variance (%)	Cumulative (%)	Total	Variance (%)	Cumulative (%)
1	4.286	30.614	30.614	3.843	27.453	27.453
2	3.144	22.455	53.069	3.075	21.962	49.415
3	2.026	14.470	67.539	2.537	18.124	67.539
4	.997	7.121	74.660			
5	.881	6.294	80.954			
6	.725	5.177	86.131			
7	.625	4.462	90.593			
8	.426	3.045	93.638			
9	.283	2.020	95.658			
10	.189	1.354	97.012			
11	.143	1.024	98.035			
12	.140	.998	99.033			
13	.091	.653	99.685			
14	.044	.315	100.000			

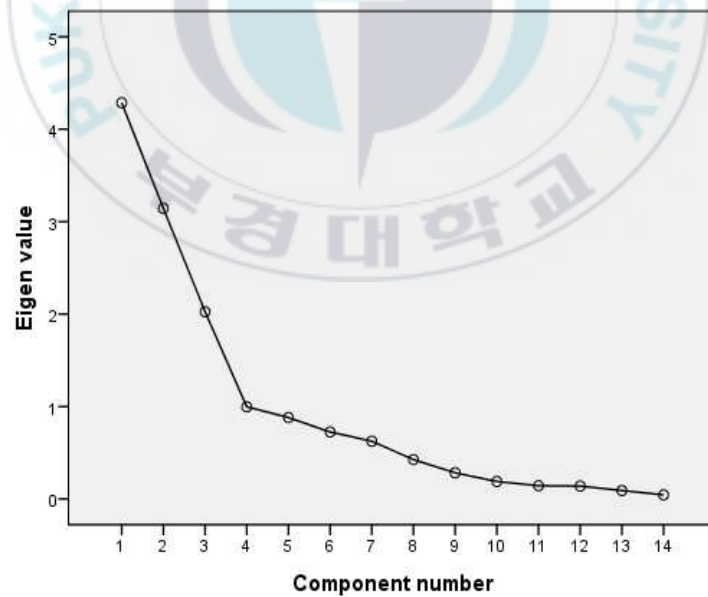


Fig. 4.11. Scree plot in Changnyeong-Haman weir section

Table 4.9. Rotated component matrix by factor analysis in Changnyeong-Haman weir section.

	component		
	1	2	3
COD	.901	.111	.062
BOD	.869	.149	-.091
Chl-a	.800	.055	-.141
TOC	.728	.238	.109
TP	.677	-.112	.610
TN	.255	.919	.055
NO ₃ -N	.069	.910	.028
EC	.314	.817	-.119
WT	.418	-.502	.448
SS	.066	-.426	.291
PO ₄ -P	.321	-.087	.742
DO	.175	.150	-.736
pH	.402	-.002	-.706
NH ₃ -N	.084	.406	.476

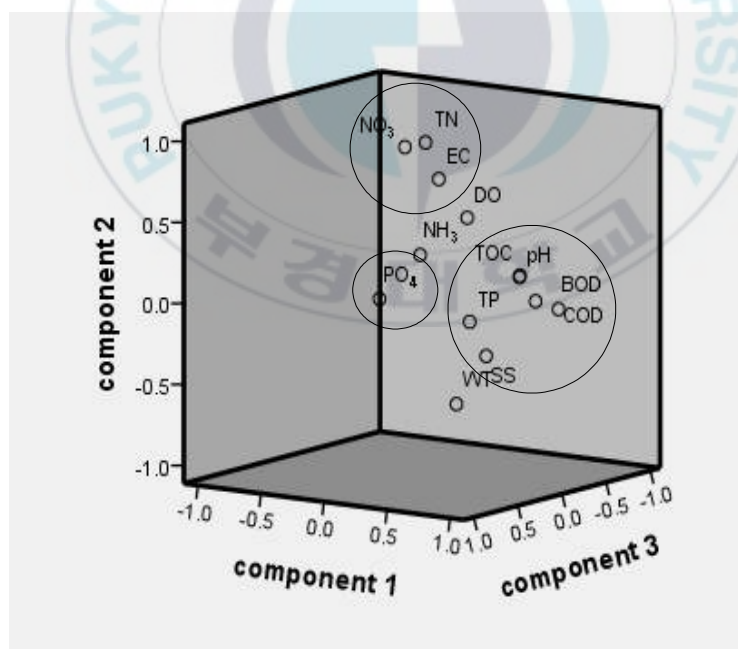


Fig. 4.12 Component plot in rotated space in Changnyeong-Haman weir section.

4.3 보 설치 전 · 후의 수질특성 변화 분석

4.3.1 보 설치 전 · 후의 유량 변화

보 설치 전·후의 유량 변화를 알아보기 위하여 조사 구간에 위치하는 국토교통부 유량 측정 지점의 자료를 바탕으로 2004년부터 2015년 9월까지의 월평균을 수집하여 Fig. 4.13 ~ 4.17에 나타내었다. 적포교 지점과 진동 지점, 임해진 지점은 조사 구간의 본류로 각각 PJ 지점의 상류, 하류, IH 지점에 속한다. 그리고 죽고 지점과 거룡강 지점은 각각 황강의 지류와 남강의 지류에 속하여 CD 지점의 상류, SD 지점에 속한다. 매해 여름철에 장마기와 태풍의 영향으로 유량의 최고치가 나타남을 볼 수 있으며, 전체적으로 보 설치 전·후를 비교하였을 때 유량이 늘어났음을 알 수 있다. 2006년 7월과 2007년 9월에는 태풍의 영향(2006년 7월 : 에위니아, 2007년 9월 : 나리)으로 한반도에 직접적인 영향권에 들어 강풍과 함께 집중 호우가 겹쳐 모든 지점에서 유량이 가장 높게 나타났다. 또한, 먼 바다의 이오 섬 부근에서 위치하던 열대 요란이 2012년 7월에 열대 저기압으로 발달하면서 서북서진하여 한반도에 영향을 주어 수도권에 폭우가 내린 영향으로 유량이 늘어난 것으로 나타났다.

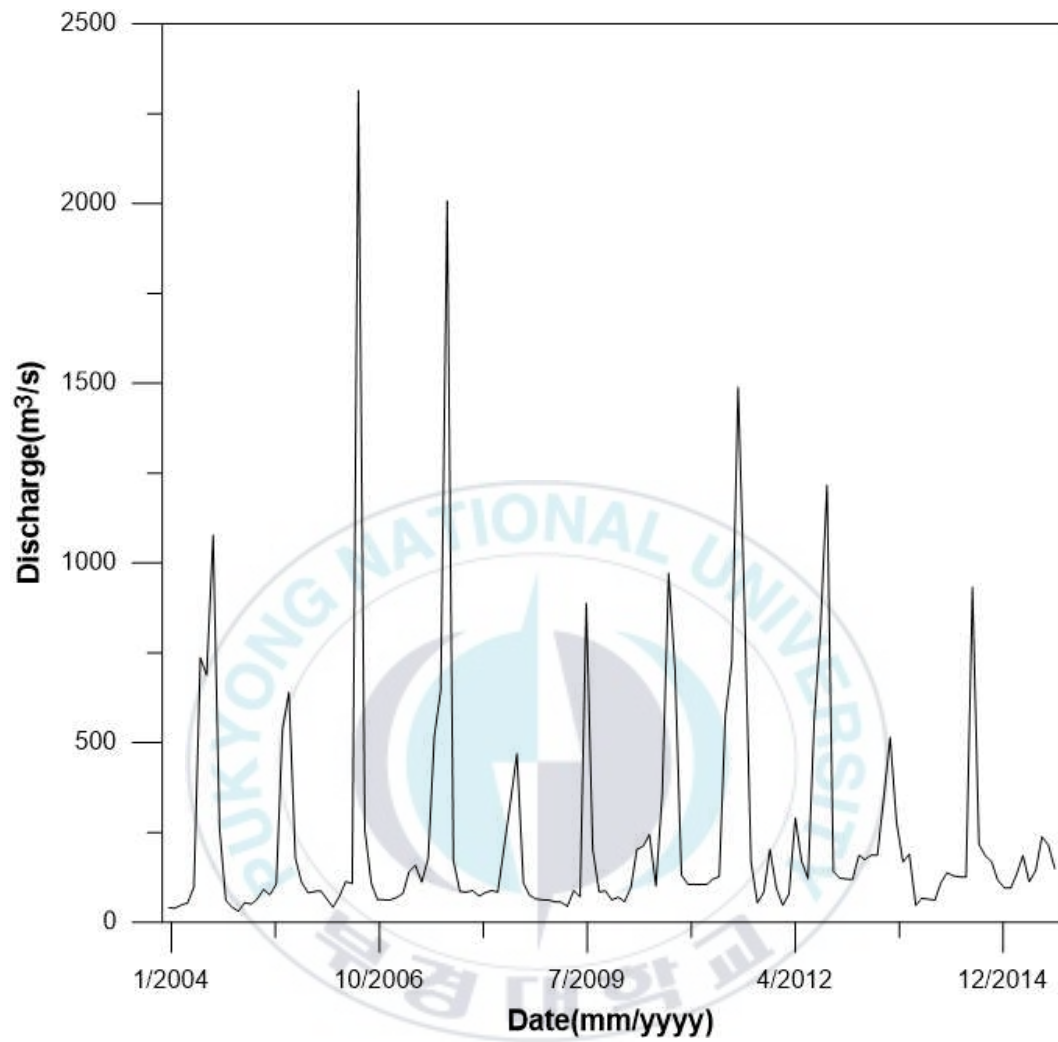


Fig. 4.13. Monthly variation of Jeokpo-kyo discharge before and after weir construction.

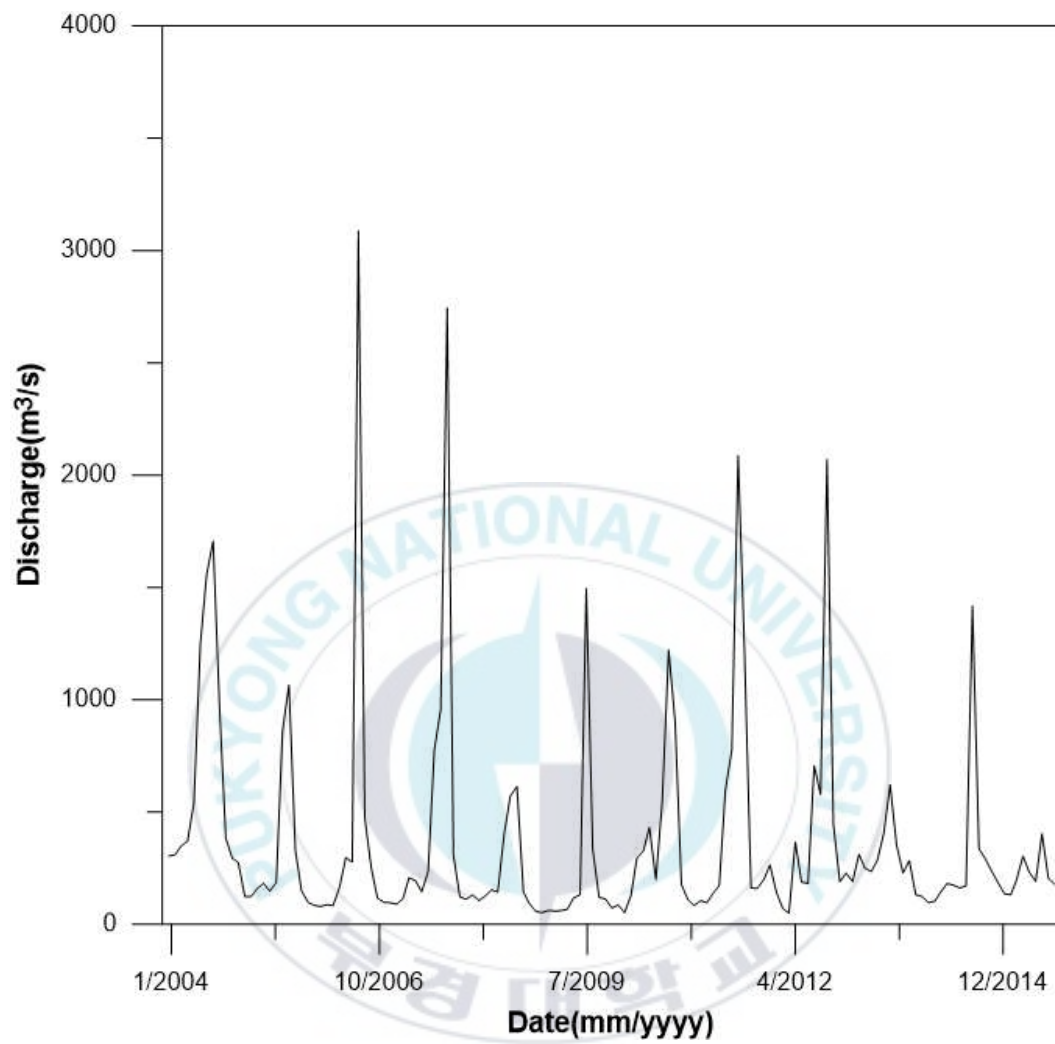


Fig. 4.14. Monthly variation of Jindong discharge before and after weir construction.

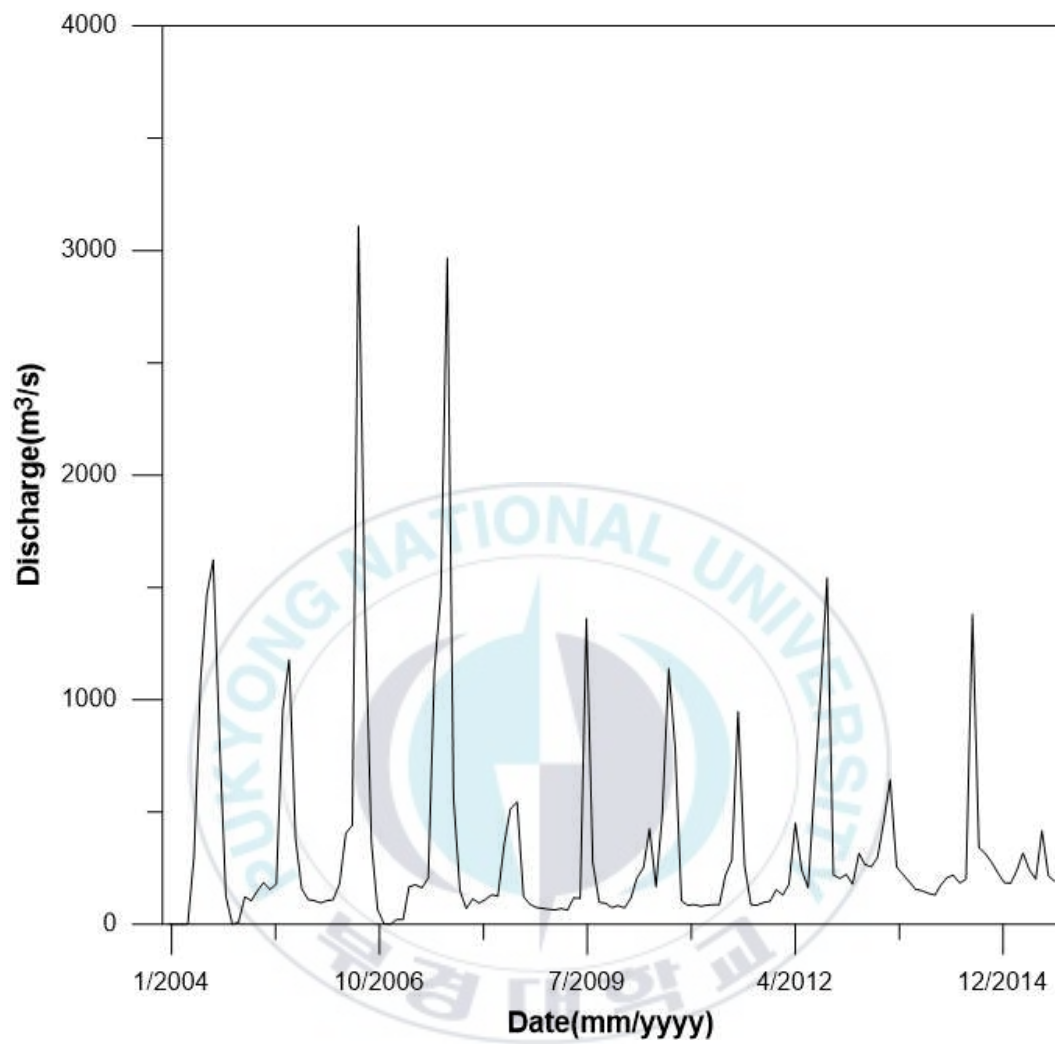


Fig. 4.15. Monthly variation of Imhaejin discharge before and after weir construction.

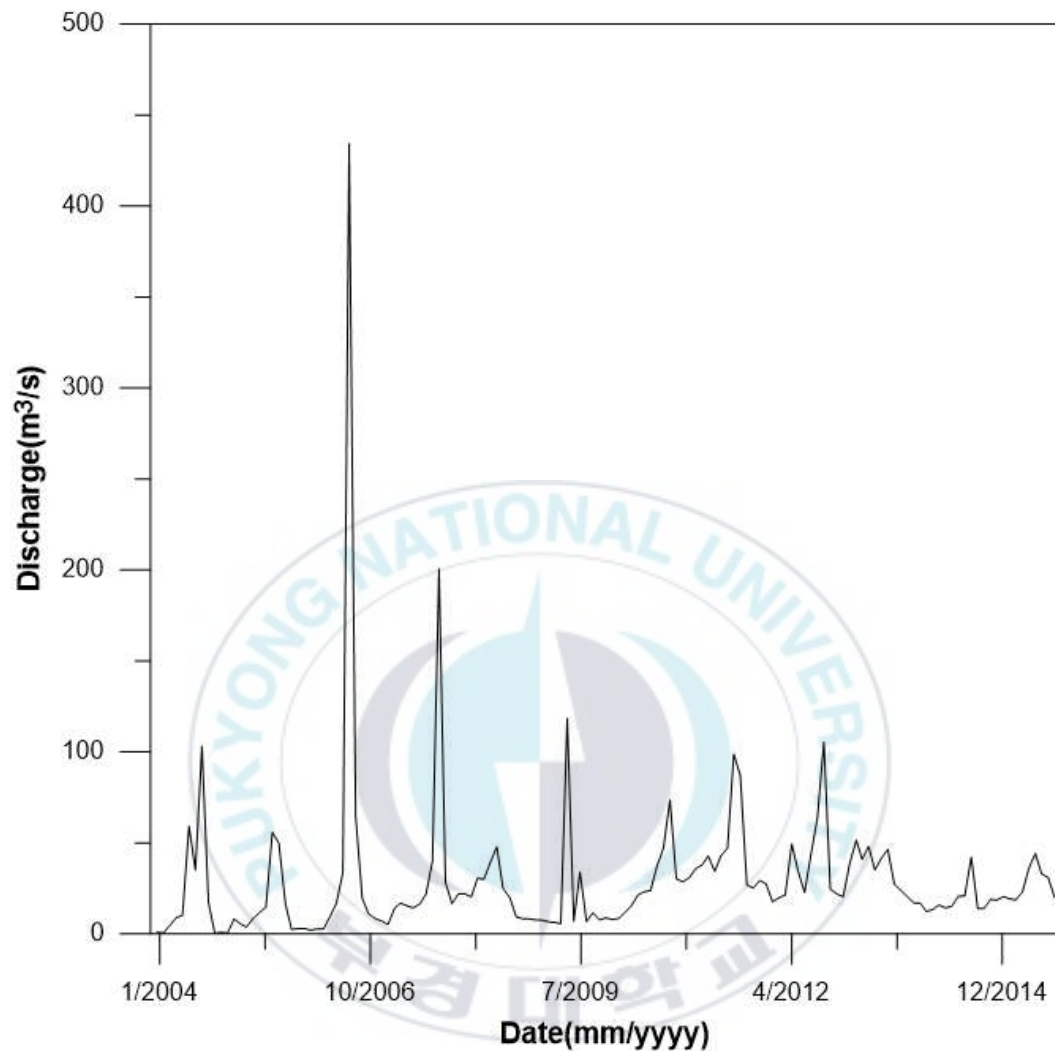


Fig. 4.16. Monthly variation of Jukgo discharge before and after weir construction.

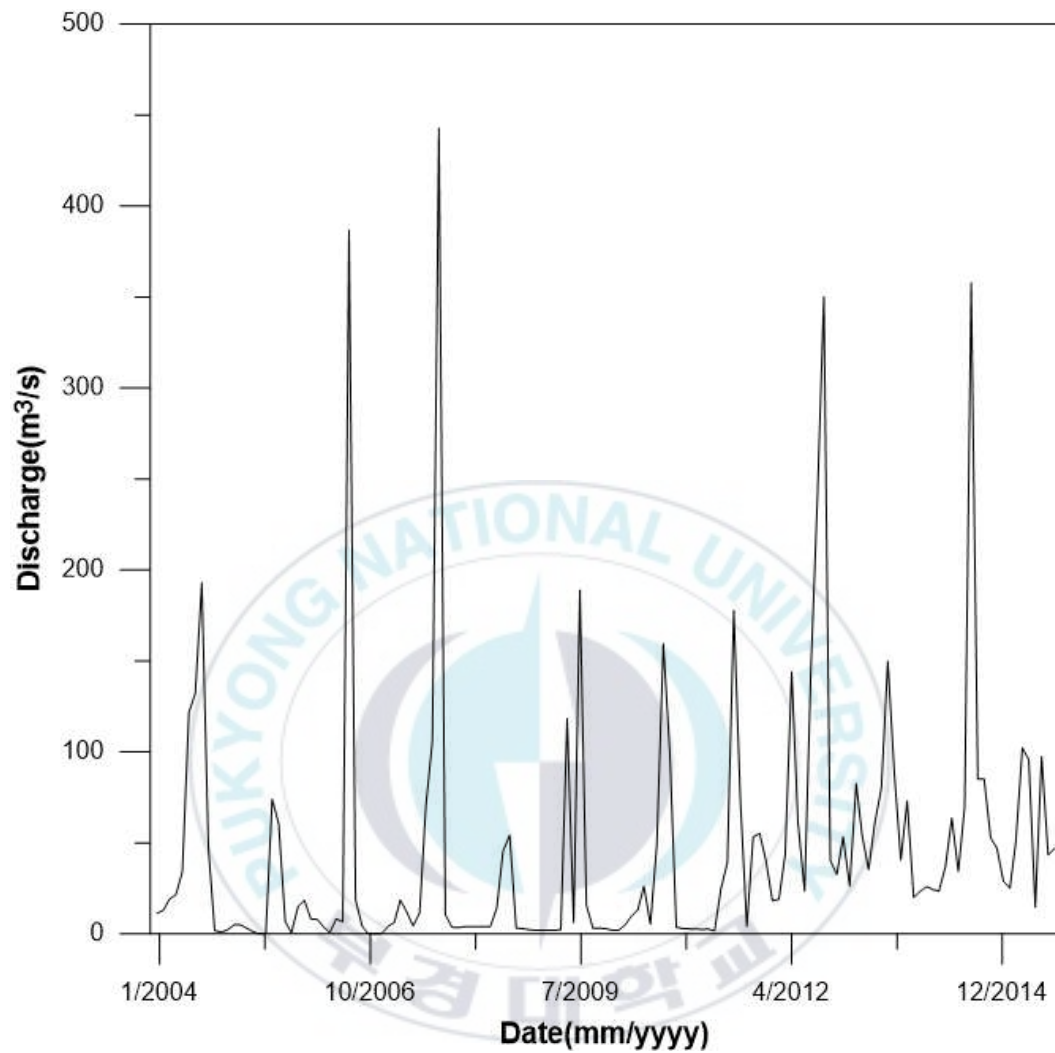


Fig. 4.17. Monthly variation of Georyong-river discharge before and after weir construction.

4.3.2 보 설치 전 · 후의 수질 변화

보 설치 전 · 후의 수질 변화를 알아보기 위하여 조사 구간에 위치하는 환경부 수질 측정 지점의 자료를 바탕으로 보 설치 전인 2007년과 2008년, 보 설치 후인 2013년과 2014년의 대표적인 일반 수질 항목인 T-P, T-N, BOD, COD, Chl-a의 월평균 결과를 수집하였다. 각 지점별로 Fig. 4.18~4.27에 나타내었으며, YJ 지점과 HA 지점은 보 설치 후에 생겨난 측정 지점으로 제외하였다.

T-P는 여름철 장마기에 최고치를 보이고 이후 다소 감소하는 경향을 보였는데, 이는 하천에서 인 유입이 주로 장마기에 발생하여 8월에 최고치를 보이고 다시 강우의 감소에 따라 농도가 감소한다는 연구와 유사한 결과를 보였다(강선아 등, 2006). 보 설치 전과 후를 비교해보았을 때, 전체적으로 보 설치 전보다 후에 농도가 많이 감소한 것으로 나타났다. 특히, PJ 지점과 IH 지점에서 보 설치 전 T-P의 농도 범위는 각각 0.114~0.250 mg/L, 0.096~0.223 mg/L로 평균은 0.175 mg/L, 0.165 mg/L로 나타났으며, 보 설치 후에는 0.035~0.140 mg/L, 0.025~0.148 mg/L로 평균은 0.063 mg/L, 0.052 mg/L로 나타나 약 0.112 mg/L, 0.113 mg/L 만큼의 차이로 농도가 감소한 것으로 나타났다.

T-N은 T-P와 반대로 여름철 장마기에 급격한 농도의 감소와 겨울철에 높게 유지되는 전형적인 계절 변화를 나타내었다. 이는 장마기에 증가된 강우에 의하여 유기물이 희석된 것으로 보인다(안광국 등, 2007). 보 설치 전과 후를 비교해보면, SD 지점과 IH 지점의 경우 보 설치 전보다 후에 농도가 많이 감소한 것으로 나타났다. 보 설치 전 T-N의 농도 범위는 각각 1.223~6.130 mg/L, 1.820~4.331 mg/L로 평균은 2.740 mg/L, 3.120 mg/L로 나타났으며, 보 설치 후에는 1.294~4.337 mg/L, 1.633~4.128 mg/L로 평균은 2.483 mg/L, 2.736 mg/L로 나타나 약 0.257 mg/L, 0.384 mg/L 만큼의 차이로 농도가 감소한 것으로 나타났다.

BOD는 보 설치 후에 전반적으로 봄철에 농도가 감소하는 경향을 보였으나, CD 지점과 PJ 지점에서는 초여름에 증가하는 경향을 보였다. PJ 지점의 경우, 보 설치 전에는 3월에 최고치를 보이고 5월까지 점점 감소하여 10월까지 유지하다 다시 농도가 증가하는 경향을 보였다. 하지만 보 설치 후에는 봄철에 높았던 BOD 농도가 여름까지 이어지다가 9월에 최고치를 보여 감소하는 경향을 보였다. 한편, SD 지점과 IH 지점의 경우 보 설치 전보다 후에 농도가 많이 감소한 것으로 나타났다. 보 설치 전 BOD의 농도 범위는 각각 1.33~6.18 mg/L, 1.82~4.33 mg/L로 평균은 3.02 mg/L, 3.12 mg/L로 나타났으며, 보 설치 후에는 1.16~3.88 mg/L, 1.63~4.13 mg/L로 평균은 2.36 mg/L, 2.74 mg/L로 나타나 약 0.67 mg/L, 0.39 mg/L 만큼의 차이로 농도가 감소한 것으로 나타났다.

COD는 BOD와 마찬가지로 보 설치 후에 전반적으로 봄철에 농도가 감소하는 경향을 보였지만, 여름철에 증가하는 경향을 보였다. 이는 BOD와 비슷한 경향을 보여, 보 설치 후에 여름철 유기물질에 대한 영향이 큰 것으로 판단된다. 한편, SD 지점과 IH 지점의 경우 보 설치 전보다 후에 농도가 많이 감소한 것으로 나타났다. 보 설치 전 COD의 농도 범위는 각각 3.65~10.75 mg/L, 2.00~8.90 mg/L로 평균은 6.50 mg/L, 6.01 mg/L로 나타났으며, 보 설치 후에는 3.90~6.88 mg/L, 3.30~7.68 mg/L로 평균은 5.20 mg/L, 5.06 mg/L로 나타나 약 1.30 mg/L, 0.95 mg/L 만큼의 차이로 농도가 감소한 것으로 나타났다.

Chl-a는 전반적으로 여름철보다는 늦봄과 가을에 높게 나타나는 경향을 보였다. 4월부터 7월까지 평균 수온이 증가함에 따라 Chl-a 농도도 증가하지만 비가 많이 오는 장마철인 8월에는 농도가 감소하여 다시 9월에 증가하는 경향을 보였다. 보 설치 전과 후를 비교해보면, 모든 지점에서 보 설치 전보다 후에 농도가 많이 감소한 것으로 나타났다. 특히 SD 지점과 IH 지점의 경우, 보 설치 전 Chl-a의 농도 범위는 각각 4.48~108.80 mg/m³, 9.20~151.60 mg/m³로 평균은 52.58 mg/m³, 69.86 mg/m³로 나타났으며, 보 설치 후에는 5.95~56.78

mg/m³, 11.53~61.00 mg/m³로 평균은 26.08 mg/m³, 28.21 mg/m³로 나타나 약 26.50 mg/m³, 41.64 mg/m³ 만큼의 차이로 농도가 감소한 것으로 나타났다.



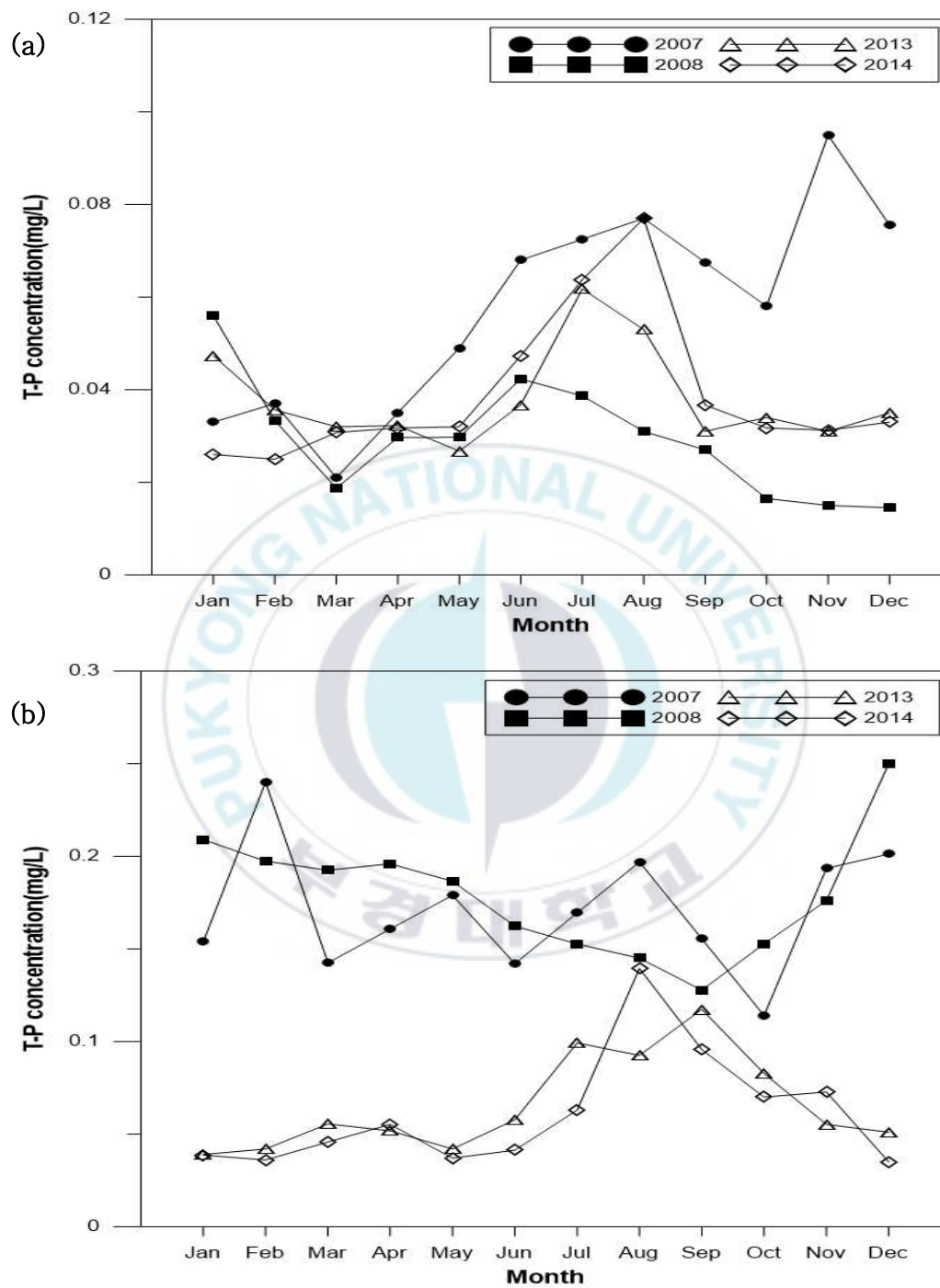


Fig. 4.18. Comparison of annual T-P value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.

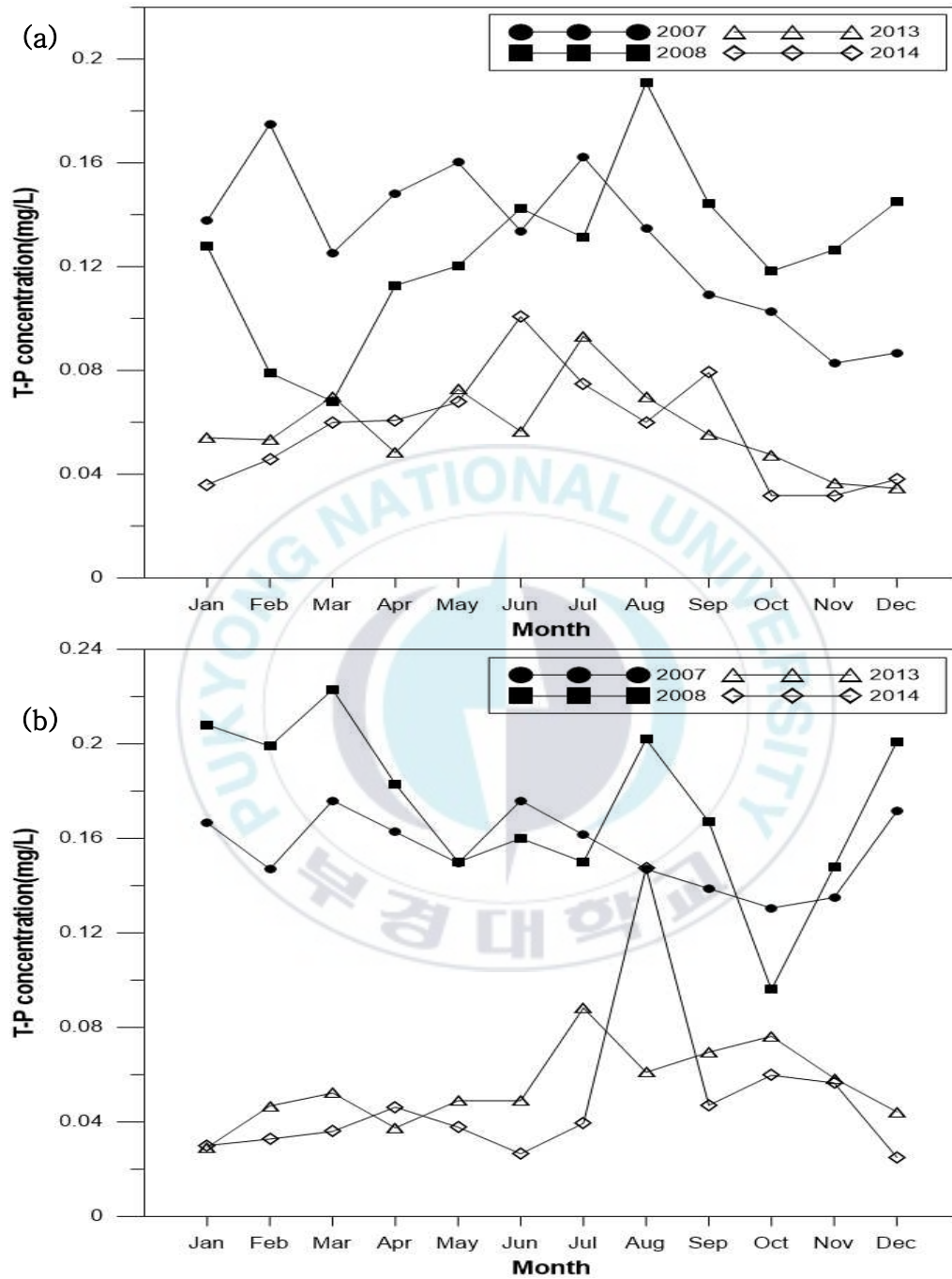


Fig. 4.19. Comparison of annual T-P value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.

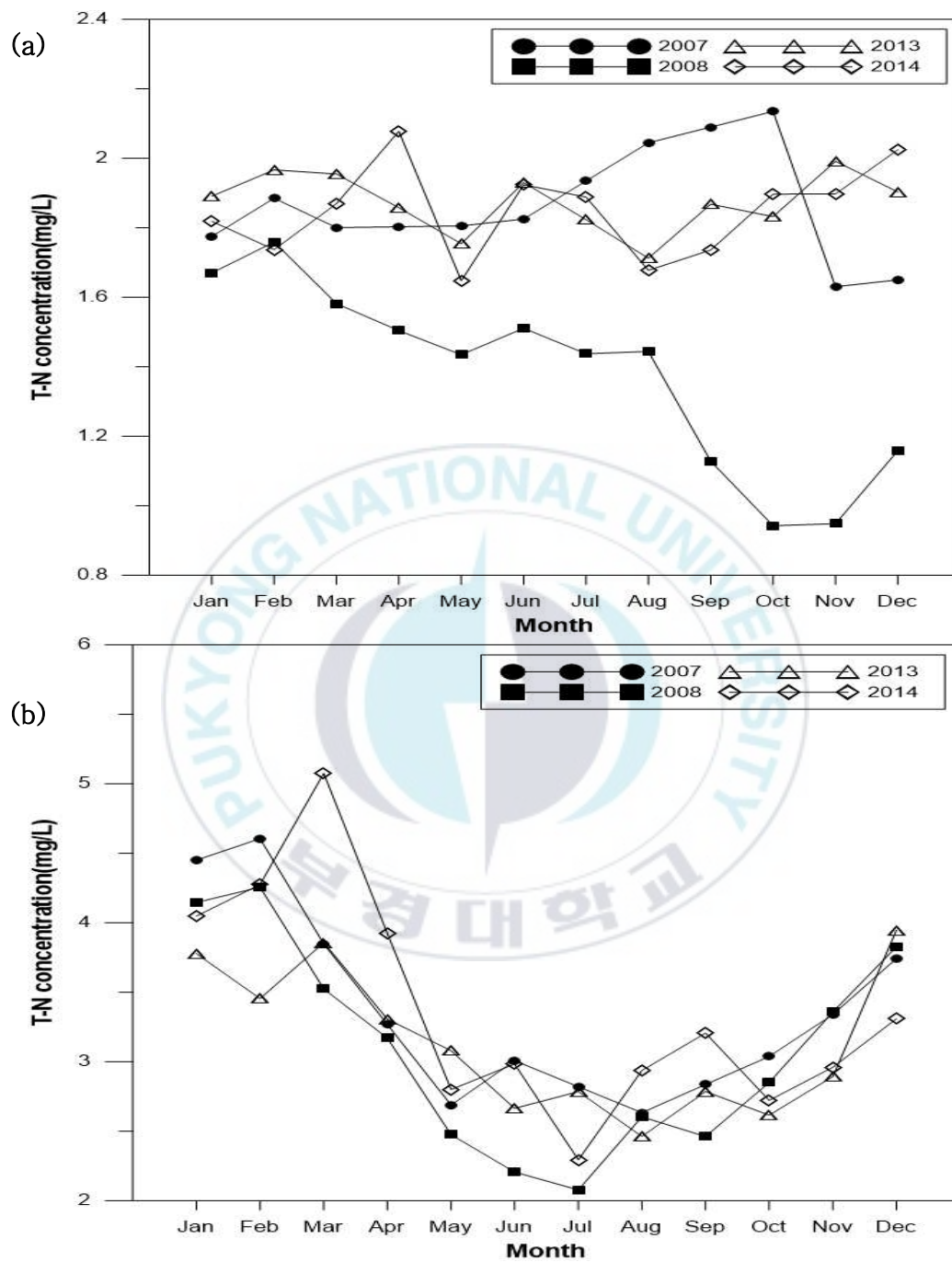


Fig. 4.20. Comparison of annual T-N value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.

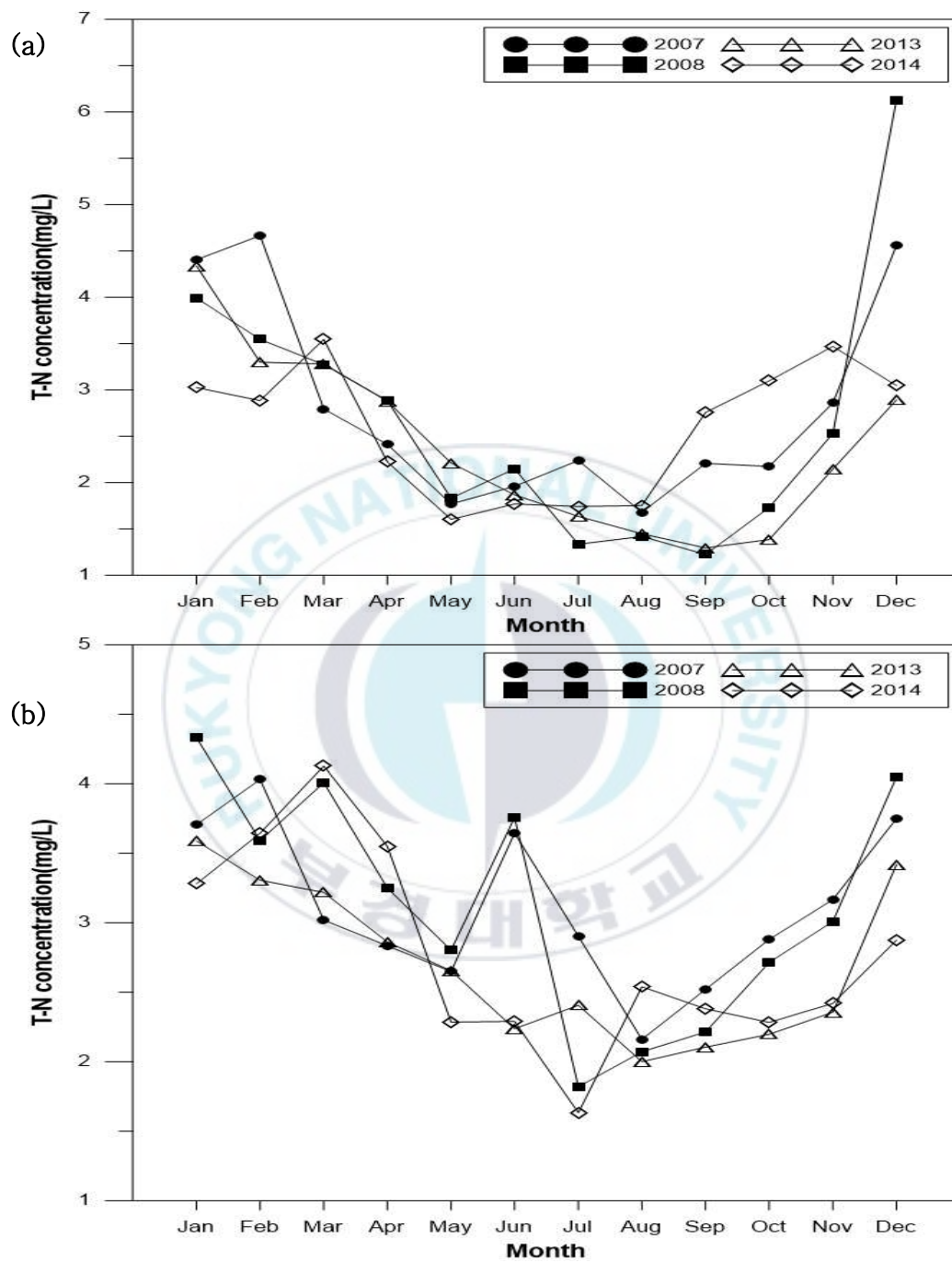


Fig. 4.21. Comparison of annual T-N value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.

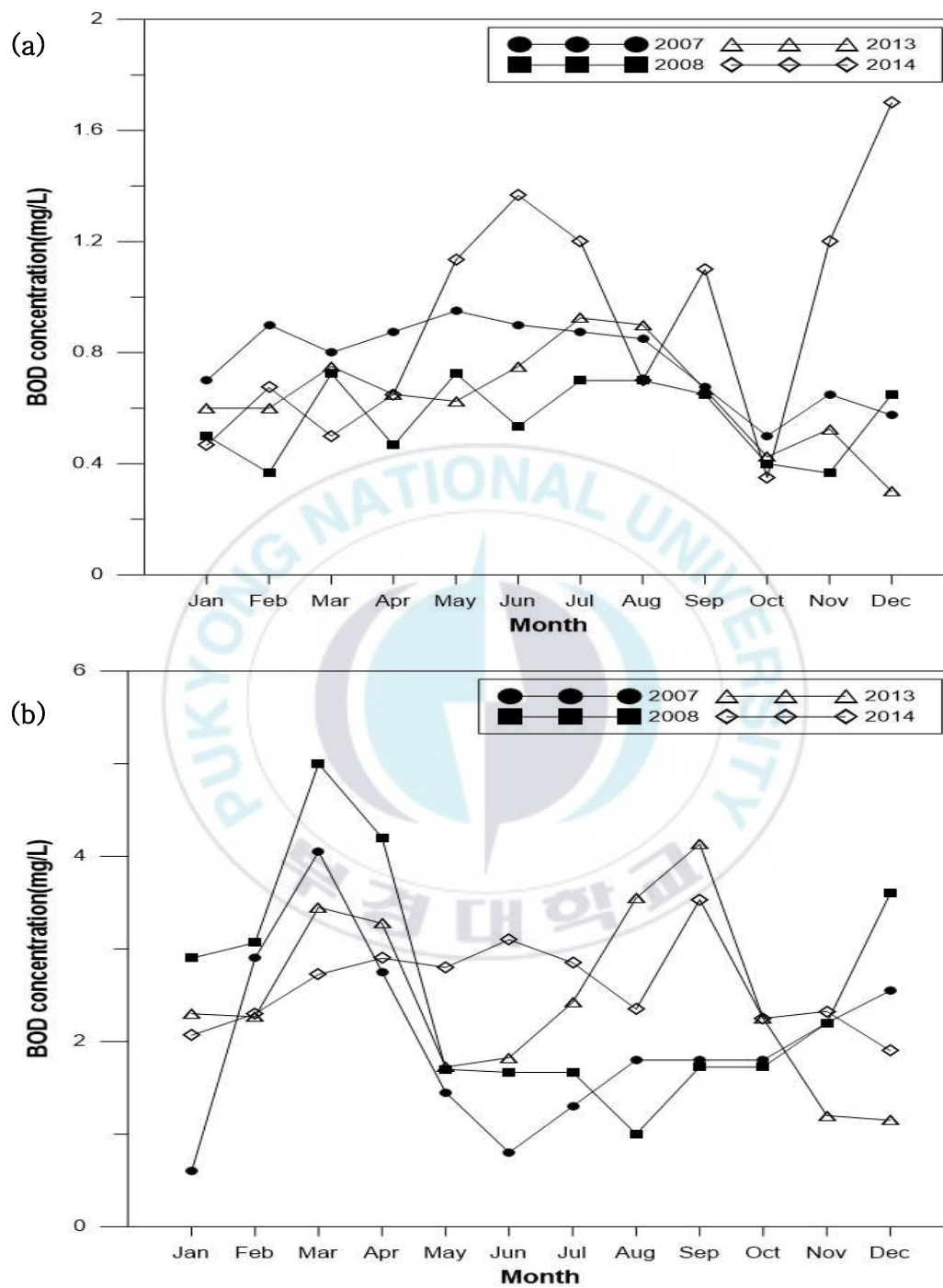


Fig. 4.22. Comparison of annual BOD value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.

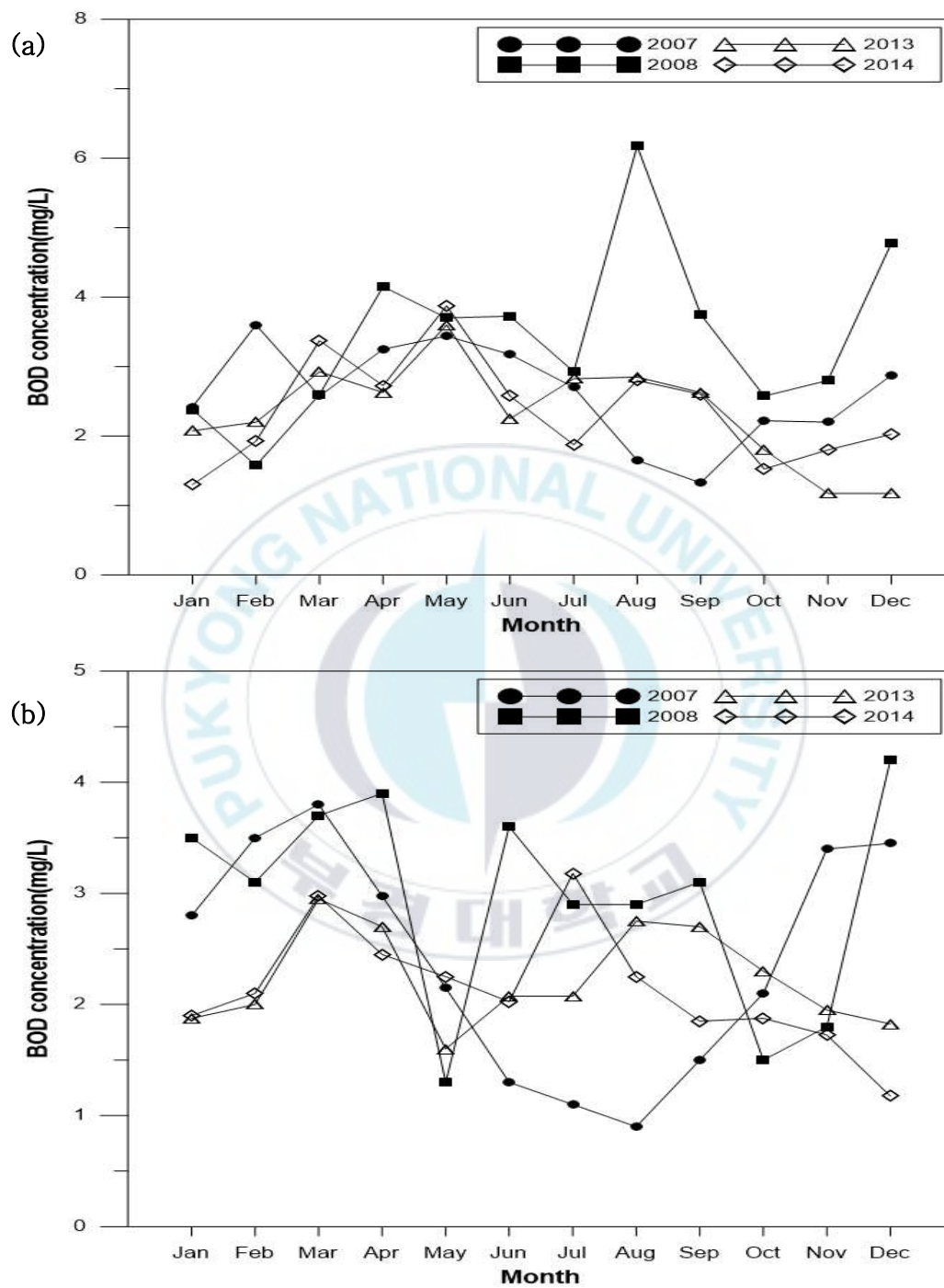


Fig. 4.23. Comparison of annual BOD value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.

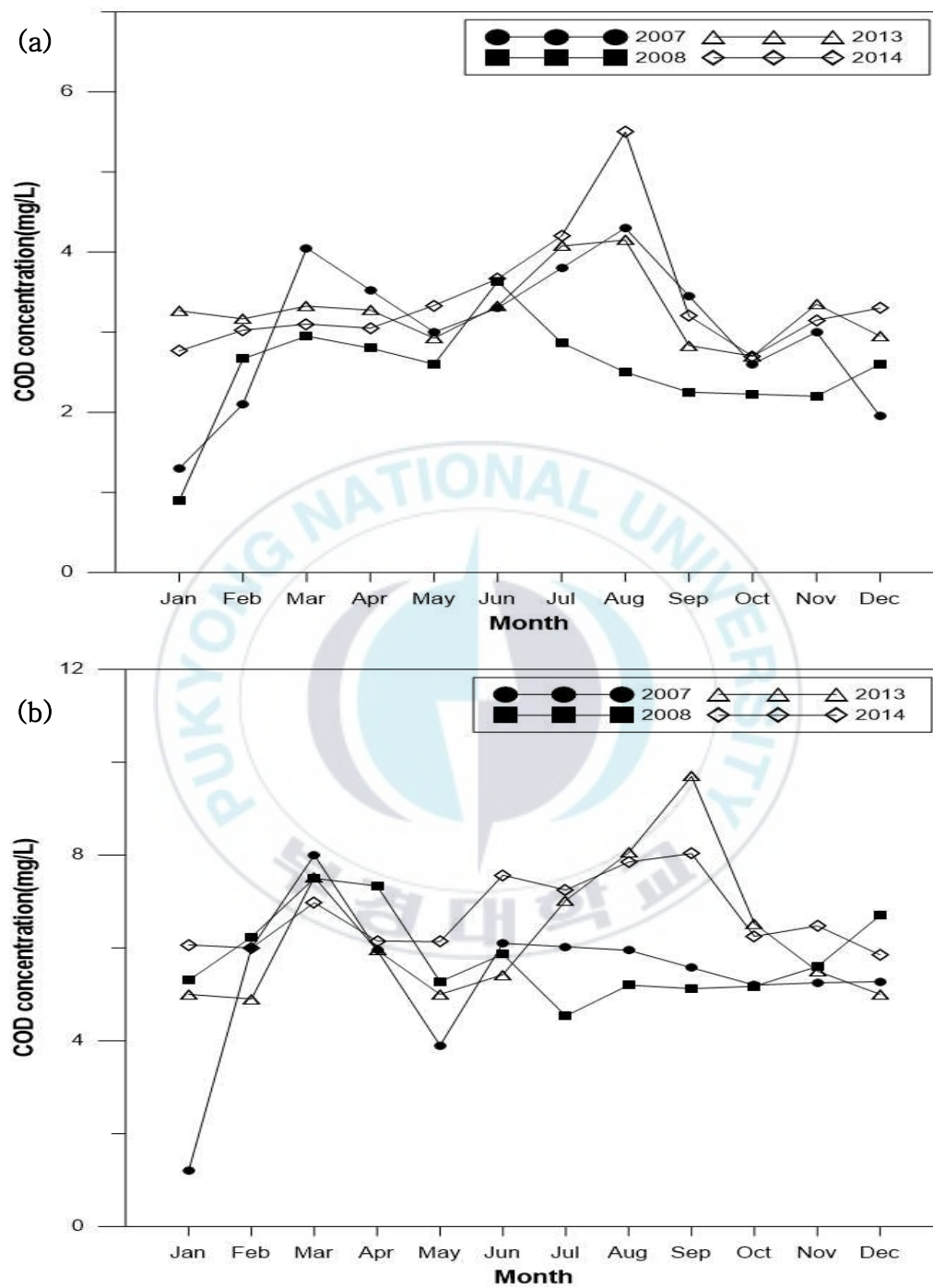


Fig. 4.24. Comparison of annual COD value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.

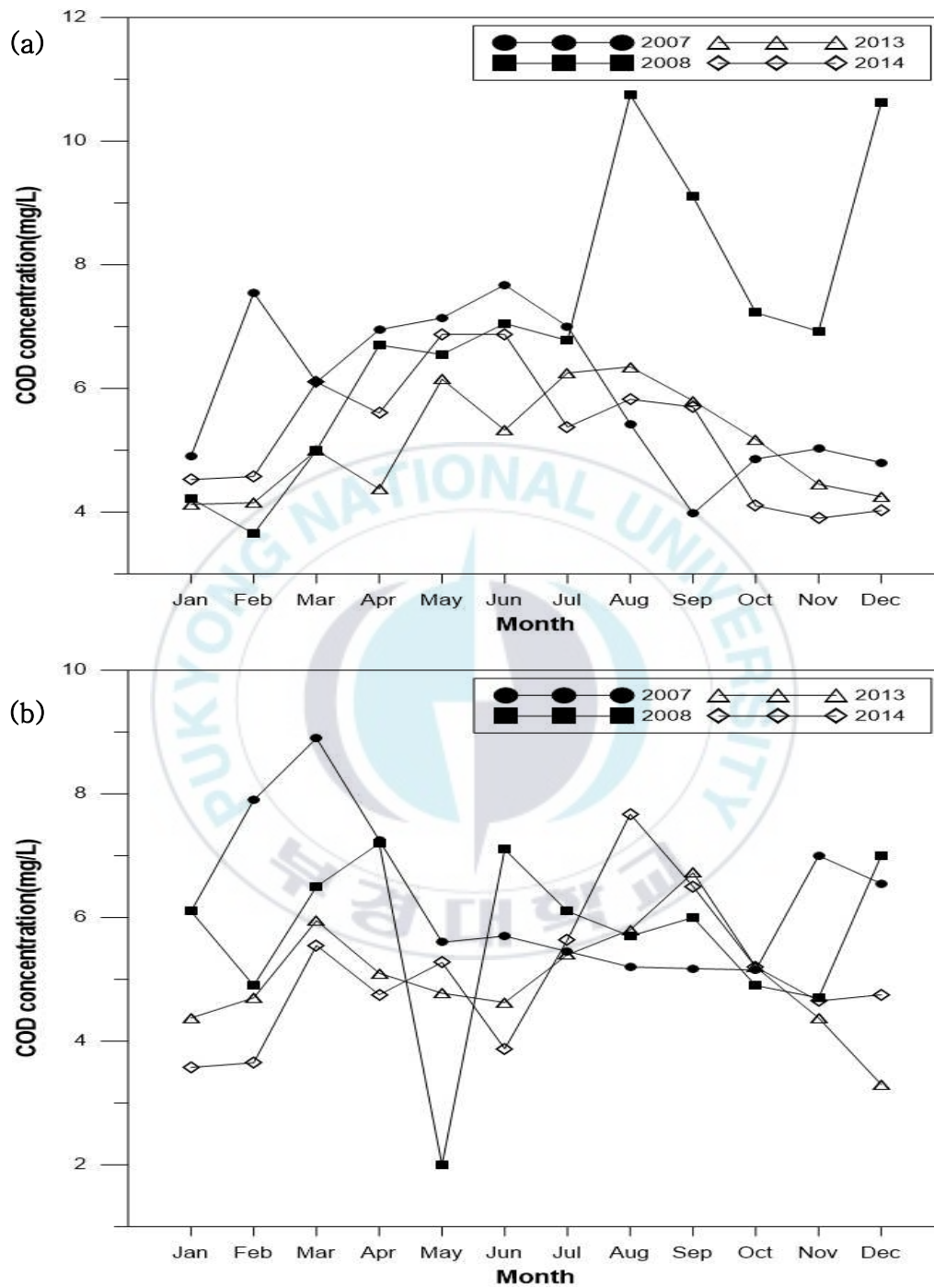


Fig. 4.25. Comparison of annual COD value before and after weir construction (a) SD (b) IH site.

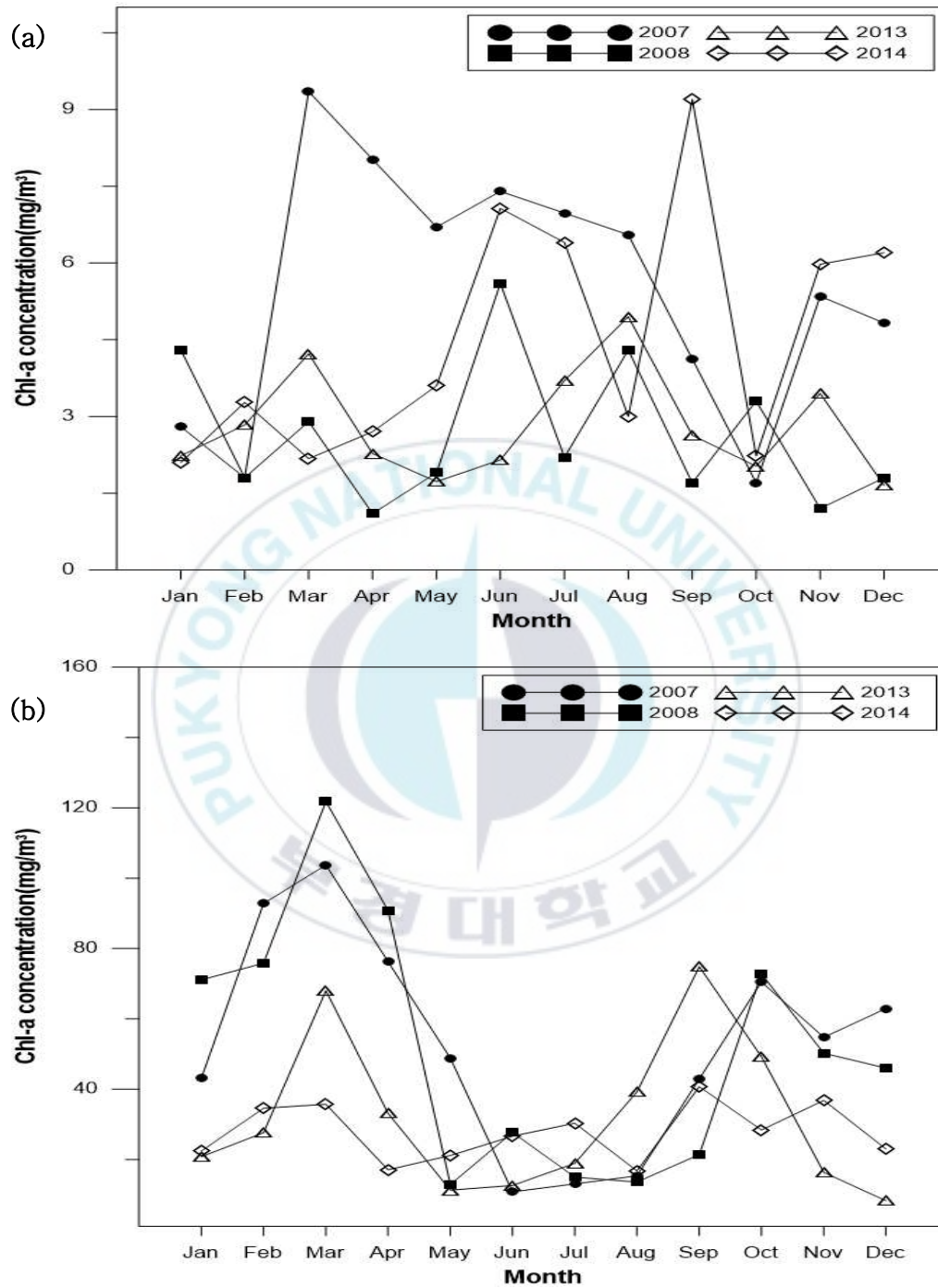


Fig. 4.26. Comparison of annual Chl-a value before and after weir construction (a) CD (b) PJ site.

4.3.3 보 설치 전 · 후의 조류 변화

낙동강 중 · 하류지점에서 보 설치 전인 과거에 조류 모니터링을 한 자료를 조사하여 물환경정보시스템에 공시되어 있는 보 설치 후의 모니터링 자료를 비교하였다. 낙동강물환경연구소(2002)의 연구에 따르면, 2002년 2월~10월 동안에 주로 규조류가 우점종으로 보이고 하절기에는 남조류의 발생이 보이지 않았으나 9월에 *Lyngbya* 속의 남조류가 관찰되었고 10월에는 남조류의 발생이 없었다. 그리고 낙동강물환경연구소(2004)의 연구에서는 2003~2004년 동안에 연중 규조류가 주요 우점 분류군으로 출현하는 가운데 여름철 동안에는 녹조류의 현존량이 상대적으로 증가하였고, 남조류는 세포밀도가 연도별로 최대 206~1,233 cells/mL을 나타내어 소수 출현하는 경향을 보여 주었다고 보고되었다. 2006년의 경우에도 연중 규조류가 주요 우점종으로 출현하였고, 녹조류와 남조류가 소수 출현하는 경향을 나타내어 조류 분류군 간 계절별 변동은 거의 없었다(낙동강물환경연구소, 2006). 2006년 1월~11월 동안에 규조류가 85.4%, 녹조류 10.4%, 남조류 2.9%, 편모조류 1.2%로 나타났으며, 여름철 7, 8월에 *Microcystis sp.*이 우점하여 5,000 cells/mL 이상 출현한 바가 있다.

보 설치 후의 경우에는 낙동강유역환경청(2014)의 연구에 따라, 2013년 5월~10월 남조류 세포 수 변화 추이를 7월 말경 하류지역에서 남조류 개체 수가 급증한 후부터 빠른 속도로 증감을 반복하며, 특히 9월 9일 창녕함안보에서 202,792 cells/mL로 최고치를 기록하였다. 또한, 중상류 구간의 남조류 세포 수는 9월말부터 급격히 감소한 반면, 하류구간(합천창녕보~창녕함안보)은 10월 초순경까지 높은 수치(10월 2일 8,412~20,048 cells/mL)를 기록하며 중상류 지역보다 남조류 발생이 장기화되었다고 설명하였다.

Fig. 4.28은 물환경정보시스템에 공시되어 있는 자료로 조사 구간 내에 남조류 개체수를 나타낸 그래프이다. 합천창녕보 500 m 상류인 덕곡(YJ 지점)의 경우에는 2012년 5월~2015년 9월 동안의 월평균을 나타내고, 창녕함안보 설치

후인 창원칠서취수장의 경우에는 2014년 1월~2015년 9월 동안의 월평균을 나타낸다. 매해 8월에 남조류 개체수가 급증하는데 2012년 8월에는 30,316 cells/mL를 나타냈으며, 2013년 8월에는 33,383 cells/mL로 나타냈다. 그러나 2014년에는 6월부터 급증하여 87,920 cells/mL로 나타나 녹조현상이 빨라졌다. 이는 가뭄의 영향과 봄철 이상고온, 일조량 증가에 따른 수온상승, 보에 의한 유속 감소 등 여러 가지 환경요인이 복합적으로 작용한 것으로 분석되고 있으며, 낙동강 중·하류지역에 내린 간헐적인 강우로 영양염류가 유입되면서 남조류가 증식할 수 있는 적합한 여건이 일찍 형성된 것으로 보였다(환경부, 2014). 그리고 2002년~2012년까지 낙동강 하류지역의 식물플랑크톤 군집 변화를 조사한 다른 연구에 따르면, 식물플랑크톤의 평균 우점종 개체수는 점점 증가하는 경향을 나타내고, 식물플랑크톤 종별로 우점종의 연도별 개체 수 비율변화에서 규조류는 감소하는 추세를 보인 반면, 남조류는 증가하는 추세를 나타내었다고 한다(손희중, 2013).

이렇듯 전체적으로 보 설치 전에 비하여 보 설치 후에 조류 발생이 증가한 것으로 나타났다. 이제 정책적으로 환경부(2014)에서는 조류 발생의 대응에 대한 개선방안을 제시하였다. 주요내용으로 호소에만 적용하던 조류경보제를 상수원으로 이용되고 있는 4대강 댐·보·하구언까지 확대하고, 현행 모니터링 지표에서 클로로필-a 농도를 삭제하고, 남조류 세포수로 단일화하는 경보지표 개선 방안을 제시하였다. 그리고 발령기준을 유해남조류의 독소함량·독성강도 등을 고려하여 현행기준의 1/2로 조정하고 4대강 본류구간 중 친수활동이 이루어지고 있는 구간에 대해서는 친수용 조류경보제를 도입·시행하는 방안을 내세웠다. 또한, 현행 발령단계 중 주의보, 경보의 용어에서 국민 불안 조성의 우려가 있어 조류 발생 상황을 알리는 용어로 순화하여 조류주의보는 관심단계로, 조류경보는 경계단계로 개선하는 방안을 제시하였다.

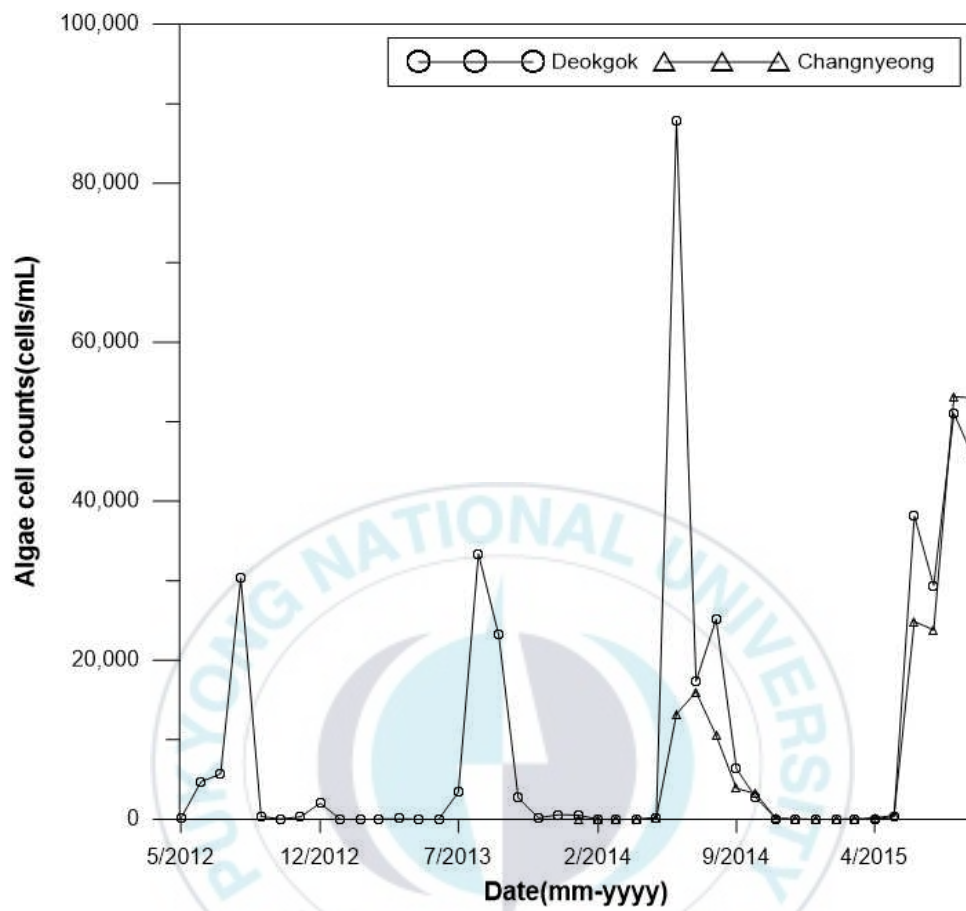


Fig. 4.27. Monthly variation of algae cell counts after weir construction.

제 5 장 결 론

보 설치 후 낙동강 창녕함안보 구간의 수질인자들 간의 상관성과 수질인자와 조류인자들 간의 상관성 분석과 수질에 영향을 미치는 주요 요인을 밝히고자 하였고, 보 설치 전·후의 수질을 비교하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 창녕함안보 구간의 수질은 본류로 유입되는 지류의 영향이 큰 것으로 볼 수 있으며, 특히 남강 지류에 속하는 SD지점은 다른 지점에 비해 T-P와 Chl-a의 농도가 높아 관리가 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 유기물 간접지표인 BOD와 COD, TOC는 서로 강한 양의 상관성을 보였으며, 또한, T-P와 COD, SS, TOC에 대한 상관성이 강하여 유기물질과 인계열의 오염물질에 대한 상관성을 보였다.
- (3) 규조류와 d-silica의 상관관계에서 $-0.466(p<0.01)$ 으로 음의 상관관계를 보였으며, 규조류가 짧은 시간동안 d-silica를 소모하기 때문에 d-silica의 농도가 감소하는 것으로 추정된다.
- (4) N/P ratio와 남조류의 상관관계의 분석결과는 $-0.287(p<0.05)$ 로 다소 낮은 상관성을 보여 N/P ratio가 증가하였을 경우에는 남조류 번식이 줄어들었으며 반대로, 남조류가 크게 번식했을 경우의 N/P ratio는 26.03을 나타내었다.
- (5) 창녕함안보 구간의 수질에 영향을 끼치는 중요 요인 분석 결과로 3개의 주성분이 추출되었으며, 제 1요인으로 COD, BOD, Chl-a, TOC, T-P로 분류되어 유기물질 및 인계열 오염물질의 유입과 관련이 있어 창녕함안보 유역의 대상 지점은 유기물과 영양염류의 영향을 동시에 받는 것으로 판단된다.
- (6) 2007년~2008년 기준으로 한 보 설치 전과 2013년~2014년 기준으로 한 보 설치 후를 비교해 보았을 때, T-P의 농도는 전체적으로 농도가 감소하는

경향으로 나타났으며, T-N의 농도 또한 전반적으로 감소하는 경향으로 나타났다.

- (7) BOD와 COD도 전반적으로 보 설치 전보다 보 설치 후에 농도가 감소하는 경향으로 나타났으나, 여름철에는 약간 증가하는 경향으로 나타나 보 설치 후에 여름철 유기물질에 대한 영향이 큰 것으로 판단된다.
- (8) Chl-a는 보 설치 전보다 보 설치 후에 전반적으로 감소하는 경향을 보였으나, 식물성플랑크톤의 경우에는 증가하여 서로 유의한 상관성을 보이지 않았다. 따라서 현행 모니터링 지표에서 클로로필-a 농도를 삭제하고, 남조류 세포수로 단일화하여 녹조발생 상황에 효과적으로 대응할 수 있는 개선방안이 시급하다고 판단된다.
- (9) 전반적으로 수질은 약간 향상되었으나 식물성플랑크톤의 발생은 늘어나 보 설치 사업으로 인해 하천의 유량이 늘어 상대적으로 수질의 농도가 낮아지고, 정체수역의 특성을 갖게 되어 체류시간이 증가함으로써 식물성플랑크톤의 발생이 늘어난 것으로 추정된다.

참고문헌

- Baoli Wang, Cong-Qinag L., Fushun W., Benjamin C., Stephen C. (2013) Diatoms modify the relationship between dissolved silicon and bicarbonate in impounded rivers. *J. Limnol.*, 72(3) pp. 494-504
- Becker, R. H., Sultan, M. I., Boyer, G. L. Twiss, M, R., and Konopko, E. (2009) Mapping cyanobacterial blooms in the Great Lakes using MODIS, *Journal of Great Lakes Research*, 35(3) pp. 447-453
- Fogg, G. E. (1975) *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*, 2nd Ed. Univ. Wisconsin Press, London, p. 175
- Graham, L. E., J. M. Graham, L. W. Wilcox (2009) *Algae* (2nd ed.). London. UK: Pearson Education.
- Ho, L., J. Crou, G. Newcombe. (2004) The effect of water quality and NOM character on the ozonation of MIB and geosmin. *Water Science and Technology*. 49(9) pp. 249-255
- Hutchinson, G. E. (1967) *A Treatise on Limnology*, Vol. 2, John Wiley & Sons. Inc., New York, p. 115
- Jung, S. J., Kim, K.S., Seo, D. J., Kim, J. H., Lim, B. J. (2013), Evaluation of Water Quality Characteristics and Grade Classification of Yeongsan River Tributaries, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(4) pp. 504-513
- Kappers F.I. (1980). The Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* and the nitrogen cycle of the hypertrophic lake Brille (The Netherlands). In Barica J., Mur L.R. and Junk W. (eds), *Developments in Hydrobiology*. 2 pp. 37-48
- Liqiang Xie, Ping Xie, Sixin Li, Huijuan Tang, Hong Liu (2003) The low TN:TP ratio, a cause or a result of *Microcystis* bloom? *Water Research*, 37(9) pp. 2073-2080
- Oh H. M., Ko S.R. Kim B.B., Kim C.J., Ahn C.Y., Yoo C. Joung S.H., Choi G.G. (2007) Practical guidance manual for the control of cyanobacterial

- bloom. *Environmental Biotechnology Research Center*, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology(KRIBB)
- Paerl, H. W., R. S. Fulton (2006) Ecology of harmful cyanobacteria. In Ecology of Harmful Marine Algae. Graneli, E. and J. Turner(eds). Springer-Verlag. pp. 95-107
- Park, H. K., Lee, H. J., Kim, E. K. and Jung, D. I. (2005) Characteristics of algal abundance and statistical analysis of environmental factors in Lake Paldang, *J. Kor. Soc. Water Qual.*, 21(6), pp. 584-594
- Park, J. H., Moon, M. J., Lee, H. J., Kim, K. S. (2014) A Study on characteristics of water quality using multivariate analysis in Sumjin river basin, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 30(2), pp. 119-127.
- Pirbazari M., V. Ravindran, B.N. Badriyha, S. Craig, M. J. McGuire. (1993) GAC adsorber design protocol for the removal of off-flavors. *Water Research* 27(7) pp. 1153-1166
- Smith, V. H. (1983) Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 221(4611), pp.669-671
- Smith, V. H. (1985) Predictive models for the biomass of blue green algae in lakes, *Water Resour. Bullet.*, 21, pp. 433-439
- Sommer, U., Z. M. Gliwicz, W. Lampert, A. Duncan. (1986) The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv fur Hydrobiologie*. 106. pp. 433-471
- Sundback, K.B., Joensseon, P. Nilsson and I. Lindstroem (1990) Impact of accumulating drifting macroalgae on a shallowwater sediment system: An experimental study. *Marine Ecology Progress Series* 58, pp. 261-274
- Tryfon, E, M. Moustaka-Gouni (1997) Species composition and seasonal cycles of phytoplankton with special reference to the nanoplankton of Lake Mikri Prespa. *Hydrobiologia*. 351 pp. 61-75
- Vincent, R. K., Qin, X., McKay, R. M. L., Miner, J., Czajkowski, K., Savino, J., and Bridgeman, T. (2004) Phycocyanin detection from LANDSAT TM data for mapping cyanobacterial blooms in Lake Erie. *Remote Sensing of Environment*, 89(3) pp. 381-392

- Walsby, A. E. (1994) Gas vesicles, *Microbiological Reviews* 58, pp. 94-144
- Wynne, T. T., Stumpf, R. P., Tomlinson, M.C., Warner, R. A., Tester, P. A., Dyble, J., and Fahnenstiel, G. L. (2008) Relating spectral shape to cyanobacterial blooms in the Laurentian Great Lakes. *International Journal of Remote Sensing* 29(12), pp. 3665-3672
- 강선아, 안광국 (2006). 영산강 수계의 이화학적 수질에 대한 시공간적 변이 분석. *한국육수학회지*, 39(1), pp. 73-84
- 강선해 (2013) 다변량 통계분석을 이용한 시화호의 수질특성 평가와 연안오염총량 관리를 위한 목표수질 설정방안에 관한연구. 석사학위논문, 환경생명정보학과 명지대학교.
- 강현철, 한상태, 김기영, 전명식 (2005) 다변량 자료분석 입문
- 국토교통부 (2015) 우리강톱 홈페이지 <http://www.riverguide.go.kr/nakdongRiver>
- 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭. (2002). 낙동강 부영양화와 수질환경요인의 통계적 분석. *Algae*, 17(2), pp.105-115
- 김종구 (2002) 통계분석 기법을 이용한 금강수계의 수질평가, *한국환경과학회지*, 11(12), pp.1281-1289
- 김태균, 최재호, 이경주, 김영배, 유성중 (2014). 한강유역 조류경보제에 남조류 우점 예측인자 도입에 관한 연구. *Journal of Korean Society of Environment Engineering*. 36(5) pp.378-385
- 낙동강물환경연구소 (2002) 낙동강 수질 조사 연구
- 낙동강물환경연구소 (2004) 낙동강의 조류발생 특성 및 제어방안 연구(Ⅱ)
- 낙동강물환경연구소 (2006) 특정시기 낙동강 조류 대증식 유발 종에 대한 생태 특성 연구
- 낙동강물환경연구소 (2011) 기후변화에 따른 담수호 수생태계 변화 조사 및 보전에 관한 연구(Ⅱ) -기후변화에 따른 유해조류 발생 영향 조사-
- 낙동강수계관리위원회 (2014), 창녕함안보 구간 수질통합 모형의 구축과 조류 예측 1년차 연차보고서
- 낙동강유역환경청 (2014) 낙동강 남조류 정보 자료집.
- 박성현, 김성수, 황현식 (2011) 고급 SPSS 이해와 활용. pp. 119-124

- 박수진 (2012) 다변량 분석을 이용한 소양호 유역의 계절별 오염물질 유출 해석, 한국산학기술학회논문지, 13(8), pp. 3726-3734
- 박진환, 문명진, 이형진, 김갑순 (2014) 다변량 분석법을 이용한 섬진강 수계의 수질 특성 연구. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 30(2), pp. 119-127
- 박찬진 (2014) 다변량 통계분석을 이용한 영산강 유역의 수질 특성 평가. 석사학위논문, 토목공학과 전남대학교.
- 백희정, 권원태 (2005) 한강과 낙동강 유역평균 월강수량의 기후 특성: I. 유역평균 시계열의 변동, 한국수자원학회 38(2) pp. 111-119
- 부산광역시청 (2015) 낙동강 일반현황, <http://www.busan.go.kr/>
- 손희중 (2013) 낙동강 하류지역의 식물플랑크톤 우점종 군집 변화:2002년~2012년. *Journal of Korean Society of Environment Engineering*, 35(4), pp. 289-293
- 안광국, 양우미 (2007). 금강 수계의 수질 특성. *Korea Journal of Ecology and Environment*, 40, pp. 110-120
- 유재정, 이혜진, 이경락, 이인정, 정강영, 천세억 (2014) 낙동강의 환경요인이 조류 군집 구성에 미치는 영향. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 30(5), pp.539-548
- 윤정희, 유영복, 이재운 (2007) 금강수계 호소와 하천의 수질특성에 관한 통계분석, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 학술대회, pp. 673-681
- 정안철, 정관수 (2015) 다기능보의 수문운영에 따른 금강의 장기하상변동 및 홍수위변화 분석, 한국수자원학회지, 48(5) pp. 379-391
- 환경부 (2014) 2014년 조류발생과 대응 연차보고서

감사의 글

짧고도 길었던 대학원 2년의 생활이 끝이 나고, 본 논문이 만들어지기까지 많은 관심과 걱정을 해주신 많은 분들께 감사 인사를 올립니다.

우선 석사 과정 동안 아낌없는 격려와 지도를 해주신 김일규 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 저의 논문 심사를 맡아주셔서 소중한 조언을 해주셨던 이병헌 교수님, 여석준 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한, 석사 과정 진학에 도움을 주신 권재현 교수님께도 감사를 표하고 싶습니다.

다음으로, 통계분석을 이용한 논문을 작성할 수 있게 도와주시고 선배로써 많은 조언을 해주신 이권철 선배님께 감사드립니다. 타학교 학부 출신으로 부경대 환경공학과 대학원에 입학하게 되어 유해오염물질 제어연구실이라는 낯선 환경에서 잘 적응할 수 있도록 많은 힘과 도움을 주었던 김두현 선배님, 언제나 발랄한 선영이와 Teguh에게 감사합니다. 중간에 들어와 1년 동안 실험실 생활하여 나를 도왔던 소희를 포함하여 Fajar, 현재 실험실 막내 유진이와 건호에게도 감사합니다. 또한, 타실험실 소속이지만 대학원생활을 즐겁게 마무리 할 수 있도록 도와준 모든 분들에게도 감사드립니다. 그동안의 즐거운 추억들이 모두에게 영원하길 바랍니다. 저는 사회로 나오지만 남아있는 학부, 석사 생활도 지금처럼 열심히 하여 훌륭한 결과가 나오길 바라고, 항상 좋은 일만 있기를 바랍니다.

마지막으로, 항상 제 곁에서 든든하게 저를 보살펴주시고 지지해주시는 아버지, 어머니, 동생들에게 감사하고 사랑한다고 전하고 싶습니다. 앞으로 사회에 나가서 제가 가족들에게 든든함 힘이 될 수 있도록 노력하겠습니다. 그리고 하나뿐인 오빠, 저의 愛人 사랑합니다. 고맙습니다.

2016년 1월 유해오염물질제어연구실에서

곽보라