

요 약 문

I. 제목

○ 낙동강 하류 부산시 취수원 수계의 조류 발생 영향 인자별 상관도 연구

II. 연구의 목적 및 필요성

○ 낙동강은 국내의 하천 중 한강과 더불어 최대의 수자원을 보유하고 있음. 하지만, 낙동강 수계의 중·하류는 유량이 적어 유속이 느리고 비점오염물질 유입 등으로 4대강 중에서 연중 부영양화 발생 빈도가 높은 상황임 (황 등, 2013)

○ 수계의 부영양화는 유기물질, 질소 및 인 등의 영양물질과 여러 가지 인자들에 의해 식물플랑크톤이 대량 번식되는 현상으로 정수처리 시 심각한 문제를 야기 시킬 수 있음. 따라서 낙동강 수계 수자원의 효율적 이용과 수 환경 개선을 통한 친수공간으로써의 기능을 위해서는 조류에 대한 제어가 매우 필요한 실정임

○ 이러한 낙동강 수계는 부산, 대구, 경북 및 경남에서 주로 식수 및 농·공업용수로 사용되고 있으며, 낙동강유역환경청 등에서 수질보전을 위해 많은 노력을 기울였으나 조류 대발생 (algal bloom)의 문제가 지속되고 있는 실정임 (김 등, 2002)

○ 일반적으로 하천의 수질 기준은 2~3개의 항목만으로 조사·평가되고 있는데, 낙동강은 다른 하천에 비해 복잡한 유역이용 상황으로 시계열에 따라 매우 다른 수질 양상을 나타내고 있기 때문에 다양한 상황을 고려하여 수질을 평가할 필요가 있음.

○ 특히, 4대강 사업의 전·후에 따라 취수 및 정수에 크게 영향을 미치는 조류의 발생 빈도 및 농도는 4대강 사업으로 인한 보 건설에 따른 사업성과 평가를 위한 주요 척도 중 하나임. 따라서 낙동강 하류 수계의 수리특성 (유량, 유황, 유속, 체류시간 등)은 4대강 사업완공을 기점으로 변화가 예상되므로 4대강 사업 이전 (2008년 이전)과 이후 (2012년 이후)의 수리특성 변화를 해석할 필요가 있음

○ 본 연구에서는 낙동강 하류 부산시 취수원 수계의 영양염류 농도, 수온, 일조량 및 수리특성이 조류 발생에 미치는 영향의 상관관계를 해석하고 이를 토대로 4대강 사업 전, 후의 조류 발생 특성 변화를 평가함으로써, 향후 하천 수계의 조류 제어 및 예경보제 구축을 위한 기초자료를 제공하고자 함

III. 연구의 내용 및 범위

구 분	연구내용	연구범위
1차 연도 (2013.3~ 2013.12)	4대강 사업 이전 낙동강 부산시 취수원 수계의 수리 특성 해석	<ul style="list-style-type: none"> 조사연구 대상지점 선정: 낙본K와 낙본I 수계의 구체적인 조사 대상지점 선정 수리 자료조사 및 분석 (2000~2007)
	4대강 사업 이전의 조류 발생 영향인자별 상관도 평가	<ul style="list-style-type: none"> 영향인자별 자료조사 및 분석 (2000~2007): 수질, 수리, 기상 인자별 조사 및 분석 상관관계 분석: <ul style="list-style-type: none"> 다중회귀분석을 통한 최적 모델 선정 수질, 수리, 기상특성 과 Chl.a와의 상관관계 각각의 영향인자들 사이의 상관관계 해석 영향인자들과 조류 발생 사이의 상관관계 해석
	4대강 사업 이후 낙동강 부산시 취수원 수계의 수리 및 수질특성 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> 조사연구 대상지점에 대한 정부기관 측정자료 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> 국립환경과학원 측정자료 부산시 측정자료 등 수리특성 및 조류 발생 영향인자들에 대한 조사
2차 연도 (2014.1~ 2014.12)	4대강 사업 이후 낙동강 부산시 취수원 수계의 수리특성 해석	<ul style="list-style-type: none"> 4대강 사업 완공에 따른 수리특성 변화 분석 <ul style="list-style-type: none"> 물금, 매리취수구역과 창녕함안보 수계 대상 보에 따른 유량, 유속, 유황 등 수리특성 변화 국토부, 환경부 자료활용
	4대강 사업 이후 조류 발생 영향인자별 상관도 분석(2012~2013)	<ul style="list-style-type: none"> 조사연구 대상지점에 대한 정부기관 측정자료 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> 국립환경과학원 측정자료 부산시 측정자료 등 수리특성 및 조류 발생 영향인자들에 대한 조사 상관관계 분석: <ul style="list-style-type: none"> 국내외 조류 대발생 관련 학술문헌조사 다중회귀분석을 통한 최적 모델 선정 수리특성, 영양염류 농도, 수온, 일조량 등과 Chl.a와의 상관관계 각각의 영향인자들 사이의 상관관계 해석 영향인자들과 조류 발생 사이의 상관관계 해석 4대강 사업 완공에 따른 조사대상 수계의 조류 발생 특성 변화 분석
	조류 제어 및 관리를 위한 방안 도출	<ul style="list-style-type: none"> 연구결과를 토대로 낙동강 하류 부산시 취수원 수계의 조류 제어 관리 방안 도출

IV. 연구결과

○ 16년간의 chl-a 농도변화를 살펴본 결과, 물금과 남지 지점 모두 계절별로 농도 분포가 다르게 나타나며 계절별로 유사한 패턴을 보임. 보 건설 이후로 chl-a 농도는 감소하는 추세를 나타내며 겨울철이 높은 chl-a 농도를, 여름철이 낮은 chl-a 농도를 보임

○ 조류경보제의 등급에 따른 chl-a 농도 분석 결과, 보 건설 이후 조류 대발생 및 조류 경보에 해당하는 고농도의 chl-a 농도가 급격히 감소하였음. 또한 겨울, 봄철의 chl-a 가 다른 계절에 비해 매우 높은 농도를 보임

○ 보 건설 전, 후의 수질 인자들 중 BOD와 T-P 농도가 chl-a 농도변화와 유사한 형태를 나타냄. 하지만 BOD는 측정값이 chl-a 농도를 포함하며 T-N 및 T-P는 겨울부터 봄철까지는 지속적으로 감소하는 경향이 나타나고 이후 농도가 유지되거나 상승하는 현상이 나타남. 또한 보 건설 이후 물금, 남지지점의 여름철 수온은 30℃를 넘는 높은 수치를 보임

○ 보 건설 전, 후의 수리 인자는 모두 변화 형태가 유사하게 나타남. 겨울철에서 여름철로 바뀌는 동안 여름철에 집중되는 강우 및 태풍 등의 영향으로 유량이 급격히 증가하는 경향이 나타났음. 특히 물금지점은 여름철의 유속이 겨울철의 4배 이상으로 급격히 상승하여 유속에 의해 조류발생이 제한 될 수 있는 것으로 보임

○ 보 건설 전, 후 다양한 일조시간에서 고농도의 chl-a가 관찰되어 일조시간이 조류의 증식에 중요한 요인이나 일조 시간만으로 이를 평가내릴 수는 없으며 다양한 인자들이 복합적으로 작용하는 것을 나타냄. 풍속은 조류발생과 큰 상관성을 나타내지는 않음

○ 물금 및 남지 지점의 계절별 영향인자 분석결과 겨울 및 봄철의 저수온기에 더욱 집중된 관리가 필요함. 수리 인자의 경우 몬순기후에 의한 영향으로 여름철이 높은 수치를 나타내었으며 물금이 남지보다 더 하류에 위치하여 상대적으로 더 높은 수치를 보임. 계절에 따른 기상인자의 변화는 두 지점 모두 일조시간과 풍속은 대체로 정 의 관계를 강수량과는 부 의 관계를 보이는 패턴을 나타냄

○ 물금지점의 상관관계 분석 결과 보 건설 전에 수온, pH, DO, BOD, COD, T-N, NO₃-N, NH₄-N, T-P, PO₄-P, 유량, 유속, 수심 및 일사량의 13개 항목이 chl-a와 유의한 상관관계를 가지는 것으로 평가되었으나 보 건설 이후에는 pH, BOD, COD, NH₄-N, T-P 및 PO₄-P의 6개 항목만이 유의한 상관관계를 보임. 기상인자의 경우 더욱 세분화된 데이터의 보완이 필요함. BOD와 COD의 경우 chl-a농도를 포함할 수 있으므로 이에 대한 연구가 더 이루어져야 함

○ 남지지점의 상관관계 분석 결과 보 건설 전 수온, pH, DO, BOD, COD, T-N, NH₄-N, T-P, PO₄-P, 유량, 유속 및 수심의 12가지 인자가 chl-a와 유의한 상관관계를 보였음. 하지만 보 건설 이후 수온, pH, BOD 및 COD의 4가지 인자만이 chl-a와 유의한 상관관계를 나타냄.

○ 계절별 상관관계 분석결과, 여름철의 경우 영양염류 중 PO₄-P, 겨울철의 경우는 NH₄-N 및 T-P, 봄, 가을철은 NO₃-N과 PO₄-P가 영향인자로 나타났으며, 특히 봄, 가을철은 추가적으로 조류발생이 수리인자에 대한 영향을 크게 받는 것으로 나타남. 남지지점 역시 계절별로 다른 종류의 항목들이 유의한 관계를 보였으며 겨울 및 봄, 가을철은 수온의 변화에 따른 조류발생에 대한 영향이 있는 것으로 나타남. 실질적인 물금 및 남지 지점의 조류발생 관리를 위해서는 각 계절에 따른 특성을 파악하여 그에 대한 적절한 관리가 이루어져야 할 것으로 판단됨

○ 조류 개체수와 chl-a농도의 상관관계 분석결과 chl-a와 규조류, 녹조류는 유의한 상관관계를 보이나 여름철에 주로 우점 하는 남조류는 유의한 상관관계를 보이지 않는 것으로 나타남. 따라서 여름철은 일자별 조류 개체수 데이터 확보 후 이를 병행한 분석이 이루어져야 할 것임

○ 물금 지점의 보 건설 전 다중회귀분석 결과 다음과 같은 chl-a 예측모형을 도출

$$Chl.a = -36.277 + 17.742BOD + 4.775DO - 572.959PO_4P + 259.966TP - 0.405Insolation \quad (R^{2*} = 0.799)$$

○ 물금 지점의 보 건설 후 다중회귀분석 결과 다음과 같은 chl-a 예측모형을 도출

$$Chl.a = 4209.717 + 13.18COD + 5.633DO - 8.348TN - 328.826Water\ depth \quad (R^{2*} = 0.737)$$

○ 남지 지점의 보 건설 전 다중회귀분석 결과 다음과 같은 chl-a 예측모형을 도출

$$Chl.a = -108.136 + 13.207BOD + 7.252COD + 2.054DO + 10.566pH - 48.908NH_4N - 136.801PO_4P - 0.007Flowrate \quad (R^{2*} = 0.768)$$

○ 남지 지점의 보 건설 후 다중회귀분석 결과 다음과 같은 chl-a 예측모형을 도출

$$Chl.a = -14.551 + 18.052BOD \quad (R^{2*} = 0.504)$$

○ 보 건설전 물금지점을 대상으로 계절별 Pearson 상관계수 분석을 통해 수온, pH, DO, BOD, COD, T-N, NO₃-N, PO₄-P, 유량, 유속 및 수심의 8가지 인자가 주요 영향인자로 도출되었으며 이를 통해 다음과 같은 chl-a 예측모형을 도출함

$$Chl.a = -28.523 + 13.095BOD + 4.570DO - 403.782PO_4P + 5.929COD - 0.576Water Temp. \quad (R^{2*} = 0.790)$$

○ 물금지점의 보 건설 전, 후 Score값을 이용해 chl-a 예측모형을 도출한 결과는 다음과 같음

- 보 건설 전

$$Chl.a = 54.917 + 40.948Score1 - 8.513Score5 - 3.450Score4 \quad (R^{2*} = 0.786)$$

- 보 건설 후

$$Chl.a = 28.749 + 9.213Score3 - 4.903Score5 \quad (R^{2*} = 0.366)$$

○ 남지 지점의 Score값을 이용해 chl-a 예측모형을 도출한 결과는 다음과 같음

- 보 건설 전

$$Chl.a = 56.829 + 28.696Score3 - 15.105Score1 \quad (R^{2*} = 0.755)$$

- 보 건설 후

$$Chl.a = 28.489 + 14.709Score3 \quad (R^{2*} = 0.527)$$

○ 조류 예측모형은 위 결과들과 같이 입력조건과 병행하는 분석 방법에 의해 다양하게 나타날 수 있음.

○ 조류 제어기술은 대상지점의 특성과 연구결과 맞는 적절한 기술들을 복합적으로

사용해야 함

○ 상관관계 및 회귀모형 도출 과정에서 chl-a에 영향을 미치는 수질, 수리 및 기상인자들과 chl-a에 의해 변화하는 인자들이 존재함. 따라서, 향후 chl-a와 인자들 간의 인과관계를 정확하게 판단하여 연구에 적용하기 위한 분석이 필요함.

○ 최종적으로는 보 건설 이후의 지속적인 데이터 구축을 통해 본 연구결과의 chl-a 예측모형을 활용, 보완하여 조류발생을 예측하고 이를 통해 사전에 조류발생을 예방할 수 있도록 해야 할 것임. 이를 위해 낙동강 수계의 지속적인 데이터 구축과 연구가 이루어져야 할 것으로 판단됨

V. 연구결과의 활용계획

○ 환경적 기대성과

- 조류 발생 현상과 영향 인자별 상관관계 도출로 낙동강 하류 수계의 수질 개선 대책 마련을 위한 기초 자료를 제공
- 조류 발생 영향 인자별 상관성의 정량화를 통한 조류 발생 현상 예측으로 취수원 안정성 확보를 위한 정책 마련에 기초자료를 제공

○ 경제적 기대성과

- 조류 제어 및 관리를 위한 기본 정보를 제공함으로써 취수 및 정수처리시설의 비용과 운영관리비용을 절감
- 향후 낙동강 수계 조류 예경보제 수립을 위한 관련 사업계획의 기본 방향을 제시
- 하천 수계의 조류 발생에 따른 사회적, 경제적 비용 부담 절감

○ 낙동강 조류 제어 및 관리 정책 수립에 기여

- 부산시 취수원 수계의 안정성 향상에 기여
- 낙동강 수질관리 정책 및 하천 조류 제어 정책 수립에 기여
- 환경부의 조류 제어를 위한 정책 및 방안 설정을 위한 기초자료를 제공