

## 예보모델과 GIS를 기반한 대청호의 남조류 발생에 대한 조기예보시스템 개발\*

김만규<sup>1\*</sup> · 박종철<sup>1</sup> · 김광훈<sup>2</sup>

### Development of Early Forecasting System using GIS and Prediction Model related to the Cyanobacterial Blooming in the Daecheong Reservoir of Korea\*

Man-Kyu KIM<sup>1\*</sup> · Jong-Chul PARK<sup>1</sup> · Kwang-Hoon KIM<sup>2</sup>

#### 요 약

대청호와 같이 규모가 큰 인공호수에서의 유해조류 발생을 사전에 예측하고 대응하기 위해서는 생물·화학적 연구와 더불어 GIS, RS 기술을 활용하는 지역분석 전산시스템의 개발도 필요하다. 이 논문의 목표는 대청호에서의 유해조류 생산을 저감시키기 위하여 남조류의 발생에 대한 예보모델을 개발하고 GIS를 기반으로 한 남조류 발생 조기예보시스템을 개발하는 것이다. 이를 위해 대청호에서의 남조류 발생과 환경인자와의 관계에 대한 선행연구 사례들을 분석하였으며, 그 결과 남조류 예보모델 개발을 위해 사용할 환경인자로서 강수와 기온을 선정하였다.

선정한 환경인자와 남조류 발생과의 정성적 상관관계 분석결과를 토대로 대청호의 남조류발생을 수역별로 예측할 수 있는 Rump 모델을 개발하였는데, 이 예보모델은 남조류의 최초발생시기와 급성장시기에 대한 예측이 가능하다. 개발된 예보모델은 GIS를 기반으로 한 남조류 대발생 조기예보시스템에 적용하였으며, 그 결과 대청호에서의 남조류 대발생을 예측하고 관련 자료들을 관리할 수 있는 지리정보시스템이 개발되었다.

주요어 : 조기예보, 남조류, 예보모델, 지리정보시스템

#### ABSTRACT

To anticipate and respond to harmful algae produced in a big artificial lake like Daecheong reservoir, development of a regional analysis computer system using GIS or RS technique is needed in addition to biological and chemical research. The purpose of this study is to develop a cyanobacterial blooming prediction model to prevent harmful algae produced in Daecheong reservoir and construct an early forecasting system based on GIS. For this purpose this paper

2007년 4월 24일 접수 Received on April 24, 2007 / 2007년 6월 4일 심사완료 Accepted on June 4, 2007

\* 이 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(Program for National Research Laboratory)의 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호 M102030-7-2J-510).

1 공주대학교 지리학과 Dept. of Geography, Kongju National Univ.

2 공주대학교 생명과학과 Dept. of Life Science, Kongju National Univ.

※ 연락처 E-mail : aquasia@kongju.ac.kr

examines previous studies related to the relationship between cyanobacteria and environmental factors in Daecheong reservoir and selects precipitation and air temperature as two important environmental factors for the development of cyanobacterial blooming prediction model. Data used in this study are water quality and weather data for three water regions in Daecheong reservoir between 2000 and 2004.

Based on qualitative correlation analysis between cyanobacteria and environmental factors, this paper presents a Rump model which enables us to predict cyanobacteria in water regions of Daecheong reservoir. Under this model the prediction of initial occurrence time and growth period of cyanobacteria are possible. The model is also applied to the GIS-based early forecasting system for cyanobacteria, and finally a GIS which can predict cyanobacteria produced in Daecheong reservoir and can manage the related data is developed.

**KEYWORDS** : *Early Forecasting, Cyanobacteria, Prediction Model, GIS*

## 연구배경 및 목적

현재 우리나라 대부분의 호수에서는 여름철에 부영양화 현상이 나타나고 있으며, 유독성 남조류 등이 출현하고 있다(Watanabe 등, 1993; 박혜경, 1998). 대청호, 용담호, 충주호 등 호수형 호수는 하천의 중·상류에 위치하고 있어 수심이 깊고 체류시간이 긴 반면, 호수 밖으로의 유출율이 낮은 특성(Rhu 등, 1994)을 보이는 데, 이러한 호수들에서는 여름철 오염물질의 유입과 축적에 의한 생물생산 증가가 나타난다(오희목과 김도한, 1995). 실제 대청호에서는 1990년대 이후로는 여름마다 남조류 등 유해조류의 폭발적 증식이 일어난다. 특히 남조류는 곰팡이 냄새, 흙 냄새 등의 이취·미(異臭·味) 장애를 일으키고 독소를 발생시켜 동물과 인체에 유해한 독성물질을 생산하여 피부염을 유발하고 심할 경우 생명에 위협을 초래(Park 등, 1997)하기도 한다. 또한 여과재 폐쇄와 응집침전 저하 등의 정수처리 장애를 일으켜 정수처리 비용을 상승시킨다. 이와 같이 유해조류의 발생과 확산은 사회·경제적으로 큰 피해를 일으키기 때문에 발생 이전에 미리 대처하거나 발생되었을 때 신속하게 처리하는 방안이 필요하다. 그런데, 최근 발표되는 여러 논문을 통해서 알 수 있는 것

은 대청호 및 국내 여러 호수 환경에서 유해조류의 수화(blooming)과 환경인자들이 어떠한 상관관계가 있는지를 밝히는 연구들이 진행되어 왔으며, 남조류 수화에 관한 연구도 다양하게 이루어져 왔다는 것이다.

이 가운데 본 연구와 관련되는 주요한 내용을 간략히 소개하면 다음과 같다. 1999년과 2001년 대청호의 남조류 수화는 수화 이전 시기의 적당한 강수와 이후의 충분한 일조 시기가 있는 이후에 나타났다. 두 해 모두 수화가 절정을 이루는 시기는 8월 하순부터 9월 초순으로, 강수량에 관계없이 일정하였다(Ann 등, 2003). 대청호 본류 수역 중 남조류 수화가 가장 극심한 지역은 대청댐으로부터 약 13km 상류지역인 충청북도 청원군 회남면에 위치한 회남대교 부근이라고 하였다(이정호, 1999). 또한 이정호 등은 대청호에서 남조류 수화에 가장 큰 영향을 미치는 환경요인은 인이며, 특히  $PO_4-P$ 의 상관도가 가장 높으며, 수화의 절정기에 해당하는 중기에는 Chl-a와 수온의 상관도가 높은 상관성을 보여 수온이 상승할수록 식물플랑크톤의 99% 이상을 차지하는 남조류의 생물량이 증가하는 경향이 있다고 하였다(이정호 등, 2003).

천세역 등은 대청호 유역의 유입유량 증가는 조류증식 제한인자인 인을 호수 내로 유입

하는 원인인 동시에 호수 중·상류의 수체에 물리·화학적인 변화를 수반하여 수환경의 변동을 초래함으로써 조류의 증식을 유발하는 원인이 된다고 하였다. 조류의 증식이 풍수년 보다는 갈수년의 경우에 더 많이 발생하고 있으며, 이는 인 부하량의 다소 보다는 유입된 인의 체류기간이나 탁도에 의한 광저해 현상, 유입유량에 따른 수체의 물리적 교란정도 등이 보다 중요한 요인으로 판단하고 있다. 풍수년에는 남조류 중 Microcystis가 상대적으로 우점하고, 갈수년에는 Anabaena가 우점하는 특징이 있다고 하였다(천세억 등, 2006).

인공배양을 통해 남조류 수화와 환경요인과의 관계를 살펴본 연구에서는 최적 증식 배양 온도는 25~30°C이며, 15°C이하와 40°C이상에서는 증식이 없거나 아주 미미하며, 조도에 대한 증식특성은 강광 하에서 증식이 저해되는 강광저해(photoinhibition)가 나타나기는 하였지만, 남조류 중 Microcystis속은 세포내 기포를 이용한 표면 부유 능력을 가지고 있어 이 능력을 이용하여 광의 강도에 따라 수체 내에서 수직 이동을 하는 것으로 알려져 있다고 하였다. 하지만, Microcystis가 강광에 대해 증식이 저해되는 특성을 가지고 있어도 실제 호수에서는 강광을 증식 억제 인자로 보기는 어렵다고 하며, pH에 대한 증식특성은 pH6에서 pH10까지의 범위에서는 증식에 큰 영향을 받지 않고, 특히 pH8, 9, 10의 알칼리성 조건에서도 잘 증식한다고 한다(박혜경 등, 2004). 수온에 대한 연구로 Microcystis의 최적 생육 수온이 25°C 이상이라고 하는 연구도 있다(Chorus와 Barman, 1999).

이상 살펴 본 연구결과들을 종합하여 보면, 대청호에서의 남조류 수화는 강수에 의한 물리·화학적인 수환경의 변화, 수질 특히 인의 변화, 그리고 수온의 변화와 밀접한 상관관계가 있다고 할 것이다. 한편, 일조량과 남조류 수화와의 관계는 연구자들 사이에 다소 이견이 있어 상관관계의 유무를 명확하게 말하기는 어려우며, pH는 남조류의 증식에 크게 관

여하지 않는 것으로 나타났다.

하지만 대부분의 연구들이 생물학적 관점에서 연구되어 온 것으로, 남조류의 발생을 예측하는 예보모델 설계에 관한 연구와 이를 이용하는 시스템 개발에 대한 연구는 없었다. 본 연구는 대청호에서의 유해조류 중 많은 피해를 일으키는 남조류의 발생을 사전에 예측하는 예보모델을 개발하고 GIS를 기반으로 한 남조류 대발생 조기예보시스템(early forecasting system)을 개발하고자 한 것이다.

## 연구방법

연구지역은 대청호 일대이다. 대청호는 충청남도, 대전, 충청북도의 중요한 수자원인데 거의 매년 남조류가 발생하는 지역이다. 대청호는 대청댐관리단에서 수면을 관리하고 있으며, 금강유역환경청에서는 대청호를 회남, 추동, 문의 수역으로 구분하여 조류예보제를 시행하고 있다. 본 연구에서는 금강유역환경청의 수역구분에 따라 기상, 수질측정 자료를 수집하고 분석하였다. 수질자료는 금강유역환경청에서 5년간(2000~2004) 대청호에서 수집한 자료를 제공받은 것이다. 이 자료들은 매년 5월~11월 사이에 약 7일 간격으로 수집된 것이다. 수질자료는 수온, pH, DO, Chl-a 그리고 남조류 등의 항목을 포함하고 있으며, “조류예보제” 시행에 사용되고 있다. 기상자료는 한국기상청의 웹사이트에서 제공하는 관측지점별 기후자료를 다운로드 받아 정리하여 사용하였다(기상청홈페이지). 연구에 사용한 기상관측 지점은 보은, 대전, 청주 3개이다. 본 연구에서 사용된 기상자료를 수역별로 살펴보면, 회남수역에 대해서는 청주관측소 자료를 사용하였고, 추동과 문의 수역에 대해서는 각각 대전관측소와 청주관측소의 자료를 사용하였다. 2000~2003년 수질, 기상자료는 모델을 설계하고 파라미터 값을 결정하는데 이용하였고, 2004년 자료는 모델을 이용한 모의실험 결과를 검증하는데 사용하였다.

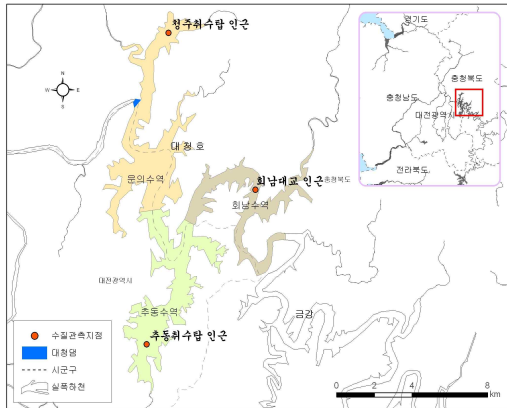


FIGURE 1. 연구지역(회남, 추동, 문의 수역)

남조류 사전 예보모델에서 파라미터로 사용될 환경인자를 결정하기 위해, 대청호에서의 남조류 발생과 환경인자와의 관계에 대한 선행 연구사례들을 분석하여 남조류의 발생 및 수화와 관련이 있는 환경인자들 가운데서 현실적으로 과거자료의 획득가능여부와 미래자료의 획득가능여부를 고려하여 예보모델에서 사용할 환경인자로서 강수량과 기온만을 선정하였는바, 그 이유는 다음과 같다.

먼저, 연구배경에서 살펴 본 대로, 대청호의 남조류 발생과 수화에 대한 환경인자와 관련한 연구의 결과들은 대청호에서의 남조류 발생과 수화는 강수에 의한 물리·화학적인 수환경의 변화, 수질 특히 인의 변화, 그리고 수온의 변화와 밀접한 상관관계가 있다고 한다. 한편, 일조량과 남조류 수화와의 관계는 연구자들 사이에 다소 이견이 있어 상관관계의 유무를 명확하게 말하기는 어려우며, pH는 남조류의 증식에 크게 관여하지 않는 것으로 나타났다. 그런데, 남조류 사전 예보모델을 개발하기 위해서는 남조류 수화와 상관관계가 있는 환경인자들 중에서도 현실적으로 다년간의 실측자료 확보가 가능하여야 하며, 아울러 예보모델 작성 이후에 모델을 이용한 예측을 수행하기 위해서는 환경인자에 대한 미래예측자료의 획득도 가능해야 한다. 남조류 수화와 상관

관계에 있는 강수, 인, 수온에 대하여 이러한 두 가지 측면에서 검토하니, 강수자료는 기상청 및 건교부 등에서 운영하는 강우관측소와 기상관측소 등에서 다년간의 실측자료 확보가 가능한 것으로 파악되었다. 인의 변화를 예보모델 개발과정에서 반영하기 위해서는 수질 예측모델과의 연동이 필요할 것으로 판단되었다. 김만규(2003)는 수치모델링 프로그램의 전·후처리 프로그램을 개발하여 GIS에서 활용한 연구를 수행한 바가 있지만, 본 연구에서는 수질 예측모델과의 연동에 대해서는 향후의 발전방향으로 남겨놓고 인의 변화를 환경인자로 고려하지는 않았다. 이것은 강수에 의한 대청호 유역의 수문변화가 유역에 반영되고, 그 반영결과가 집수구역인 호수에서 물리·화학적인 수환경의 변화를 일으키기 때문에(천세억 등, 2006) 수질의 변화가 강수를 고려하는 과정에서 이미 반영되고 있다고 가정하는 것이 가능할 것으로 판단하기 때문이다.

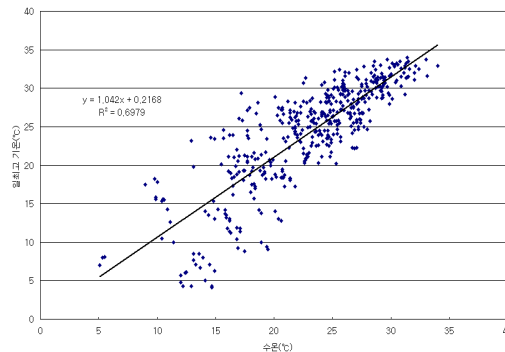


FIGURE 2. 2000~2004년 대청호 3개 수역의 5~11월 사이의 수온과 일최고 기온과의 상관관계(자료수 462개)

수온의 경우, 다년간의 자료는 금강유역환경청에서 조류예보제를 위해 수질을 분석하는 과정에서 축적된 자료로부터 획득하였다. 하지만 미래예측자료를 획득하는데 많은 어려움이 있고, 획득된 과거의 자료가 일단위 연속자료가 아니라는 점에서 활용에 한계가 있었다. 따

라서 수온의 과거 및 미래의 일단위 분포자료가 연구에 필요할 것으로 판단되어 수온분포 모델을 작성하기 위한 연구를 수행하고 있다. 하지만 이 연구는 아직 진행 중이기 때문에 본 연구에서는 수온과 높은 상관관계를 가지고 있는 그림 2 기온자료를 우선 사용하였다. 기온자료는 기상청의 기상관측소에서 실측한 다년간의 자료를 기상청 웹사이트를 통해 확보할 수 있었고, 기온에 대한 미래예측자료는 기상청의 주간예보와 30년 통계자료로부터 획득이 가능하였다. 결론적으로, 사전 예보모델의 개발을 위한 다년간의 실측자료 확보 용이성과 모델 개발 이후의 예측 수행을 위한 미래예측자료의 획득 가능성을 종합적으로 고려한 결과로서 본 연구에서는 강수와 기온만을 예보모델 개발을 위한 환경인자로 선정하였다.

남조류 사전 예보모델은 이러한 과정을 통해 선정된 환경인자와 대청호에서의 남조류 발생과의 관계를 정성적으로 분석하여 설계하였다. 설계된 예보모델에 입력될 파라미터별 입력 값을 결정하기 위하여 가장 먼저 2000~2003년의 대청호 수질자료에 최초발생시기와 급성장시기를 지정하여 데이터베이스화였다. 본 연구에서 최초발생시기는 대청호에서 남조류가 처음 나타나는 시기, 급성장시기는 남조류의 개체수가 이전 측정 내지 모의결과보다 3배 가량 폭발적으로 증가하는 시기라고 정하였다. 급성장시기는 매년 수회에 걸쳐 나타난다. 수질자료에서 나타나는 남조류 개체수의 감소는 인위적인 간섭 없이 수질과 기상환경에 의하여 영향을 받은 것으로 가정하였다.

데이터베이스에 입력된 각 수역 별 최초발생 및 급성장 시기자료를 이용하여 통계 분석과 매트릭스 분석을 수행하면 파라미터 별 입력 값을 결정할 수 있다. 이때 사용한 매트릭스는 본 연구에서 남조류 발생과 시계열적인 강수 이벤트와의 관계를 정량적으로 분석하기 위해 고안된 것이다. 예보모델의 파라미터 별 입력 값에 대한 검증은 2004년 대청호의 남조류 발생에 대한 예측을 예보모델을 이용하여

수행하고, 그 결과를 2004년의 실측자료와 비교함으로써 이루어졌다.

개발된 예보모델은 GIS를 기반으로 한 남조류 대발생 조기예보시스템에 반영하였다. 이 시스템은 ESRI사의 ArcGIS를 기반으로 하여 개발하였으며, 위의 연구를 통해 개발된 각 모듈들은 Visual Basic을 이용하여 ArcGIS에서 사용하는 DLL(Dynamic Link Library) 형태로 이루어졌다.

## 결과 및 고찰

### 1. 남조류 발생과 강수 및 기온과의 정성적인 상관관계 분석

남조류 발생과 강수 및 기온과의 정성적인 상관관계를 살펴보기 위해 그림 3과 같은 그래프를 수역별로 작성하였다. 이 그래프에서는 누적강수량과 일최고 기온을 사용하였으며, 효과적인 분석을 위해 대청호에서 남조류가 주로 발생하고 소멸되는 시기인 매년 5월부터 11월 사이의 자료만을 도시하였다. 그래프를 이용한 정성적 분석 결과는 다음과 같다.

- ① 매년 6월 중순에서 7월 초순경에 남조류가 처음 관찰되고 있으며, 대체로 회남수역에서 가장 먼저 나타나고, 이어서 추동과 문의수역에서 나타나고 있다. 다만 2003년에는 3개의 수역 모두에서 5월 중순경에 처음 관찰되고 있다.
- ② 남조류가 관찰된 이후에는 7~8월 초순까지 지속적으로 성장하고 있으며, 이후 10월 초순~중순까지는 정체 상태에 있다가 이후부터 점차 개체수가 감소하고 있다.
- ③ 남조류가 최초 발생하여 정체 상태에 있는 동안의 일최고 기온은 20~30℃ 사이의 분포의 나타내고 있다. 남조류가 감소하기 시작하는 10월 중순부터는 일평균 최고 기온이 20℃ 이하로 점차 하강하고 있다.
- ④ 이는 일평균 최고 기온이 남조류의 초기 발생과 성장 그리고 감소에 관여하고 있음

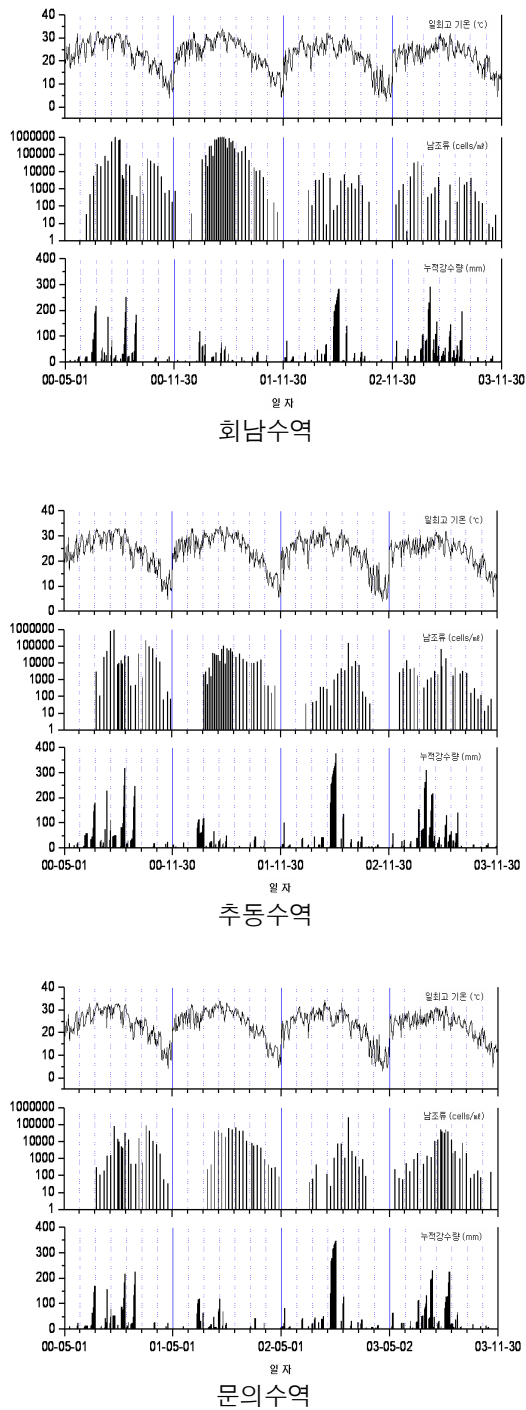


FIGURE 3. 각 수역별 남조류 발생량과 기상 요인의 변화 양상(2000~2003년)

을 의미한다. 하지만 남조류의 생육 조건에 알맞은 최적기온 범주에서의 기온변화는 남조류의 생육과 크게 관계가 없는 것이 확인된다.

- ⑤ 남조류가 최초 발생하기 앞서 20~100mm 이상의 누적강수량이 나타나고 있다. 누적강수량과 남조류 개체수는 동일 시점에서 증감하기 보다는 누적강수량이 먼저 증가하고 남조류의 개체수가 후행하여 증가하는 양상을 보이고 있다.
- ⑥ 많은 누적강수량이 나타나고 있는 기간 동안에는 남조류의 개체수가 감소하는 모습을 보이고 있으며, 강수가 그친 이후에는 남조류 개체수가 점차 증가하여 수화에 이르는 것이 관찰되었다.
- ⑦ 일단 발생한 남조류는 기온조건이 만족한다면 누적강수량의 변화에 따라 개체수가 증감하는 것으로 생각된다.
- ⑧ 2000년, 2002년, 2003년의 8월에서 9월 사이에 나타난 100mm 이상의 누적강수량은 10월에서 11월경 일최고 기온이 하강하기 시작하였음에도 불구하고 남조류 개체수가 많은 양을 유지하는 원인이었을 것으로 추정된다.
- ⑨ 하지만 10월에서 11월경의 누적강수량의 영향에 의한 남조류 개체수 증가는 일시적인 현상이며, 이후 일최고 기온의 하강에 의하여 남조류의 개체수 역시 급격하게 감소하는 경향을 보이고 있다.
- ⑩ 남조류가 최초로 발생하기 위한 일최고 기온 및 누적강수량 조건과 발생이후의 성장 및 수화시기에 있어서의 그것에는 차이가 있는 것으로 생각된다.

## 2. 예보모델의 설계 및 검증

위와 같은 분석 결과를 토대로 작성된 남조류 발생 사전 예보모델의 개념도는 다음과 같다(그림 4). 일최고 기온은 모델 내에서 남조류 발생의 임계치 역할을 하고 있다. 예보모델

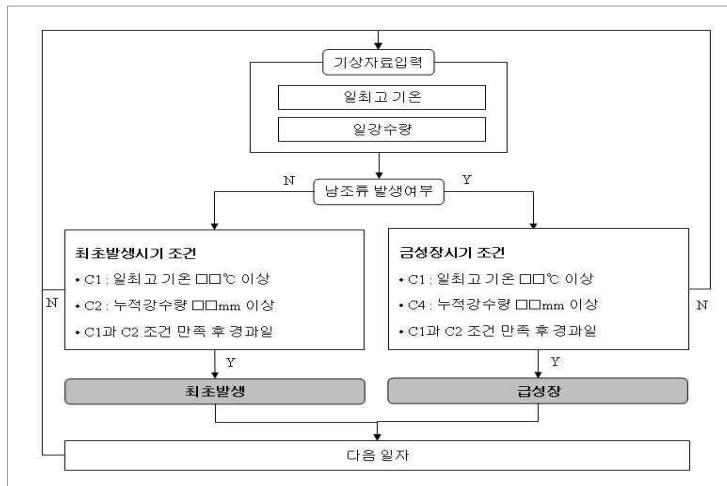


FIGURE 4. 남조류 발생 사전 예보모델의 개념도

TABLE 1. 회남수역 2000-2003년 최초발생시기에 대한 PDMatrix

		누적강수량 (mm 이상)										
		-	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
강수후 경과일 (일 이내)	0		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0
	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2		<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
	4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5		<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7		0	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0
조건만족수		4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	
강수발생횟수		42	14	13	7	6	4	4	4	3	1	
총 자료수	4	데이터베이스에 입력되어 있는 최초발생시기의 총 횟수										

\* 강수발생횟수 : 4월부터 최초발생시기 이전까지의 기간 중 해당하는 누적강수량이 발생한 횟수

은 일최고 기온을 만족하고, 일정량의 누적강수량이 발생하였을 때 그로부터 수일 이내에 남조류가 최초로 발생하거나 이미 발생된 남조류가 급격하게 성장하도록 설계하였다. 예보모델에서는 기상예보자료의 획득을 고려하여 연산 대상일로부터 7일 이후까지 예측할 수 있도록 설계하였다. 다시 말해 예보시점으로부

터 7일 이내에 발생하는 남조류의 변화를 예측한다.

이 예보모델에서는 최초발생시기와 급성장시기를 예측할 수 있다. 각각의 시기에서 고려하는 파라미터들은 일최고 기온, 누적강수량, 조건 만족 후 경과일로 동일하지만 급성장시기 예보에 적용되는 값은 최초발생시기 예보

에 적용하는 값과 다르다. 최초발생시기와 급성장시기의 일최고 기온은, 일최고 기온이 남조류의 발생과 수화에 임계 역할을 하기 때문에, 최초발생시기에 관측된 모든 값들 중 가장 낮은 일최고 기온을 파라미터 값으로 결정하였다. 누적강수량과 조건만족 후 경과일의 값은 매트릭스(PDMatrix Ver.1.0) 분석을 통하여 결정하였다(표 1). 본 연구에서 개발한 PDMatrix는 누적강수량-강수후 경과일수-남조류 발생회수 사이의 관계를 하나의 표로 보여주며, 일정 양의 누적강수량에 도달한 후 몇 일 이내에 남조류가 나타나는지를 분석할 수 있다(김만규와 박종철, 2006). 그 결과 도출된 수역별 파라미터별 입력값을 정리하면 표 2와 같다.

예보모델의 적용 가능성을 평가하기 위해서 2004년 대청호의 남조류 발생에 대해 예보모델을 이용하여 예측을 수행하고, 그 결과를 실측치와 비교하였다(표 3). 예보모델의 예측결과를 살펴보면, 남조류의 최초발생시기는 실측보다 더 이른 시기에 발생하는 것으로 예측되었고, 급성장시기는 실측보다 잦은 빈도의 급성장을 예측하였다. 예측결과와 실측자료 간의 오차를 살펴보면, 추동수역에서는 예보모델에서 예측한 최초발생시기가 실제보다 약 1달 가량 오차가 나타나고 있다. 문의수역에서는 최초발생시기가 약 10일 정도의 오차를 보이고 있다. 집중호우에 따른 유입유량과 방류량 변동에 따른 댐의 수체변동과 수위변동(저수량 변동) 등 기온과 강수 조건 이외의 다양한

TABLE 2. 수역별 예측항목의 파라미터별 입력값

예 측 항 목	파 라 메 터	수 역		
		회 남	추 동	문 의
최초발생시기	일최고 기온	23℃ 이상	25℃ 이상	24℃ 이상
	누적강수량	20mm 이상	40mm 이상	60mm 이상
	두 조건 만족 후 경과일	7일 이내	7일 이내	9일 이내
급성장시기	일최고 기온	23℃ 이상	25℃ 이상	24℃ 이상
	누적강수량	30mm 이상	30mm 이상	30mm 이상
	두 조건 만족 후 경과일	4일 이내	7일 이내	4일 이내

TABLE 3. 모델을 이용한 2004년의 각 수역별 예측결과와 실측자료의 비교

수 역	자료구분	최초발생시기(일자)	급성장회수(회)
회 남	실 측	2004.5.20	5 회
	예 측	2004.5.14~2004.5.20	총 예측 횟수 : 5 회 실측과 일치 회수 : 3 회
추 동	실 측	2004.6.16	3 회
	예 측	2004.5.01~2004.5.4	총 예측 횟수 : 5 회 실측과 일치 회수 : 2 회
문 의	실 측	2004.6.30	3 회
	예 측	2004.6.21~2004.6.22	총 예측 횟수 : 6 회 실측과 일치 회수 : 3 회



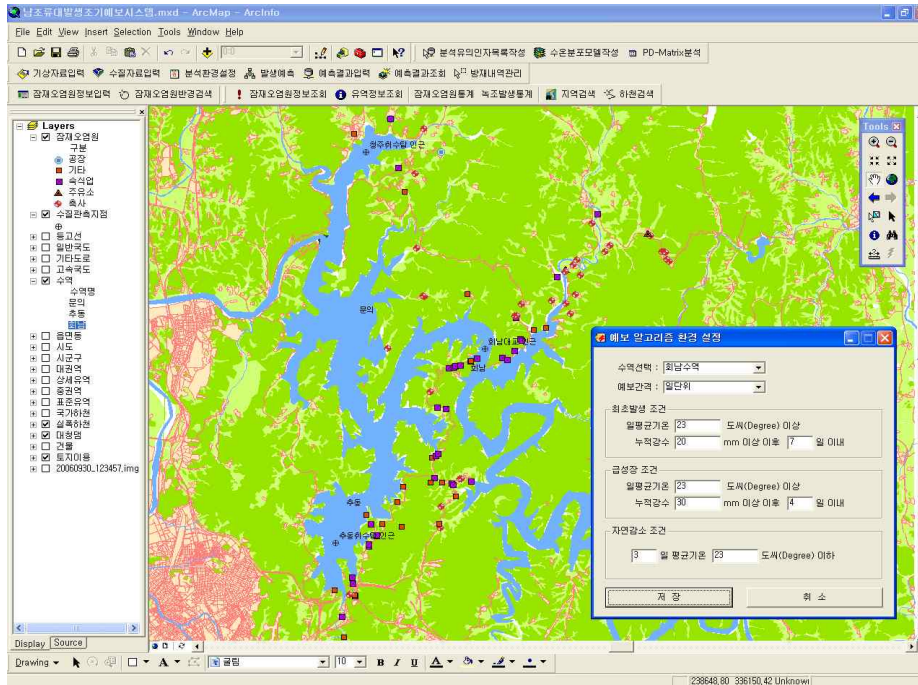


FIGURE 5. 예보 알고리즘 환경 설정

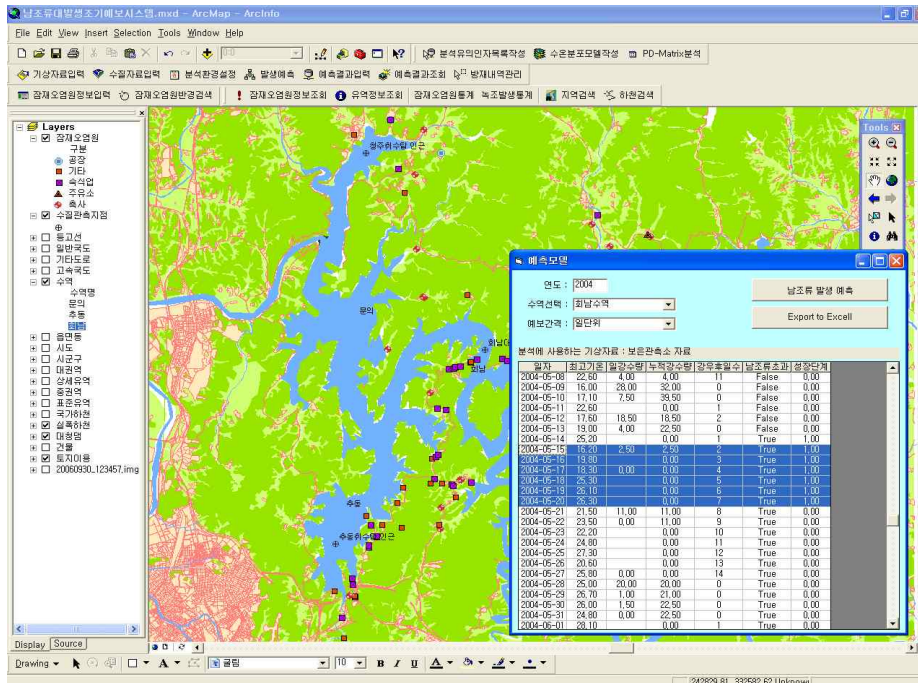


FIGURE 6. 예측모델 수행

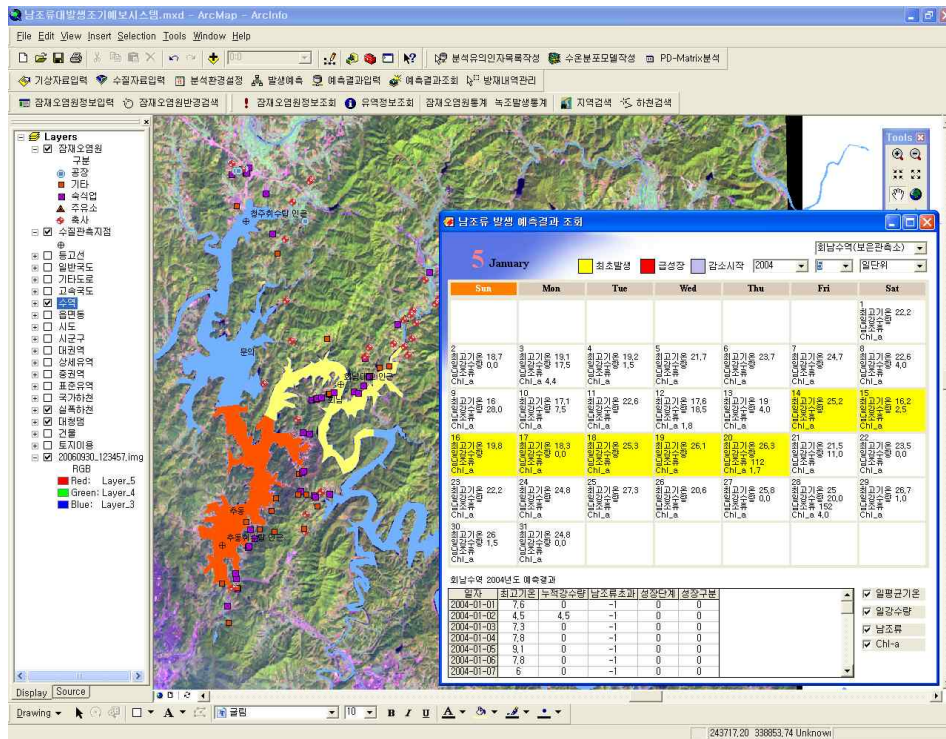


FIGURE 7. 예보결과 조회

요인의 영향력으로 인하여 추동수역에서 10일 정도, 문의수역에서 1개월 정도 예측결과가 다르게 나타나는 것 같다. 회남수역에서의 최초 발생시기 예측결과는 실측치(실제 발생일자)와 유사하게 나타나고 있다. 실측치는 하루 단위의 자료이고 예측결과는 기간자료이기 때문에 예보모델의 예측결과에 대한 정확도를 정량적으로 제시하지는 못하였다.

남조류의 급성장시기에 대한 예보모델의 예측결과는 모든 수역에 대하여 상당부분 실제 발생일자를 포함한다. 이는 본 연구에서 개발된 예보모델과 파라미터 값은 대청호의 남조류 대발생을 예측하는 일에 사용함이 가능하다고 판단케 한다.

### 3. 남조류 대발생 조기에보시스템 개발

개발된 예보모델은 GIS를 기반으로 한 남

조류 대발생 조기에보시스템에 적용하였다. 남조류 대발생 조기에보시스템은 ESRI의 ArcMap을 기반으로 개발되었으며, 예보모델은 VisualBasic을 이용하여 ArcMap의 DLL(Dynamic Link Library) 형태로 개발되었다. 남조류 대발생 조기에보시스템은 대청호에서의 남조류 발생을 사전에 예측하고 주변 잠재오염원 관리와 방재내역의 이력관리 등을 지원하는 시스템이다. 본 연구에서도 출된 파라미터의 값을 수역별로 지정한 후(그림 5), 예보모델을 이용한 분석을 수행하면 수역별로 남조류의 발생의 최초발생과 급성장시기가 예측되어 사용자에게 제시된다(그림 6). 예측된 결과는 달력형식으로 조회할 수 있으며, 그 중 하루를 선택하면 해당일자의 수역별 예측결과가 도면에 표시된다(그림 7).

## 결론

본 연구에서는 대청호에서의 남조류 발생을 수역별로 예측할 수 있는 예보모델을 개발하고, 이를 GIS를 기반으로 한 남조류 대발생 조기예보시스템에 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 대청호에서의 남조류 발생과 환경인자와의 선행연구 분석 및 정량적 관계 분석을 통해 강수량 자료와 기온 자료를 이용하는 남조류 발생 사전 예보모델을 개발하였다. 이 모델에서는 남조류의 최초발생시기와 급성장기를 예측할 수 있다.

둘째, 통계분석과 PDMatrix 분석을 통해 이 예보모델에 적용할 파라미터별 값을 수역별로 도출하였다. 예보모델의 적용 가능성을 평가하기 위해서 2004년 대청호의 남조류 발생에 대해 예보모델을 이용하여 예측을 수행하고, 그 결과를 실측치와 비교한 결과 예보모델에서 예측한 시기가 모든 수역에서 상당부분 실제 발생일자를 포함하고 있었다. 이에 따라, 본 연구에서 개발된 예보모델과 파라미터의 입력 값이 남조류 대발생을 예측하는데 유효한 것으로 생각한다.

셋째, 개발된 예보모델을 GIS를 기반으로 하는 남조류 대발생 조기예보시스템에 적용하였다. 남조류 대발생 조기예보시스템은 대청호에서의 남조류 발생을 사전에 예측하고 주변 잠재오염원 관리와 방재내역의 이력관리 등을 지원하는 시스템이다. 남조류 대발생 조기예보시스템은 수역별로 남조류의 발생을 예측하고 결과를 도면에 표시할 수 있도록 구현하였다.

연구의 결과를 살펴보면 대청호 남조류 최초 발생시기 예측에 있어서는 강수와 기온만으로 처리할 수 없는 집중호우에 따른 댐의 유입유량과 방류량 변동에 따른 수체변동과 저수량 변동 등 여러 복합적 요인의 영향력으로 인하여 추동수역에서 10일 정도, 문의수역에서 1개월 정도 예측결과가 다르게 나타난 것으로 파악되었다. 아울러, 예보모델을 이용한 2004년

대청호의 남조류 발생 예측에서 회남수역의 상류지역이 연구지역에 미치는 다양한 영향을 반영하지 못하였다는 어려움, 수온과 수질을 조금 더 과학적으로 반영하지 못하였다는 점 등이 예보모델의 예측정확성을 떨어트린 것으로 파악되었다. 이러한 한계에도 불구하고 대청호 남조류의 급성장시기에 대한 예보모델의 예측결과는 모든 수역에 대하여 상당부분 실제 발생일자를 포함하였다. 이 점은 본 연구에서 개발된 예보모델과 각 수역에 대한 파라미터 값은 대청호의 남조류 대발생을 예측하는 일에 사용함이 가능하다고 판단케 한다. 따라서, 본 연구는 환경인자를 파라미터로 이용하여 대청호에서의 남조류 발생을 예측하는 예보모델 개발의 출발점이 될 것으로 생각한다.

한편, 현재까지 개발된 예보모델은 남조류 발생을 대청호의 수역단위로 예측하는 Rump 모델이다. 분포형 모델을 개발하기 위해서 기온으로부터 유도된 표층수온 분포모델 작성에 관한 연구와 집중호우에 따른 댐 수위와 수체변화가 남조류 발생에 미치는 영향평가 결과가 예보모델에 도입될 필요가 있다(그림 8).

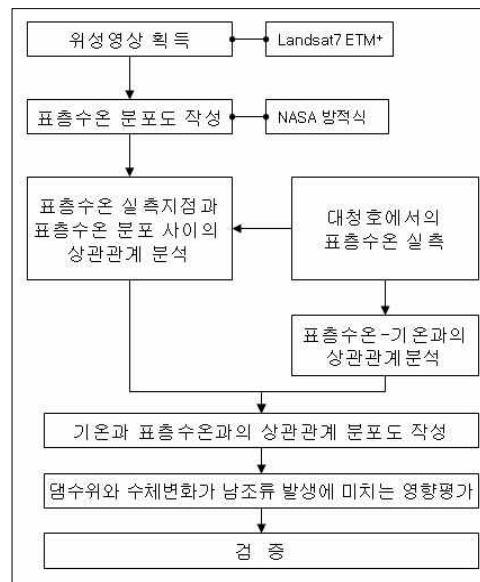


FIGURE 8. 향후 연구 계획 흐름도

이러한 연구가 성공적으로 수행되면 기온자료로부터 유도된 표층수온 분포를 이용하여 대청호의 남조류 발생에 대한 분포형 예보모델도 개발될 것으로 기대한다. **KAGIS**

## 참고 문헌

- 금강유역환경청. 2000-2004. 회남·추동·문의 수역 수질검사결과.
- 김만규. 2003. Visual MODFLOW 지하수 유동 모델링을 위한 GIS 기반 전,후처리기 개발. 한국지리정보학회지 6(2):65-80.
- 김만규. 2006. 대청호에서의 유해조류발생 정성적 예측모델 수립. 한국지형학회 2006년 하계 학술대회. 93-100쪽.
- 김만규, 박종철. 2006. 대청호를 사례로 한 유해조류발생 예측모델 파라미터 값의 결정. 한국지리정보학회 추계 학술대회. 223-231쪽.
- 기상청홈페이지. <http://www.kma.go.kr>. 관측자료-기후자료-과거자료검색.
- 박종근, 이정준. 2005. 대청호의 식물플랑크톤 군집 변화. *Algae* 20(3):197-205.
- 박혜경. 1998. 한국산 남조류 *Microcystis* spp.의 생리·생태적 연구. 경북대학교 박사학위논문.
- 박혜경, 천세억, 유재근. 2004. 인공배양에 의한 수화원인(水華原因) 남조류의 증식특성(增殖特性) 연구. 한국조류학회 8(1):47-54.
- 서영상, 장이현, 김학균. 2003. *C. polykrikoides* 적조의 시공간분포와 중규모 해양환경 변동간의 관계성. 한국지리정보학회지 6(3):139-151.
- 오희목, 김도한. 1995. 대청호의 남조류 수화발생에 대한 단기간적 예측. 한국육수학회지 28(2):127-135.
- 이승기, 이병두, 정주상. 2005. GIS를 이용한 산사태 위험지 판정 모델의 개발. 한국지리정보학회지 8(4):81-91.
- 천세억, 이재안, 이재정, 유영복, 방규철, 이열재. 2006. 대청호 유입유량 변동과 수질 및 조류증식의 관계. 한국물환경학회지 22(2):342-348.
- 이정호. 1999. 대청호의 년중 식물플랑크톤 군집 동태. 한국육수학회지 32(3):358-366.
- 이정호, 이정준, 박종근. 2003. 대청호의 남조류 수화 발달과 환경요인 변화와의 상관 관계. 한국육수학회 36(3):269-276.
- 환경부. 2006.3.6 조류예보제 시행계획.
- Ann, C.Y., H.S. Kim, B.D. Yoon and H.M. Oh. 2003. Influence of Rainfall on Cyanobacterial Bloom in Daechung Reservoir. *Korean J.Limnol.* 36(4):413-419.
- Chorus, I. and J. Bartman. 1999. Toxic cyanobacteria in water. E & FN Spon. London and New York.
- Park H.-K., Cheon S.-U., Jin I.-N. and Ryu J.-K. 1997. A study on the distribution of cyanobacterial strains and microcystins in Korean freshwater. *Proc. Asian Water Qual.* '97.IAWQ.2:1035-1043.
- Rhu, H. I., D. S. Kong, S. U. Cheon, et al. 1994. Studies on Eutrophication Control of Lake and Reservoir(III). Report of NIER. Korea NIER NO. 94-17-432:229-248.
- Watanabe, M. F. and K. L. Harada. 1993. Toxic Water Bloom of Blue-green Algae: Biological and Chemical Characteristics. *Jpn. J. Limnol.* 54:225-243. **KAGIS**