

발간등록번호

11-1541000-001611-01

<http://rri.ekr.or.kr>

인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델 개발(II)

Development of water quality index and management model
for agricultural reservoir using artificial intelligence technique(II)

2012. 12.

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델 개발” 과제의 2차년도 보고서로 제출합니다.

2012 년 12 월 일

주관연구기관명 : 한국농어촌공사
농어촌연구원

연구 책임자 : 함중화

연구 원 : 김미옥
김형중
김동환

위 축 연구원 : Timothy Hong

요 약 문

1. 연구과제명 : 인공지능기법을 이용한 농업용저수지
수질 지표 및 관리모델 개발(II)

2. 연구기간 : 2012년 3월 ~ 2012년 12월 (3년 중 2차년)

3. 연구개요

3.1 연구배경 및 필요성

- 농업용저수지 수질에 대한 관심이 높아지면서 2000년부터 농업용수 수질관리 및 정책수립의 기초자료를 확보할 목적으로 주요 농업용저수지에 대해 수질측정망을 지정하여 운영하고 있음.
- 수집된 자료는 주로 농업용저수지의 연별 수질변화를 분석하는데 사용하고 있으며, 수집된 방대한 자료를 가공하여 농업용저수지 수질을 관리하기 위한 틀을 개발하는 연구는 전무한 것이 현실임.
- 농업용수 수질개선사업을 위한 예비 타당성 조사에서는 개략적인 수질변화 및 이에 따른 개략 공사비를 산출하는 단계이기 때문에 많은 시간과 노력을 투입하여 복잡한 수질예측모델을 구동하는 것은 비효율적임.
- 전국 농업용저수지에 수질개선을 위한 전체적인 마스터플랜 수립과 같은 정책결정을 위해 간단한 모델을 이용해 빠르게 수질예측을 할 수 있는 정책결정 지원용 수질모델이 필요하며, 이러한 모델을 통해 다양한 수질개선대책들이 개발·적용 될 수 있음.
- 본 연구에서는 장기간 수집된 농업용저수지 수질측정망자료를 인공지능기법을 활용하여 저수지의 수질을 효율적으로 관리할 수 있는 농업용저수지 잠재수질지수 및 수질관리모델을 개발하여 수질관리 담당 실무자들에게 제공함으로써 농업용저수지 수질관리 및 수질개선사업을 활성화하여 농촌생활환경개선에 기여하고자함.

3.2 목 적

- 농업용저수지 측정망자료 DB 구축 및 자료분석시스템 개발
- 농업용저수지 잠재수질지수 및 수질관리모델(3차년도) 개발
- 잠재수질지수 및 수질관리모델의 사용자 매뉴얼 작성 및 배포(3차년도)

3.3 연구범위 및 내용

1) 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석

- 유역 내 오염원별 발생 및 배출 특성 분석
- 유입하천 및 저수지 유량 및 수질조사

2) 농업용저수지 수질측정망 자료 DB갱신 및 자료분석시스템 보완

- 2011년 농업용저수지 수질측정망 자료를 추가하여 DB갱신
- 적용성 분석을 통한 수질측정망 자료분석시스템 문제점 보완
- 측정망 대상저수지의 유역분석을 위한 GIS자료 제공기능 추가

3) 농업용저수지 잠재수질지수 개발

- 외국의 수질지수 개발 사례 조사 분석
- 측정망 자료 중 저수지 수질에 영향 미치는 인자 도출
- 인공지능기법을 이용한 농업용저수지 잠재수질지수 개발
- 개발된 잠재수질지수 적용성 분석 및 문제점 도출
- 개발된 농업용저수지 잠재수질지수 활용방안 연구

4) 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구

- 수질관리모델 개발에 활용할 수 있는 인공지능기법 연구
- 선정된 인공지능기법의 모델 도출 적용성 평가

3.4 연구 진행 방법

- 과거 10년 동안 농업용저수지 수질측정망을 운영하면서 수집된 수질측정망자료와 기존의 방법에 의해 수질로부터 산정된 지수 사이의 관계를 인공지능기법 학습을 통해 도출한 후 저수지 수질을 제외한 측정망자료로부터 잠재수질지수를 산정함.
- 잠재수질지수는 기존의 수질관련 지수와 유사한 형태를 유지하지만, 산정방법은 수질이 아닌 유역제원 및 오염원자료로부터 산정되도록 함.



3.5 기대효과 및 실용화 계획

1) 기대성과

- 산재되어 있던 수질측정망 관련 자료를 수집하여 DB구축
- 구축된 DB를 이용해 웹기반의 수질측정망 자료분석시스템 개발
- 농업용저수지 수질관리를 위한 간단한 수질예측기법 제공
- 최신 인공지능 기법을 적용한 수질예측기법 개발을 통한 세계적수준의 연구결과 도출
- 농업용저수지 수질개선사업 활성화에 따른 농어촌용수 수질보전기술 발전
- 농업용수 수질개선계획수립업무의 효율성 제고

2) 실용화계획

- 전국 농업용저수지 수질관리를 위한 신규 관리정책 수립
- 수질개선사업 설계를 위한 시나리오분석 및 설계에 활용
- 농업용저수지 신규조성 및 관리를 위한 수질예측에 활용
- 실무자를 대상으로 한 교육 및 매뉴얼 배포를 통한 실용화
- 연구결과의 전문학술지 게재 및 학술발표를 통한 홍보

4. 연구결과

□ 농업용저수지 유역과 저수지 수질 특성 분석

- 대상저수지 선정 및 조사방법

- 목적 : ‘유역특성, 저수지제원’ vs ‘유입하천 유량 및 수질’ vs ‘저수지 수질’ 사이의 상관관계 분석 및 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출
- 대상저수지 선정 : 경기도내 농업용저수지 측정망 대상저수지(55개소) 중 접근이 용이한 31개소 선정
- 조사방법 : 강우에 의한 영향 및 저수지별 시간에 따른 영향을 배제하기 위해 봄철 단기간 내에 현장조사 실시 (2012년 5월 7 ~9일)
- 조사항목 : 유입하천의 수질 및 유량, 저수지 수질

- 유입하천 및 저수지 수질조사 결과

- 하천 유량 및 수질 특성 : 유량은 유역면적과 같이 저수지별 큰 차이를 나타냄. COD는 평균 6.9 mg/L를 나타냈으며, 용풍저수지의 유입하천이 23.6 mg/L로 제일 높은 농도를 나타냈으며, 장계저수지의 유입하천이 1.6 mg/L로 제일 낮은 농도를 나타냄. 평균 Chl-a는 4.8 mg/m³로 낮은 값을 나타냈으며, 만수저수지의 유입하천에서 17.9 mg/m³로 제일 높은 값을 나타냄.

	유량 (m ³ /day)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
min	145	1.6	0.7	0.4	0.9	0.008	0.5
50percentile	2022	5.2	3.0	6.5	3.2	0.093	3.8
max	17647	23.6	17.4	60.0	14.7	1.022	17.9
mean	4008	6.9	4.2	12.8	4.7	0.189	4.8

- 저수지 수질특성 : 2011년 4회 실측한 수질측정망자료의 평균값과 비교하면, COD는 높았으나 T-N과 T-P은 상대적으로 다소 낮은 농도를 나타냄.

	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	COD기준 수질등급
min	3.2	1.7	1.0	0.7	0.011	1.2	2
50percentile	6.0	3.8	7.5	2.1	0.034	11.9	4
max	28.8	10.0	26.5	4.3	0.164	301.1	6
mean	8.5	4.4	9.6	2.0	0.053	37.9	5

- 유역, 하천, 저수지의 상관관계 분석

- 하천과 저수지 상관관계 : 하천의 유량 및 수질과 저수지 수질의 상관관계를 분석한 결과 저수지의 COD와 Chl-a농도는 유입하천의 대부분의 수질항목과 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, 저수지의 T-P농도는 유입하천의 COD, TOC, Chl-a, T-P와 높은 상관관계를 나타냄.
- 하지만 저수지의 T-N의 농도는 유입하천의 T-N을 제외하고, 모든 수질항목과 상관관계가 없는 것으로 나타났으며, 유입하천의 유량은 저수지의 CI를 제외한 모든 항목에서 상관관계가 없는 것으로 나타남.
- 전체적으로 T-N을 제외하고 저수지 수질은 유입하천의 수질과 높은 상관관계를 나타냄.

'12년 현장조사자료		유입하천							
		유량	COD	TOC	SS	Chl-a	T-N	T-P	CI
저수지	COD	-0.02	0.64**	0.70**	0.29*	0.35**	0.53**	0.59**	0.33*
	TOC	-0.05	0.57**	0.64**	0.19	0.23	0.53**	0.45**	0.27*
	SS	0.15	0.44**	0.35**	0.50**	0.47**	0.40**	0.37**	0.45**
	Chl-a	-0.01	0.59**	0.64**	0.24	0.34**	0.48**	0.61**	0.27*
	T-N	0.24	0.11	0.16	0.02	0.14	0.37**	0.06	-0.01
	T-P	0.05	0.54**	0.61**	0.14	0.40**	0.23	0.62**	0.24
	CI	0.54**	0.36**	0.31*	0.46**	0.29*	0.26	0.32*	0.93**
	수질등급	0.04	0.58**	0.56**	0.40**	0.35**	0.45**	0.46**	0.44**

- 유역과 유입하천 상관관계 : 유역면적, 발생부하량과 하천의 유량 및 수질과의 상관관계를 분석한 결과 하천의 유량은 유역면적 및 부하량(BOD, T-N, T-P)과 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 하천의 T-N은 유역의 BOD 발생부하량과 상관관계가 있는 것으로 나타남. 그 이외의 항목에 대해서는 상관관계가 없는 것으로 나타남.
- 하천의 수질은 T-N을 제외하고, 발생부하량(BOD, T-N, T-P)과 상관관계가 없는 것으로 나타남. 그 원인으로서는 배출부하량이 아닌 발생부하량을 이용한 점을 들 수 있는데, 하천의 수질을 유역의 배출부하량과 비교한다면 상관관계를 나타낼 수 있을 것으로 보임.

'12년 현장조사자료		유역 측정망자료			
		유역면적	발생부하량		
			BOD	T-N	T-P
하천	유량	0.46**	0.52**	0.56**	0.53**
	COD	-0.06	0.07	0.11	0.16
	TOC	-0.07	0.09	0.12	0.18
	SS	0.10	0.13	0.19	0.23
	T-N	-0.12	0.29*	0.23	0.24
	T-P	-0.11	0.08	0.10	0.13
	Chl-a	0.15	0.12	0.21	0.25
	Cl	-0.05	0.12	0.12	0.13

- 유역과 저수지 상관관계 : 유역의 발생부하량(BOD, T-N, T-P)은 저수지의 T-N농도와 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 저수지의 유효수심은 저수지의 COD, TOC, SS, Chl-a, T-P, Cl, 수질등급과 음의 상관관계가 있는 것으로 나타남. 즉, 유효수심이 깊을수록 COD, TOC, SS, Chl-a, T-P, Cl의 농도가 낮게 나타남.
- 특히, 유역의 발생부하량과 저수지 수질과는 상관관계가 없는 것으로 나타나, 향후 수질측정망조사 시 발생부하량보다는 배출부하량을 조사하는 것이 적합할 것으로 판단됨.

'12년 현장조사자료		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	발생부하량			저수량	만수 면적	유효 수심
			BOD	T-N	T-P			
저수지	COD	-0.21	0.05	0.05	0.11	-0.25	-0.13	-0.53**
	TOC	-0.21	0.06	0.06	0.12	-0.24	-0.13	-0.55**
	SS	-0.01	0.09	0.08	0.07	-0.06	0.06	-0.42**
	Chl-a	-0.17	0.03	0.05	0.10	-0.20	-0.09	-0.45**
실측 자료	T-N	0.16	0.39**	0.34**	0.32*	0.12	0.14	0.02
	T-P	-0.11	0.09	0.09	0.12	-0.13	-0.03	-0.41**
	Cl	-0.08	0.15	0.14	0.16	-0.14	0.01	-0.50**
	수질등급	-0.19	0.11	0.08	0.11	-0.24	-0.10	-0.61**

- 유역과 저수지 상관관계(측정망자료 이용) : 본 연구시기와 같은 2011년과 2012년에 대해 수질측정망 825개소의 자료를 이용해 유역 및 저수지 체원과 저수지수질과의 상관관계를 분석한 결과 저수지 실측자료를 이용한 분

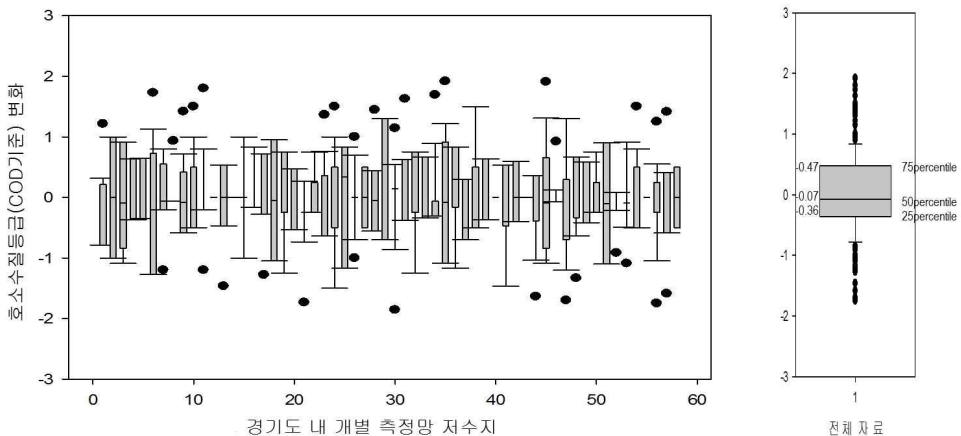
석결과보다도 상관계수가 더 낮게 나타냄.

- 이상의 결과로부터 유역 및 저수지 측정망자료 중 유효수심만이 저수지 수질(COD, TOC)에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 발생부하량 대신 배출부하량을 이용할 경우 유역의 부하량과 저수지 수질간 상관관계가 나타날 수 있을 것으로 판단됨.

'11년, '12년 측정망자료		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	발생부하량			저수량	만수 면적	유효 수심
			BOD	T-N	T-P			
저수지 측정망자료	COD	0.00	0.06**	0.06*	0.06*	-0.01	0.04	-0.30**
	TOC	0.01	0.09**	0.07**	0.08**	-0.01	0.03	-0.29**
	Chl-a	0.00	0.09**	0.09**	0.09**	0.00	0.05*	-0.24**
	T-N	0.00	0.24**	0.22**	0.23**	0.05	0.02	-0.10**
	T-P	-0.01	0.11**	0.10**	0.10**	0.00	0.03	-0.18**
	수질등급	0.01	0.07**	0.06*	0.07**	0.01	0.04	-0.32**

- 경기도 내 수질측정망자료 분석(2001~2011년)

- 경기도 내 55개소 수질측정망 저수지를 대상으로 2001년부터 2011년까지 각 저수지 별로 COD기준 연평균 데이터를 이용해 수질등급을 구한 후 비교해본 결과 11년 동안 평균 수질등급을 0으로 했을 때 연중 수질등급의 변화가 -0.36 ~ 0.47(25 ~ 75 %tile)로 나타났는데, 이는 같은 저수지에서 해마다 수질변화가 다소 크게 나타나는 것을 알 수 있음.



□ 농업용저수지 수질측정망 자료 수집 및 DB 구축

- 시설제원 및 조사지점 자료

- 시설제원 : 통계코드, 시설명, 관리자(공사, 시군), 유역면적, 만수면적, 총저수량, 유효저수량
- 좌표 : 한국농어촌공사 관리 농업용저수지 위경도 좌표 및 수질측정망 대상저수지의 조사지점 좌표(825개소)
- 기타 : 표준코드, 시설구분, 수원공구분, 관리구분, 지구명, 주소코드, 주소, 착공일자, 준공일자, 재원내역, 수혜면적, 한발빈도, 인가면적, 제당(구조, 높이, 길이), 여수토연장, 방수로연장, 홍수/갈수량

- 유역오염원 조사자료(연1회 조사)

- 연도별 오염원수 : 인구수, 축산두수(한우, 젓소, 돼지), 산업(유량), 양식(면적), 토지이용면적(논, 밭, 임야, 기타)
- 연도별 BOD, T-N, T-P 발생부하량 : 생활계, 축산계(한우, 젓소, 돼지), 산업계, 양식계, 토지계(논, 밭, 임야, 기타), 총발생부하량
- 기타 : 연도별 주요오염원, 통계코드, 주소코드, 시도, 시설명

- 저수지 수질조사자료(연1~4회 실시)

- 수질측정자료 : 조사일자(년월일), 수온, pH, EC, DO, BOD, COD, T-N, T-P, SS, Cl, Chl-a, TOC(2010년부터), 중금속(Cu, Pb, Cd, As, Hg; 연 1회조사), 수질등급

- 기타 관련자료

- 수질측정망저수지 GIS자료(대상저수지위치(point), 저수지수면자료(polygon), 유역경계자료(polygon), 하천자료(line))

- 수집된 자료 DB화

- MS-Access를 이용한 DB 구축 : 수집된 저수지제원, 유역오염원자료, 저수지 수질조사자료를 MS-Access를 이용해 DB화함. 자료별로 별도의 table에 저장하였으며, 각각의 table자료는 개별저수지에 부여된 표준코드를 이용해 서로 연계되도록 함. 쿼리기능을 이용해 별도의 table을 생성할 수 있음.
- MySQL을 이용한 web DB 구축 : 웹기반의 농업용저수지 수질측정망 자료 분석시스템을 개발하기 위해 별도로 MySQL을 이용해 web DB를 구축함.

□ 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템 개발

- 개발 방향

- DB업데이트 및 시스템 유지보수가 용이하도록 웹기반의 시스템개발
- 사용하기 쉽고, 대부분의 컴퓨터에서 구동이 가능할 것
- 추가 프로그램설치가 불필요할 것 : 이상의 조건을 만족하도록 Adobe Flash를 이용해 시스템 개발.
- 개발단계 : 시스템 설계 및 구성 → 웹상의 화면 구성 및 개발 → DB와 시스템 연계.

- 웹상의 화면 구성 및 개발

- 저수지별 조사된 측정망자료를 지사별, 지역본부별 및 전국 단위로 평균, 합계 등을 tree구조로 제공하여 사용자가 원하는 저수지, 지사, 지역본부별 통계값을 쉽게 탐색할 수 있도록 함.
- 지역별옵션 선택 시 연도별로 측정망자료를 tree구조로 제공함.
- 연도별옵션 선택 시 지역별 측정자료를 연도순으로 제공함
- tree구조로 제공되는 자료를 선택할 경우 하단에 다양한 형태의 그래프가 제공됨. 지역본부별, 지사별, 저수지별 다양한 통계값을 시각적으로 쉽게 파악할 수 있음.
- 강원지역본부-영북지사 선택 시 영북지사에서 관리하는 4개 저수지의 평균 수질이 그래프로 제공되어, 영북지사 수질관리자는 관리하고 있는 저수지들의 평균 수질농도의 높고 낮음을 직관적으로 파악할 수 있음.
- 수질등급 메뉴에서 경기지역본부를 선택할 경우 경기지역본부 산하 지사별 관리하고 있는 저수지들의 수질등급별 개소수를 누적그래프로 제공하여 어느 지사의 수질이 심각한지 쉽게 파악이 가능함.

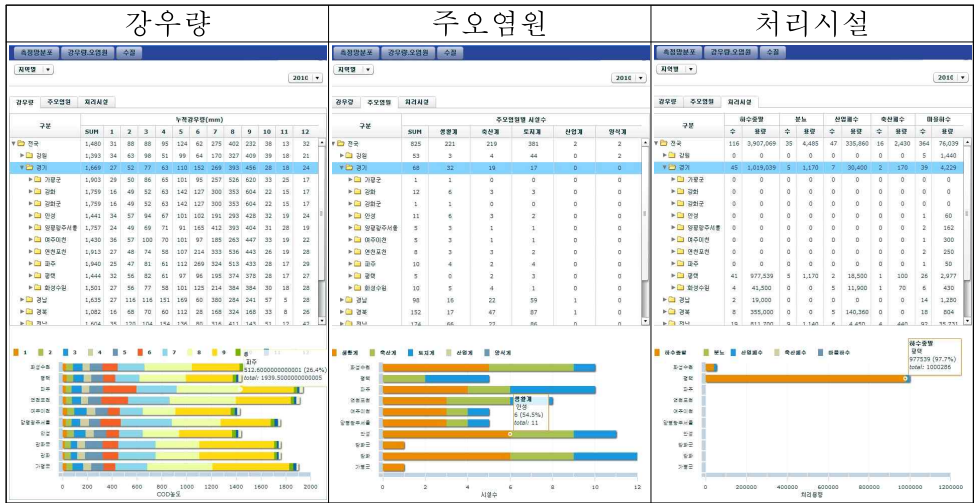
- 개발된 농업용저수지 자료분석시스템

- 농업용수 수질측정망자료 분석이 잘 되어 있는 '농업용수 수질측정망조사 보고서'를 이용하여 제공되는 분석자료를 유형별로 분류하여 다음과 같이 수질측정망 자료분석시스템의 메뉴를 구성함.
- 측정망분포 (지역별, 연도별)
 - 측정망별 : 저수지측정망 및 호소측정망 개소수 및 시설수
 - 규모별 : 저수지규모별 시설수 (<500,<1,000,<5,000,<10,000,<50,000,>50,000)
 - 수계별 : 수계별 농업용저수지 및 담수호 시설수



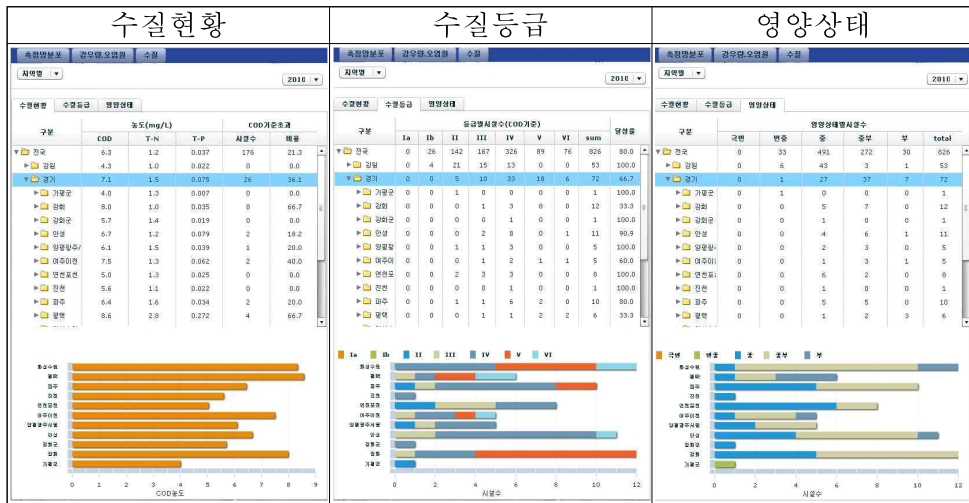
○ 강우량, 오염원 (지역별, 연도별)

- 강우량 : 월간 누적 강우량
- 주요오염원 : 주요오염원 종류별 시설수 (생활, 축산, 토지, 산업, 양식)
- 수처리시설 : 종류별(하수종말, 분뇨, 산업폐수, 마을하수) 시설수 및 용량



○ 수질현황 (지역별, 연도별)

- 수질현황 : COD, T-N, T-P농도, COD기준초과 시설수 및 비율
- 수질등급 : 수질등급별 시설수 (COD기준, Ia~VI), 수질기준 달성율
- 영양상태 : 영양상태별 시설수 (극빈, 빈중, 중, 중부, 부)

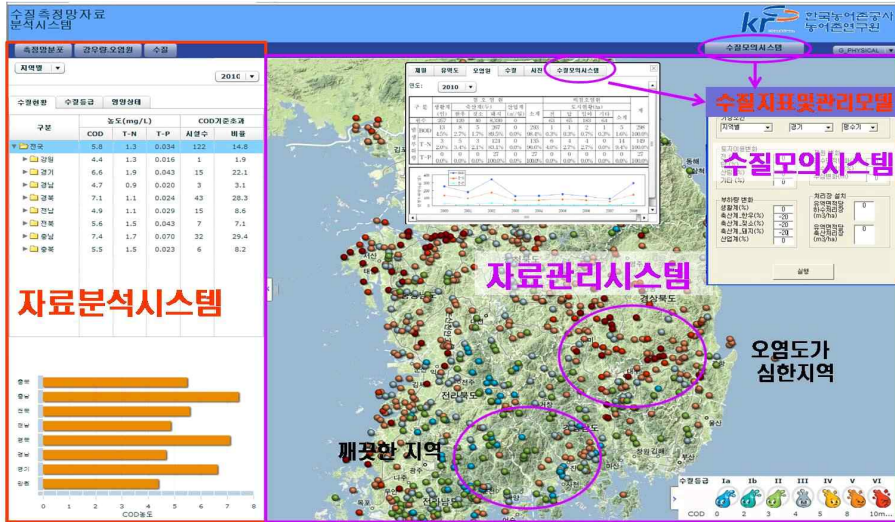


- 인터넷지도 기반의 수질측정망 수질관리시스템 개발

- 수질측정망 자료분석시스템은 수질측정망DB를 연도별, 지역별 표와 그래프로 정보를 제공하여, 전체적인 수질현황을 파악할 수 있는 장점이 있으나, 공간적인 분포 및 특성 파악이 어려움
- 이러한 문제를 해결하기 위해 인터넷지도를 기반으로 한 수질측정망 수질관리시스템을 개발하였음.
- 수질측정망 수질관리시스템은 앞서 개발한 ‘수질측정망 자료분석시스템’을 포함하며, 향후 잠재수질지수 및 수질관리모델을 포함할 계획임.
- 개발된 수질관리시스템은 좌측에 ‘수질측정망 수질관리시스템’을 포함하고 있으며, 우측에 측정망대상저수지의 위치와 현재 수질등급을 환경부 기준 방법으로 색으로 표현함(파란색 Ia등급, 빨간색 VI등급)
- 전국적인 분포는 경기도, 충남, 경북이 전체적으로 빨간색으로 많이 나타나고 있으며, 강원도, 전남지역이 상대적으로 수질이 깨끗한 파란색을 나타냄.
- 관심있는 저수지에 마우스를 올려놓으면, 해당저수지의 시설명, 현재 수질등급 및 COD, T-N, T-P의 수질이 화면에 나타남.
- 인터넷지도별 장단점이 있어서, 본 연구에서는 구글지도와 네이버지도를 같이 적용하여, 간단한 선택으로 총 6가지 인터넷지도를 이용할 수 있음.
- 관심 있는 저수지를 크게 확대시켜 해당저수지의 유역특성을 인터넷 지도를 통해 쉽게 파악할 수 있도록 수질조사지점 외에 하천도, 유역경계,

동리경계를 GIS자료로 구축한 후 수질관리시스템에 추가함.

- 해당 저수지의 유역경계와 동리경계가 제공되어 수질관리시스템의 인터넷 지도를 통해 유역 내 오염원의 위치 및 분포, 관할 동리를 쉽게 파악할 수 있음.



□ 수질지표 개발 사례조사

- 국내 수질지표 개발 현황

- 현재 우리나라는 pH, BOD, COD, SS, DO, T-N, T-P, 대장균과 같은 단일 수질항목지표를 공식적으로 사용하고 있음.
- 여러 연구자들에 의해 종합수질지표를 개발하고 있음. 최지용(1996)은 한국형 종합수질지표로 K-WQI(Korea Water Quality Index)라는 이름으로 평가항목의 선정, 항목별 가중치 설정, 부지수합수 작성, 항목의 종합화를 거쳐 개발하였으며, 수질지표 배점을 100점 만점으로 하여 범위를 정하여 수질을 평가하였음.
- K-WQI를 모태로 기존에 지표가 지녔던 문제점과 한계를 보완하기 위하여 물환경종합평가방법 개발 조사(2004~2006)가 실시되어 종합수질지표로써 K-CWQI와 K-SWQI를 개발하였으며, 이 외에 생물학적 지표로 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식지를 대상으로 한 평가 지수를 개발하였음.
- 2007년부터는 환경부에서 Eco-STAR Project 중 하나로 호수생태계 통합

적 건강성 평가기법을 개발 중에 있음. 이 프로젝트에서는 대규모 댐호에서 중소형 저수지까지의 방대한 데이터를 이용하여 LQI(Korea Lake Water Quality Index)라는 종합수질지표를 개발하고 있으며, 동·식물플랑크톤, 어류, 저서성 대형무척추동물, 수생식물, 물리적 서식지의 평가지표를 개발하여 최종적으로 모든 지표를 통합하여 생태계 건강성 평가를 할 수 있도록 개발 중에 있음.

- 외국의 수질지표 개발 현황

- 미국은 종합수질지표가 가장 많이 연구된 곳으로 각 주마다 평가지표를 만들어 적용하고 있음. 각 주에서 지정한 물의 용도에 대해 종합수질지표의 적합성을 평가하여 중앙정부에 보고하도록 하고 있으며, 수중생태계보존, 물고기섭취, 수영 등의 위락용도, 음용수용도 등과 같이 용도를 분류하여 적합성을 평가하고 있음.
- 캐나다는 이전부터 각 주마다 각각의 WQI를 개발하여 사용하고 있었지만, 단일한 지표를 만들고, 일반인들도 수질의 전반적인 상황을 쉽게 이해할 수 있도록 CCMEWQI를 개발하였음. CCMEWQI는 범위, 빈도, 크기의 세 가지 factor를 이용하고, 측정치와 목표치를 고려하여 최종 값을 산정해 냄. 그 값은 0에서 100까지로 계산되며, 각 구간을 정하여 최종 다섯 단계로 수질상태를 판정함.
- 일본은 종합수질지표를 연구자들이 연구용으로 개발하여 이용하는 경우가 많으며, 통계적 방법과 주성분 분석 등을 이용하여 WQI를 만들어 냄. 일본의 WQI는 BOD를 중심으로 DO, PO₄-P, NH₃-N의 4개 항목을 이용하여 산정하였음.
- 영국에서 사용되고 있는 공식적인 분류시스템은 하천수질을 DO, BOD, NH₃-N 등의 연간측정자료 95%를 이용해 1A에서 4까지의 5개 등급중 하나에 속하는 것으로 분류하고 있음. 종합수질지표는 공식적으로 사용하지는 않지만 연구자들이 관심을 가지고 개발하고 있음.
- 그 외 여러 나라에서 단일항목지표를 이용해 수질을 관리하고 있으며, 연구자들에 의해 다양한 형태의 종합수질지표 및 생물학적 지표를 개발하고 있음.

□ 농업용저수지 잠재수질지수 개발

- 잠재수질지수의 특징

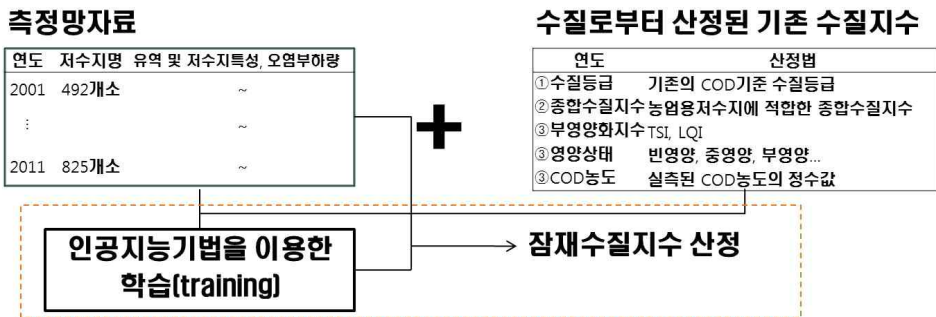
- 기존의 수질관련 지수는 농업용저수지에서 실측된 수질만을 이용해 수

질상태를 4~7등급의 지표 또는 지수로 개발된 반면에, 본 연구에서 개발 중인 잠재수질지수는 저수지 수질에 영향을 미치는 인자(저수지 수질 제외)를 이용해 지수를 도출함.

- 저수지 수질에 미치는 인자만을 이용해 잠재수질지수를 개발할 경우 지역의 오염부하량, 토지이용 등 유역환경변화에 따른 수질변화 분석이 가능하여 약간의 수질모의 기능이 가능함.

- 잠재수질지수 개발 방법

- 과거 10년 동안 농업용저수지 수질측정망을 운영하면서 수집된 수질측정망자료와 기존의 방법에 의해 수질로부터 산정된 지수 사이의 관계를 인공지능기법을 이용해 도출한 후 저수지 수질을 제외한 측정망자료로부터 잠재수질지수를 산정함.
- 잠재수질지수는 기존의 수질관련 지수와 유사한 형태를 유지하지만, 산정방법은 수질이 아닌 유역제원 및 오염원자료로부터 산정되도록 함.
- 지수 산정을 위한 부지수함수를 인공지능기법을 이용해 도출함.



- 잠재수질지수 개발을 위한 패턴인식 프로그램 개발 및 검증

패턴인식 프로그램(ECM) 개발

- Matlab7을 이용해 ECM(Evolving Clustering Method)를 개발함
- ECM은 동적으로 군집(cluster)을 분류해주는 프로그램으로 실측자료를 바탕으로 training과정을 거쳐 군집분류를 위한 fuzzy rule을 생성시켜줌.

개발된 패턴인식 프로그램(ECM) 검증

- 개발된 ECM이 정상적으로 군집을 잘 분류하는지 검증하기 위해 농업용저수지 수질측정망자료 중 2010년 812개소(호소측정망제외)에서 측정된 연평균 COD농도와 수질등급(COD기준)을 이용해 교사(supervised)학습 방

법으로 ECM을 training시킨 후 fuzzy rule을 생성하고 기 분류된 수질등급 (COD기준)과 동일하게 분류되었는지 확인함.

- 2010년 측정망자료를 이용해 ECM을 training시킨 후 COD농도만을 이용해 다시 수질등급을 분류한 결과 실제값(Actual)과 추정값(prediction)이 동일하게 나타남.
- ECM을 이용해서 실제수질등급과 추정수질등급이 동일하게 나타났으며, 수질등급을 분류한 기준(fuzzy rule)을 도출한 결과 호소의 수질등급 분류 기준과 동일하게 유도됨.

- 농업용저수지 수질지수 개발

- 본 연구에서 개발할 농업용저수지 수질지수는 기존에 개발된 수질관련 지표 및 지수와 유사한 형태로 개발을 하고자 적용 가능한 수질관련 지수를 검토함.
- 현재 국내에서 농업용저수지의 수질상태를 나타내는 지수로 COD기준 호소수질등급, Vollenweider영양상태, TSI, LQI, K-WQI 등을 많이 사용됨.
- 농업용저수지의 수질상태를 평가하기 위해 호소수질등급과 같은 단일항목지표보다는 TSI, LQI, K-WQI와 같은 종합수질지표가 더 적합할 것으로 판단되어 3가지 형태의 지수를 검토함.
- 3가지 지수 중 LQI는 최근 우리나라 호소에 적합하도록 환경부 차원에서 개발된 지수로 다양한 수질항목을 고려하여 산정되었고 장기간의 연구를 통해 이론적 근거가 명확한 지수이며 개발 방법이 명확하고 쉬어 농업용저수지 수질측정망자료를 이용해 LQI개발방법과 동일한 방법으로 농업용저수지 수질지수 LQIar을 개발함.
- 개발된 농업용저수지 수질지수(LQIar)는 농업용저수지의 수질농도 분포를 잘 반영하여 지수가 산정됨.
- LQIar는 0부터 100사이의 값을 갖는 지수로 범위가 매우 넓어 일단위에서 반올림하여 재분류 하였으며(LQI10ar), 추가로 A, B, C, ~, F 또는 매우 좋음, 좋음 ~, 매우나쁨 등으로 재분류가 가능함.

- 잠재수질지수 개발을 위한 인자 검토 및 기존 지수 산정

- 저수지 제원관련 수질측정망 자료 중 저수지 수질에 영향을 미치는 인자로 유역면적, 만수면적, 유효저수량, 유효수심(유효저수량/만수면적), 수해면적을 선정하였으며, 부하량자료로는 생활계, 축산계, 점원(생활계+축산계+산업계) 및 전체(점원+토지계)의 BOD, T-N, T-P발생부하량을 선정함.

- 농업용저수지 수질에 영향을 미치는 또 다른 인자로 연평균 강우량과 개별 저수지 관할측후소의 30년 평균 연평균강우량과의 비를 잠재수질지수 개발에 이용함.
- 저수지 수질에 영향을 미치는 저수지 제원(유역면적, 만수면적, 유효저수량, 유효수심, 수해면적), 연도별 COD, T-N, T-P의 발생부하량(생활계, 축산계, 점원, 전체) 및 연도별 연평균 강우량과 30년 평균 대비 비율, 연도별 실측한 연평균 COD, T-N, T-P, Chl-a 농도를 MS-Access를 이용해 DB를 구축함(7373개의 데이터 셋).
- 위에서 구축한 DB를 이용해 6가지 수질관련 지수(COD기준 호소수질등급, 4가지항목 평균 호소수질등급, LQI10, LQI10ar, Vollenweider영양상태, COD농도의 정수값인 CODindex)를 산정함.

- **잠재수질지수 산정을 위한 fuzzy rule도출 및 잠재수질지수 산정**

- 1차년도에 개발한 ECM을 구축한 수질측정망DB와 산정된 수질관련 지수(6가지)를 이용해 학습(training)시킨 후 기존의 수질관련 지수를 산정할 수 있는 fuzzy rule을 도출함.
- 도출된 fuzzy rule을 이용해 구축한 수질측정망DB(저수지제원, 발생부하량, 강우량)로부터 저수지별 연도별 잠재수질지수를 산정함.
- COD기준 호소수질등급은 Ia~VI 등급 모두 기존 방법과 동일하게 저수지 수질농도를 이용해 산정된 값과 인공지능기법을 이용해 산정된 값 사이에 4%포인트 이내의 차이를 나타내었으며, 전체적인 등급 분포도 실측값과 매우 유사하게 추정됨. 전체 7373개의 데이터 중 77%인 5677개가 저수지 수질농도를 이용해 산정한 값과 인공지능기법을 이용해 유역제원 및 부하량자료로부터 추정한 값이 일치하는 것으로 나타났으며, 9%는 실제보다 1등급 높게 8%는 실제보다 1등급 낮게 추정됨. 동일한 저수지도 매년 약간의 수질등급이 변하는 것을 고려해 1등급 차이나는 부분까지 추정이 잘된 것으로 가정할 경우 전체 94%가 기존의 방법으로 산정된 지수와 유사하게 추정됨.
- 4개의 호소수질등급을 산술평균한 평균수질등급은 각 등급별 기존방법과 인공지능방법을 비교하면 등급별로 오차는 2% 포인트 이내로 매우 적게 나타났으며, 등급별 분포도 기존방법과 매우 유사하게 나타남. 전체에서 75%는 정확하게 추정하였으며, 10%는 높게 12%는 낮게 추정함.
- LQI지수는 호소수질등급보다 등급수가 더 많음에도 불구하고 등급별 기

존방법과 인공지능방법 사이의 오차가 1% 포인트 이내로 매우 정확하게 추정되었으며, 전체의 74%가 실측값과 정확하게 일치하는 것으로 나타남.

- Vollenweider영양상태는 등급수가 5등급으로 적음에도 불구하고 빈중영양은 4% 포인트 적게, 중영양은 8% 포인트 많게 추정함. Vollenweider영양상태는 주로 T-P농도만을 기준으로 산정되기 때문에 유역제원 및 발생부하량이 저수지 T-P의 농도에 미치는 영향이 다른 항목보다 적기 때문으로 판단됨. 하지만 정확히 모의된 비율이 전체 77%로 다른 지수보다 기존방법과 더 유사하게 추정됨.
- COD농도 정수값 지수(CODindex)는 다른 지수보다 등급수가 2~3배 이상 많음에도 불구하고 등급별 오차는 2% 포인트 이내로 적게 나타남. 전체적으로 기존방법과 인공지능방법의 차이는 정확하게 추정한 것이 69%로 다른 지수보다 적게 나타남. 기존방법과 1등급 차이 나는 것까지 모두 고려할 경우 전체의 87%가 기존방법과 유사하게 모의되었음.

- 농업용저수지 잠재수질지수 적용성 평가

- 6개의 잠재수질지수 중 LQIar를 10등급 축소시킨 LQI10ar지수가 농업용저수지 잠재수질지수(수질관리지수)로 적합한 것으로 판단됨. LQIar과 LQI10ar은 다른 지수에 비해 다양한 수질항목이 고려되고 등급수가 많으며 장기간 연구를 통해 개발된 방법임.
- 10개의 등급으로 재분류된 LQI10ar은 재분류 과정을 거쳐 우수(>90), 보통(70~80), 문제(50~60), 과락(40이하) 또는 A(>90), B(80), C(70), D(60), F(<50)와 같은 형태로 등급을 재분류 할 수 있는 장점이 있음.
- COD기준 호소수질등급, 수질등급평균, Vollenweider, COD농도 정수값은 농업용저수지 수질관리지수보다는 3차년도에 개발할 수질관리모델을 이용해 추정할 값으로 적합할 것으로 판단됨.

- 잠재수질지수 활용방안

- 본 연구에서 개발 중인 잠재수질지수의 활용방안으로 신규저수지 조성에 따른 예상되는 저수지 수질 상태를 추정하는데 사용이 가능함.
- 기존에 대관령 식수전용댐 개발사업(2010)과 대룡지구 농촌용수개발사업 계획 사업(2012)에서 신규 조성예정 저수지의 수질을 유역모델과 저수지 모델을 연계하여 예측한 바 있는데, 이를 개발 중인 잠재수질지수에 적용하여 그 값을 비교함.

- 모델링 결과와 잠재수질지수를 이용한 결과는 COD기준 수질등급이 대관령지구에서 각각 II와 III으로 다른 것을 제외하고 모두 일치함. 당시 예측된 COD는 4.09 mg/L로 등급 기준에 거의 근접하여 사실상 거의 같다고 볼 수 있음. 따라서 개발된 잠재수질지수는 모델링에 비해 비용과 시간이 훨씬 적게 들면서도 적용 가능성이 큰 것으로 판단됨.
- 개발된 잠재수질지수를 이용해 미래의 인구수, 가축, 공장, 오염원 등의 변화에 따른 COD의 추정이나 영양상태의 추정이 가능함.
- 또한 저수지에서 독 높이기 사업의 영향을 수체 체적의 변화 등을 고려하여 수질 변화를 예측할 수 있으며, 인공습지 등 수질정화시설의 설치로 인한 저수지 수질등급 및 수질지수 변화를 추정 가능함.
- 본 연구에서 개발된 잠재수질지수는 정부차원에서 개발 중인 다른 수질 종합지표나 통합적 건강성 평가 지표와도 연계할 수 있는 방안을 추후에 마련한다면 그 적용성이 더욱 확대될 것으로 기대됨.

□ 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위한 인공지능 기법 연구

- 인공지능 기법 연구

- 본 연구는 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위해 기존에 많이 사용되고 있는 수치모델이 아닌 수집된 자료로부터 수질을 예측하는 데이터기반의 모델링(data based modeling) 방법을 선택하였으며, 여러 데이터기반의 모델링 방법 중 유전자프로그래밍(GP; genetic programming)기법을 고려함.
- 유전자프로그램(GP)의 개요
 - 유전자알고리즘에서 파생된 Evolutionary Computation의 한 종류
 - 각각의 유전자가 함수형태의 정보도 취할 수 있기 때문에 구조최적화에 적합하며, tree구조의 유전자 형태
 - Crossover(교배)과 Mutation(변이) 과정을 거쳐 최적의 함수식 도출

- 선정된 인공지능 기법의 적용성 평가

- 개발된 GP가 자료로부터 다양한 수질모델 도출이 가능한지 평가하기 위해 현장에서 실측한 강우기 조사자료를 이용해 강우량으로부터 강우유출 수 농도를 모의할 수 있는 수질모델을 도출함.
- 도출된 모델의 정확도를 평가하기 위해 데이터기반의 모델링기법 중 가장 대표적이면서도 정확도가 높고 사용이 용이한 다중선형회귀모형

(MLR)과 인공신경망(ANN)을 같이 적용하여 그 결과를 비교·분석함.

- 모델식을 도출한 결과 GP는 다중선형회귀모형과 달리 사용자가 모델의 형태를 지정하지 않아도 인공지능기법에 의해 자동으로 모델의 형태 및 상수를 도출함.
- GP의 적용성을 분석한 결과 MLR, ANN보다 정확도가 높은 결과를 얻을 수 있었으며, 수집된 자료로부터 수질을 예측할 수 있는 모델을 정상적으로 도출함.
- 3차년도에 GP를 이용해 저수지제원 및 부하량으로부터 수질을 예측할 수 있는 모델 도출이 가능할 것으로 판단됨.

□ 종합결론

- 농업용저수지 유역과 저수지 수질특성 분석

- ‘유역의 발생부하량 및 제원’, ‘유입하천 유량 및 수질’ 과 ‘저수지 수질’ 과의 상관관계를 분석하기 위해 경기도내 측정망대상저수지(55개소) 중 접근이 용이한 31개소에 대해 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질을 현장조사함.
- 유입하천의 유량 및 수질과 저수지 수질과는 매우 높은 상관관계를 나타낸 반면, ‘유역의 발생부하량 및 제원’ 과 ‘유입하천 유량 및 수질’, ‘유역의 발생부하량 및 제원’ 과 ‘저수지 수질’ 사이에는 상관관계가 없는 것으로 나타남.

- 농업용저수지 수질측정망 자료관리시스템을 포함한 시스템 개발

- 2011년 농업용저수지 수질측정망 자료를 추가하여 DB를 갱신하였으며, 개별 저수지의 유역특성을 분석할 수 있도록 유역경계, 동리경계, 하천도 GIS자료를 구축함.
- 수질측정망결과를 관리조직별(도본부, 지사, 개별저수지), 연도별로 여러 형태의 분석자료 및 통계값을 제공하기 위해 Adobe Flash를 이용해 수질측정망 자료분석시스템을 개발하였으며, 적용성 분석을 통해 자료분석시스템의 문제점을 보완함.
- 또한 수질측정망자료의 공간적인 분포를 쉽게 나타내기 위해 인터넷지도를 함께 공간정보자료를 제공하는 수질측정망 자료관리시스템을 개발하였으며, 자료분석시스템, 자료관리시스템, 수질모의시스템이 통합된 수질측정망 수질관리시스템의 형태를 개발함.

- 농업용저수지 잠재수질지수 개발

- 농업용저수지의 수질상태를 평가하기 위해 3가지 형태의 종합수질지수(TSI, LQI, K-WQI)를 검토한 결과 장기간 연구를 통해 다양한 수질항목을 고려할 수 있도록 개발된 LQI가 적합하다고 판단되어, 농업용저수지 수질측정망자료를 이용해 LQI개발방법과 동일한 방법으로 농업용저수지 수질지수 LQIar을 개발함.
- 본 연구에서 개발한 잠재수질지수는 기존의 수질관련 지수와 달리 저수지 수질에 미치는 인자(실측 수질자료 제외)만을 이용해 산정할 수 있는 지수임. 잠재수질지수를 개발할 경우 유역의 오염부하량, 토지이용 등 유역환경변화에 따른 수질변화 분석이 가능하여 간단한 수준의 수질모의가 가능함.
- 저수지 수질에 영향을 미치는 인자로 저수지 제원(유역면적, 만수면적, 유효저수량, 유효수심, 수해면적), 연도별 COD, T-N, T-P의 발생부하량(생활계, 축산계, 점원, 전체) 및 연도별 연평균 강우량과 30년 평균 대비 비율을 선정함.
- 구축한 수질측정망DB와 기존에 개발된 수질관련 지수(COD기준 호소수질등급, 4가지항목 평균 호소수질등급, LQI10, LQI10ar, Vollenweider영양상태, COD농도의 정수값인 CODindex)를 이용해 ECM을 학습시킨 후 잠재수질지수를 산정할 수 있는 fuzzy rule을 도출함.
- 도출된 fuzzy rule을 이용해 6가지 잠재수질지수를 산정하고 그 결과를 비교·분석한 결과 기존방법을 이용한 결과와 매우 유사하게 나타남. 그 중 LQI를 10등급으로 변형시킨 농업용저수지 수질지수(LQI10ar)가 농업용저수지 수질관리지수로 적합한 것으로 나타남.

- 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구

- 수질관리모델을 개발하는데 사용할 수 있는 인공지능기법으로 유전자프로그래밍(Genetic Programming)기법을 선정함.
- 실측한 자료로부터 수질을 예측할 수 있는 모델을 정상적으로 도출할 있는지 평가한 결과 정확도 높은 모델 함수식을 도출함.
- 3차년도에 GP를 이용해 저수지제원 및 부하량으로부터 수질을 예측할 수 있는 모델 도출이 가능할 것으로 판단됨.

SUMMARY

1. Title : Development of water quality index and management model for agricultural reservoir using artificial intelligence technique(Ⅱ)

2. Research period : Mar. 2012 ~ Dec. 2012

3. Necessity and objectives

3.1 Background and necessity

- Water quality model is used for predicting reservoir water quality and estimating construction cost in planing stage of agricultural reservoir water quality improvement project.
- Developed popular water quality models are very difficult for hands-on workers who have a little knowledge and experience of water quality model because they require much parameters for model setup and are very complicated.
- Reliable simple water quality model is needed for hands-on workers for agricultural reservoir water quality management.
- Water quality management model can be developed and utilized from monitoring data of water quality monitoring program using artificial intelligence technique for agricultural reservoir water quality management.

3.2 Objectives

- Development of water quality monitoring DB and monitoring data analysis system for agricultural reservoir
- Development of water quality index and management model for agricultural reservoir (2012~2013)
- User manual development and distribution of developed water quality index and management model

4. Scopes and results

4.1 contents and scopes

1) Analysis of watershed and water quality characteristics for agricultural reservoir

- Agricultural reservoirs were selected for analysis of watershed and reservoir water quality characteristics
- Flow rate and water quality of selected agricultural reservoirs was investigated
- Analysis of watershed and reservoir characteristics of selected agricultural reservoir using monitoring data from water quality monitoring program
- A correlation analysis among watershed, stream, and reservoir using monitoring data from water quality monitoring program and field survey

2) Development of water quality monitoring DB and monitoring data analysis system for agricultural reservoir

- Collecting monitoring data related with water quality monitoring program of agricultural reservoir (facility data, pollutant loading, water quality data etc.)
- Analysis of collected monitoring data
- Development of monitoring DB using MS-Access and MySQL
- Development of web-based monitoring data analysis system to search and analyze the developed monitoring DB

3) Development of water quality management index and model for agricultural reservoir

- Case study analysis of water quality index
- Derivation of the major factors which is affected to reservoir water quality among monitoring parameters
- Development of agricultural reservoir water quality management index derivation technique using artificial intelligence technique

- Development of water quality management index using artificial intelligence technique
- Development of water quality management model (2013)
- Development of scenario analysis function to add to developed management model

4.2 Results

1) Analysis of watershed and water quality characteristics for agricultural reservoir

- Stream and reservoir water quality was investigated in the selected 31 agricultural reservoir among 55 agricultural reservoir located in Gyeonggi province to analyze correlation among 'pollutant loading and reservoir characteristics', 'stream flow rate and water quality', and 'reservoir water quality'.
- There is close correlation between 'stream flow rate and water quality' and 'reservoir water quality', whereas there are weak correlation between 'watershed and reservoir characteristics' and 'reservoir water quality'.
- There are close correlation only between pollutant loading and reservoir T-N concentration, and between reservoir effective water depth and COD, TOC, Chl-a, T-P, Cl⁻ concentration of reservoir.
- Although discharge pollutant loading is better than generating pollutant loading for estimating reservoir water quality, generating pollutant loading was used for correlation analysis because there is no discharge pollutant loading data in agricultural reservoir monitoring data.

2) Development of water quality monitoring DB and monitoring data analysis system for agricultural reservoir

- Collecting monitoring data related with water quality monitoring program of agricultural reservoir (facility data, pollutant loading, water quality data etc.) from scattered information systems and various source.
- Analysis of collected monitoring data and development of monitoring DB

using MS-Access and MySQL.

- Analysis system of water quality monitoring data was developed using Adobe Flash to provide various analyzed data and statistics values in each management units and year.
- Internet map based water quality management system (including data analysis system and data management system) was also developed for the spatial distribution analysis of water quality monitoring data.
- Developed water quality index and management model will be added to water quality management system in 2013.

3) Development of agricultural reservoir water quality management index

- From the case study analysis of water quality index, many countries use a single water quality items for water quality index similar with Korea, and several countries use a WQI or ecosystem index.
- Development of agricultural reservoir water quality index derivation technique using artificial intelligence technique.
- Developed ECM (Evolving Clustering Method) estimated exactly water quality grade and fuzzy rule from COD concentration of reservoir.
- Three types of water quality index (TSI, LQI, K-WQI) was considered for agricultural reservoir index. LQI type index was selected for agricultural reservoir water quality index because it was developed by long term research period and using several water quality parameters.
- Agricultural reservoir water quality index LQI_{ar} was developed by same method with LQI using 7313 agricultural reservoir monitoring data set.
- The major factors which is affected to reservoir water quality among monitoring parameters were reservoir characteristics (watershed area, surface reservoir area, reservoir volume, depth, irrigation area), COD, T-N, T-P generated pollutant loading of each year (population, livestock, point source, total), yearly precipitation, and ratio of average yearly precipitation for 30 years.

- Fuzzy rule which can calculate agricultural reservoir management index was developed from reservoir characteristic data, pollutant loading data, precipitation data, and calculated water quality index using ECM.
- Several water quality management index were developed using fuzzy rule from reservoir characteristic data, pollutant loading data, precipitation data except reservoir water quality data.
- Developed water quality management index which was calculated from reservoir characteristic data, pollutant loading data, and precipitation data was very similar with water quality index which was calculated from reservoir water quality.
- Water quality management model will be developed in 2013 using various artificial intelligence technique.

4) Development of agricultural reservoir water quality management model derivation technique using artificial intelligence technique

- Genetic programming was selected as artificial intelligence technique to develop agricultural reservoir water quality management model.
- Selected genetic programming developed reliable model equation which can predict reservoir water quality from monitoring data.
- Agricultural reservoir water quality management model will develop using GP (Genetic Programming) from watershed pollutant loading data and reservoir characteristic data such as surface area, watershed area, water depth, and storage volume in 2013.

5. Expectation and utilization of the results

5.1 Expectation

- Water quality management of agricultural reservoir using developed water quality management index and model
- Development of agricultural reservoir water quality improvement technology
- Agricultural reservoir water quality improvement

5.2 Utilization plan

- Utilization for agricultural reservoir water quality management tool
- Plan and design of agricultural reservoir water quality improvement project
- Determination of optimal waters quality improvement measure
- Developed water quality management index and model advertisement by publishing research results

목 차

1장 서론	1
1절 연구배경 및 필요성	3
2절 연구범위 및 내용	7
3절 연구 진행방법	3
4절 기대효과 및 실용화 계획	6
2장 농업용저수지의 수질특성 분석	9
1절 유역, 하천, 저수지 상관관계 분석	11
1. 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 사전 연구	11
2. 대상 저수지 선정 및 수질조사	13
3. 유역, 하천, 저수지 상관관계 분석	21
4. 경기도 내 수질측정망자료 분석	25
2절 시기별 저수지 수질변화 분석	26
1. 개요	26
2. 대상 저수지 선정 및 수질조사	26
3. 저수지별 유입하천 및 저수지 수질조사 결과	29
3장 수질측정망자료 DB구축 및 수질관리시스템 개발	35
1절 농업용저수지 수질측정망자료 수집	37
1. 한국농어촌공사 내 측정망 관련자료 현황	37
2. 수질측정망자료 수집 및 분석	39
3. 수질측정망자료 DB화	45
2절 수질측정망 자료분석시스템 개발	50
1. 한국농어촌공사 내 수질측정망 관련 시스템 분석	50
2. 자료분석시스템 개발 방향 및 구성	53
3. 웹상의 화면 구성 및 개발	57
4. 개발된 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템	60

3절 수질측정망 수질관리시스템 개발	81
1. 수질관리시스템 개발 개요	81
2. 인터넷기반의 수질측정망 수질관리시스템 개발	82
4장 수질지표 개발 사례 연구	89
1절 수질지표의 정의 및 분류(최지용, 1996)	91
1. 단일항목 지표	91
2. 종합수질지표	92
3. 생태계 평가지표	94
2절 수질지표 국내외 개발 사례연구	95
1. 국내 사례	95
2. 국외 사례(최지용, 1996; 2007)	108
5장 잠재수질지수 개발	123
1절 잠재수질지수 개발방향	125
1. 기존 수질관련 지수와 차이점	125
2. 인공지능 기법을 이용한 잠재수질지수 개발 방향	126
3. 잠재수질지수 개발을 위한 패턴인식 프로그램 개발 및 검증	127
2절 농업용저수지 수질지수 개발	138
1. 농업용저수지 수질지수 형태 검토	138
2. 수질지수 개발방법 검토 및 적용가능성 분석	140
3. 농업용저수지 수질지수 개발	148
3절 잠재수질지수 개발	153
1. 잠재수질지수 개발을 위한 인자 검토 및 DB구축	153
2. 잠재수질지수 산정을 위한 fuzzy rule 도출	156
3. 산정된 잠재수질지수 분석	156
4. 잠재수질지수 적용성 평가	159
4절 잠재수질지수 활용방안 연구	161
1. 신규 조성 저수지 수질 예측	161
2. 기타 활용방안	165

6장 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구	167
1절 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구	169
1. 서론	169
2. 유전자 프로그래밍(GP) 기본 이론	170
3. 인공신경망 모형(ANN)	175
2절 인공지능기법 적용성 평가	180
1. 적용성 평가 개요	180
2. 적용성 평가 방법	180
3. 적용성 평가 결과	185
4. 적용성 평가 결론	191
7장 요약 및 결론	193

표 목 차

(표 2-1) 현장조사 대상저수지 유역 및 저수지 제원	15
(표 2-2) 수질조사 대상저수지의 유역특성	16
(표 2-3) 수질조사 대상저수지의 저수지특성	16
(표 2-4) 2012년 유입하천 현장조사 결과	19
(표 2-5) 2012년 저수지 현장조사 결과	20
(표 2-6) 유입하천과 저수지 사이의 상관관계분석 결과	22
(표 2-7) 유역과 하천의 상관관계분석 결과	22
(표 2-8) 유역과 저수지의 상관관계분석 결과	23
(표 2-9) 31개 저수지 부하량 및 제원과 측정망수질의 상관관계분석 결과	24
(표 2-10) 825개 저수지 부하량 및 제원과 측정망수질의 상관관계분석 결과	24
(표 2-11) 저수지 유형별 선정된 대상 농업용저수지	27
(표 3-1) RIMS 자료구축현황	37
(표 3-2) RAWRIS 자료구축현황	38
(표 3-3) 저수지 제원 DB의 필드이름, 데이터형식, 필드크기	45
(표 3-4) 수질측정망 대상저수지의 수질조사 결과	46
(표 3-5) 수질측정망 대상저수지의 오염원조사 결과	47
(표 3-6) 수질측정망 대상저수지의 처리시설 현황자료	48
(표 3-7) 수질측정망 대상저수지의 처리시설 현황자료	49
(표 3-8) 수질측정망 대상저수지의 시설위치 및 수질조사지점	49
(표 3-9) 수질측정망 자료분석시스템 메뉴구성	55
(표 4-1) 수질지표의 분류	92
(표 4-2) K-WQI에서의 수질지표 배점구분	97
(표 4-3) 부착조류 수질평가 4등급(안)	100
(표 4-4) 저서성 대형무척추동물을 이용한 하천수질평가기준안	100
(표 4-5) 4등급에 의거한 생물학적 수질평가기준(안) 및 생태 지표종	101
(표 4-6) 서식지 평가등급(안)	101
(표 4-7) 한국 호수의 LQI 분포도	103

(표 4-8) 호수 수질 및 플랑크톤을 이용한 호수건강도 평가의 모델 및 모델 메트릭 점수	104
(표 4-9) 호수건강도 평가의 후보 모델 및 모델 메트릭 점수	105
(표 4-10) 저서성대형무척추동물을 이용한 호수건강도 평가의 모델 및 모델 메트릭 점수	106
(표 4-11) 수생식물 메트릭 평가 점수 기준	107
(표 4-12) 수변토양환경 평가메트릭	108
(표 4-13) 산정된 NSFWQI에 의한 오염도 평가기준	109
(표 4-14) 노스캐롤라이나 Mecklenburg County 종합수질지표값과 수질 상태 판정	110
(표 4-15) CCMEWQJ값에 따른 수질 판정과 상태	113
(표 4-16) 등급별 점수범위	117
(표 4-17) 부지수의 범위에 대한 설명	119
(표 4-18) 말레이시아의 WQI 구간별 수질용도	120
(표 4-19) 오염정도별 인자분석 결과	121
(표 4-20) WQI의 분류 제안범위	122
(표 5-1) 적용 가능한 인공지능 기법	127
(표 5-2) ECM 적용과정 설명	131
(표 5-3) 2가지 케이스에 대한 ECMc 매개변수 및 결과	134
(표 5-4) ECM을 이용해 도출한 fuzzy rule	137
(표 5-5) 국내 적용 중인 수질지수	138
(표 5-6) Vollenweider의 영양상태 분류	139
(표 5-7) 종합수질지수 산정방법 분석	140
(표 5-8) K-CWQI 부지수함수	145
(표 5-9) K-CWQI 항목별 평균 가중치	146
(표 5-10) K-CWQI 점수 구간별 특성 및 용도	147
(표 5-11) 수질항목별 25th percentile과 75th percentile 농도	148
(표 5-12) 확률분포별 LQI와 LQIar	150
(표 5-13) 호소수질등급별 농업용저수지 수질지수	151
(표 5-14) LQIar 재분류 및 2011년 측정망대상저수지 분포 비율	152

(표 5-15) 잠재수질지수 개발에 사용되는 지수	155
(표 5-16) 잠재수질지수 적용성 평가 결과	160
(표 5-17) 대관령지구 및 대룡지구의 체원 및 오염부하량	162
(표 5-18) 대관령지구 및 대룡지구 모델링 결과	164
(표 5-19) 저수지 체원 및 오염부하량 자료로부터 추정된 잠재수질 지수 ·	165
(표 6-1) 세 종류의 모델 기법의 예측 성능 비교	173
(표 6-2) 사용한 파라미터와 사용 가능한 함수	174
(표 6-3) 신경회로망의 종류	178
(표 6-4) 강우, 유량 및 수질간의 상관관계	181
(표 6-5) 강우, 유량 및 부하량간의 상관관계	181
(표 6-6) GP 분석을 위한 파라메타 설정	184
(표 6-7) 유량을 포함하지 않은 농도 추정식	186
(표 6-8) 유량을 포함한 농도 추정식	186
(표 6-9) 농도 모의결과의 RMSE 및 R^2	187
(표 6-10) 유량을 포함하지 않은 부하량 추정식	189
(표 6-11) 유량을 포함한 부하량 추정식	189
(표 6-12) 부하량 모의결과의 RMSE 및 R^2	190

그 립 목 차

<그림 1-1> 연구추진체계	7
<그림 2-1> 수질조사 대상지구 위치 및 2012년 수질등급(COD기준) ..	14
<그림 2-2> 유입하천 및 저수지 수질조사 지점(예)	17
<그림 2-3> SPSS를 이용한 상관관계분석	21
<그림 2-4> 경기도 내 측정망저수지 연평균 COD 분포(2001~2011년) 25	
<그림 2-5> 선정된 대상 농업용저수지 유역도	28
<그림 2-6> 미산저수지 유입하천 및 저수지 수질변화	30
<그림 2-7> 용덕저수지 유입하천 및 저수지 수질변화	31
<그림 2-8> 칠곡저수지 유입하천 및 저수지 수질변화	32
<그림 2-9> 만수저수지 유입하천 및 저수지 수질변화	34
<그림 3-1> 농업용저수지 수질측정망 대상저수지 지점 GIS자료	42
<그림 3-2> 농업용저수지 수질측정망 대상저수지 유역경계 및 동리경계 GIS자료	42
<그림 3-3> 농업용저수지 수질측정망 대상저수지 하천도 및 수표면 경계 GIS자료	42
<그림 3-4> 배출부하량 산정과정	43
<그림 3-5> 배출부하량 산정시 오류	44
<그림 3-6> 농업기반시설관리시스템 화면	50
<그림 3-7> RAWRIS 메인화면	51
<그림 3-8> RAWRIS의 수질조사지점의 수질등급 표시	52
<그림 3-9> Adobe flash를 이용한 자료분석시스템 개발	57
<그림 3-10> 수질측정망 자료분석시스템의 tree구조	58
<그림 3-11> 지역별읍선 선택 시 관심연도 선택화면	58
<그림 3-12> 연도별읍선 선택 시 관심지역 선택화면	58
<그림 3-13> 수질현황 표와 그래프	59
<그림 3-14> 수질등급현황 표와 그래프	59
<그림 3-15> 측정망종류별 측정망 분포 현황(지역별읍선)	61

<그림 3-16> 측정망종류별 측정망 분포 현황(연도별옵선)	62
<그림 3-17> 농업용저수지 규모별 분포 현황(지역별옵선)	63
<그림 3-18> 농업용저수지 규모별 분포 현황(연도별옵선)	64
<그림 3-19> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(지역별옵선)	65
<그림 3-20> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(연도별옵선)	66
<그림 3-21> 측정망 대상지역 월간 누적강우량 분포 현황 (지역별옵선)	67
<그림 3-22> 측정망 대상지역 월간 누적강우량 분포 현황 (연도별옵선)	68
<그림 3-23> 농업용저수지 주오염원 분포 현황(지역별옵선)	70
<그림 3-24> 농업용저수지 주오염원 분포 현황(연도별옵선)	70
<그림 3-25> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(지역별옵선)	72
<그림 3-26> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(연도별옵선)	73
<그림 3-27> 농업용저수지 수질 분포 현황(지역별옵선)	74
<그림 3-28> 농업용저수지 수질현황(연도별옵선)	75
<그림 3-29> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(지역별옵선)	77
<그림 3-30> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(연도별옵선)	78
<그림 3-31> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(지역별옵선)	79
<그림 3-32> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(연도별옵선)	80
<그림 3-33> 수질측정망 수질관리시스템 구성도	81
<그림 3-34> 개발 중인 수질측정망 수질관리시스템	83
<그림 3-35> 수질측정망 수질관리시스템에서 제공되는 인터넷 지도	83
<그림 3-36> 개발 중인 자료관리시스템 전체화면	84
<그림 3-37> 개발 중인 자료관리시스템 내 GIS자료	85
<그림 3-38> 개발 중인 자료관리시스템의 세부자료 제공화면	86
<그림 3-39> 자료관리시스템의 오염원자료 위치정보 제공기능	87
<그림 5-1> 농업용저수지 잠재수질지수 개념도	125
<그림 5-2> 농업용저수지 잠재수질지수 개발 과정 개념도	126
<그림 5-3> ECM GUI 실행화면	129
<그림 5-4> ECM을 이용한 간단한 군집분류 과정	131

<그림 5-5> 2가지 나선문제 : ECMc의 학습용 데이터와 결정 영역 ..	135
<그림 5-6> ECM을 이용한 수질등급 추정결과 검증	136
<그림 5-7> ECM을 이용해 찾아낸 분류 규칙	136
<그림 5-8> ECM을 이용해 도출한 fuzzy rule	137
<그림 5-9> LQI 및 LQIar 분포	151
<그림 5-10> ECM에 의해 도출된 fuzzy rule	156
<그림 5-11> COD기준 호소수질등급 및 잠재호소수질등급	157
<그림 5-12> 평균호소수질등급 및 잠재평균호소수질등급	157
<그림 5-13> LQI10 및 잠재LQI10	158
<그림 5-14> LQI10ar 및 잠재LQI10ar	158
<그림 5-15> Vollenweider영양상태 및 잠재Vollenweider영양상태	159
<그림 5-16> CODindex 및 잠재CODindex	159
<그림 5-17> 신규저수지 수질예측 과정	161
<그림 5-18> 대관령지구 및 대룡지구 유역 및 소유역 분할도	162
<그림 5-19> 대관령지구 및 대룡지구 HSPF모식도	163
<그림 5-20> 대관령지구 및 대룡지구 HSPF모델 보정	163
<그림 5-21> 대관령지구 및 대룡지구 CE-QUAL-W2 모식도	164
<그림 6-1> 유전자 프로그래밍의 유전자형	170
<그림 6-2> 교차 연산의 원리	171
<그림 6-3> 돌연변이 연산의 원리	171
<그림 6-4> 복제 연산의 원리	171
<그림 6-5> 유전자 프로그래밍을 이용한 SS 및 MLSS농도 예측 결과 ..	172
<그림 6-6> 유전자 프로그램 모델을 위해 사용한 프로그램	173
<그림 6-7> 인공신경망의 처리 요소	179
<그림 6-8> 전형적인 3층 구조의 인공신경망	179
<그림 6-9> 재인교 유역	180
<그림 6-10> SPSS를 이용한 다중선형회귀분석	182
<그림 6-11> 인공신경망 모형의 실행화면	183
<그림 6-12> 사용한 인공신경망의 3층 구조	183
<그림 6-13> Matlab을 이용해 작성된 GP프로그램	184

<그림 6-14> 농도 모의 결과(유량 미포함)	187
<그림 6-15> 농도 모의 결과(유량 포함)	187
<그림 6-16> 부하량 모의 결과(유량 미포함)	190
<그림 6-17> 부하량 모의 결과(유량 포함)	190

1장 서론

1장 서론

1절 연구배경 및 필요성

1. 연구의 배경

농업용저수지 수질에 대한 관심이 높아지면서 2000년부터 농업용수 수질관리 및 정책수립의 기초자료를 확보할 목적으로 주요 농업용저수지에 대해 수질측정망을 지정하여 운영하고 있다. 하지만 수집된 자료는 주로 농업용저수지의 연별 수질변화를 분석하는데 사용하고 있으며, 수집된 방대한 자료를 가공하여 농업용저수지 수질을 관리하기 위한 틀을 개발하는 연구는 전무한 것이 현실이다.

한편 농업용저수지가 단순한 용수공급 기능을 넘어 지역사회와 친수 공간 제공 및 친환경농산물 생산을 위한 청청용수 공급 등의 기능이 추가로 필요하게 되어 농업용저수지의 수질관리 및 개선대책 수립관련 업무가 증가하고 있다.

일반적으로 효율적인 저수지의 수질관리를 위해 수질예측모델이 많이 활용되고 있다. 현재 많은 종류의 저수지 수질예측모델이 제시되어 있으나 입력변수가 다양하고 많기 때문에 전문적 지식을 충분히 갖추고 있지 않은 일선 실무자들은 모델 구동에 어려움이 있다. 비록 복잡한 수질예측모델에 대한 지식 및 경험이 있더라도, 대부분의 농업용저수지의 경우 실측자료 부족으로 모델 구동을 위한 입력자료를 생성할 수 없다. 농업용수 수질개선사업이나 신규 저수지 개발사업을 위한 예비 타당성 조사에서는 개략적인 수질변화 및 이에 따른 개략 공사비를 산출하는 단계이기 때문에 많은 시간과 노력을 투입하여 복잡한 수질예측모델을 구동하는 것은 비효율적이다.

전국 농업용저수지에 수질개선을 위한 전체적인 마스터플랜 수립과 같은 정책결정을 위해 간단한 모델을 이용해 빠르게 수질예측을 할 수 있는 정책결정 지원용 수질예측모델이 필요하다. 이러한 모델을 통해 전국단위의 합리적인 수질개선정책 수립이 가능하고 수질개선을 위한 다양한 기법들이 모델을 통해 합리적으로 평가되어 다양한 수질개선대책들이 개발·적용 될 수 있다. 농업용저수지 독 높임 사업과 같이 대규모 신규 개발사업을 기획할 때 신규사업에 의한 수질영향을 짧은 시간에 검토할 수 있는 쉽고 간편한 모델이 지원될 경우 다양한 형태의 신규개발사업 계획이 가능해진다. 또한 국민들의 의식수준 변화로 농업용저수지 신규 개발을 포함한 대규모 개발사업에 앞서 합리적인 방법으로 수질을 예측함으로써, 개발사업이 수질이 큰 영향을 미치지 않음을 증명해야만

개발에 동의하고 있다.

본 연구에서는 장기간 수집된 농업용저수지 수질측정망자료를 인공지능기법을 활용하여 저수지의 수질을 효율적으로 관리할 수 있는 농업용저수지 수질지표 및 관리모형을 개발하여 수질관리 담당 실무자들에게 제공함으로써 농업용저수지 수질관리 및 수질개선사업을 활성화하여 농촌생활환경개선에 기여하고자 한다.

2. 연구의 목적

- 농업용저수지 수질측정망자료 DB구축 및 자료분석시스템 개발
- 농업용저수지 잠재수질지수 및 수질관리모형(3차년도) 개발
- 개발된 잠재수질지수 및 수질관리모형의 사용자 매뉴얼 작성 및 배포(3차년도)

2절 연구범위 및 내용

1. 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석

- 유역 내 오염원별 발생 및 배출 특성 분석
- 저수지와 유입하천의 유량 및 수질조사

2. 농업용저수지 수질측정망 자료 DB갱신 및 자료분석시스템 보완

- 2011년 농업용저수지 수질측정망 자료를 추가하여 DB갱신
- 적용성 분석을 통한 수질측정망 자료분석시스템 문제점 보완
- 측정망 대상저수지의 유역분석을 위한 GIS자료 제공기능 추가

3. 농업용저수지 잠재수질지수 개발

- 외국의 수질지표 개발 사례 조사 분석
- 측정망 자료 중 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출
- 인공지능기법을 이용한 농업용저수지 잠재수질지수 개발
- 개발된 잠재수질지수 적용성 분석 및 문제점 도출
- 개발된 농업용저수지 잠재수질지수 활용방안 연구

4. 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구

- 수질관리모델 개발에 활용할 수 있는 인공지능기법 연구
- 선정된 인공지능기법의 모델 도출 적용성 평가

3절 연구 진행방법

1. 기본 추진 방향

- 농업용저수지 및 현장 실무자가 쉽게 이용할 수 있도록 최대한 간단하고 쉬운 잠재수질지수 및 수질관리모델 개발
- 최신 인공지능기법 연구분야에서 외국 우수 연구 인력과 공동연구를 추진하여 세계적 수준의 연구 결과 도출 및 기술 축적

2. 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석을 위한 유역 및 수질 조사

- 현장조사 대상 저수지 선정
 - 접근이 용이한 경기도내 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지 중 31개소를 선정
- 유역 부하량의 발생 및 배출특성 분석
 - 측정망 보고서 상의 부하량과 대상 저수지의 부하량 비교 검토
 - 발생부하량과 배출부하량의 특성 분석
- 유입하천 및 저수지 유량 및 수질조사
 - 대상 저수지의 모든 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질조사
 - 실측된 유입하천 및 저수지의 실측자료 분석
- 유역 vs 유입하천 vs 저수지의 상관관계 분석
 - 실측된 유입하천의 수질과 저수지 수질과의 상관관계 분석
 - 유역의 측정망자료와 실측된 하천 수질과의 상관관계 분석
 - 유역 및 저수지 제원과 실측된 저수지 수질과의 상관관계 분석
 - 유역 및 저수지 제원과 저수지 측정망 수질과의 상관관계 분석
 - 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출

3. 농업용저수지 수질측정망 분석시스템 개발

- 수질측정망 DB 구축
 - 농업용저수지 측정망자료, 제원 등을 포함한 다양한 자료 수집
 - 수집된 자료 분석 후 MS Access를 이용해 DB구축 및 오류 확인
- 수질측정망 자료분석시스템 개발
 - 농업용저수지 관리자 및 현장 실무자에게 필요한 측정망자료를 쉽게 검색 및 통계값을 제공할 수 있는 분석시스템 구축
 - 시스템의 유지관리, DB 업데이트를 쉽게 할 수 있도록 웹기반으로 시스템 개발
 - MS-Access를 이용해 구축된 DB 중 일부 DB를 MySQL로 변환
 - 농업용저수지 관리자 및 현장 실무자에게 필요한 측정망자료를 쉽게 검색 및 통계값을 제공할 수 있도록 직관적 프로그램 개발이 가능한 Adobe Flash를 이용해 시스템 개발
 - 3차년도에 최종 개발될 잠재수질지수 및 수질관리모델이 측정망 자료 분석시스템과 연계되어 구동될 수 있도록 추가로 자료관리시스템 및 수질모의시스템 개발
 - 실무자의 의견을 반영될 수 있도록 임시 웹서버를 설치하여 실무자를 상대로 임시 서비스 실시

4. 농업용저수지 잠재수질지수 및 수질관리모델 개발

- 농업용저수지 잠재수질지수 개발
 - 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출 및 분포 분석
 - 도출된 인자를 바탕으로 잠재수질지수 개발할 수 있는 fuzzy rule도출
 - 정량화 결과를 활용한 잠재수질지수 개발
- 농업용저수지 수질관리모델 개발
 - GB기반의 evolutionary model induction system을 이용한 식 도출
 - 도출된 식을 이용한 관리모델 개발
 - 개발된 모델의 활용성을 높이기 위한 다양한 시나리오 분석기능 개발



<그림 1-1> 연구추진체계

4절 기대효과 및 실용화 계획

1. 기대성과

- 산재되어 있던 수질측정망 관련 자료를 수집하여 DB구축
- 구축된 DB를 이용해 웹기반의 수질측정망 자료분석시스템 개발
- 농업용저수지 수질관리를 위한 간단한 수질예측기법 제공
- 최신 인공지능 기법을 적용한 수질예측기법 개발을 통한 세계적수준의 연구결과 도출
- 농업용저수지 수질개선사업 활성화에 따른 농어촌용수 수질보전기술 발전
- 농업용수 수질개선계획수립업무의 효율성 제고

2. 실용화계획

가. 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획

- 농업용저수지 신규조성 및 관리를 위한 수질예측에 활용
- 전국 농업용저수지 수질관리를 위한 신규 관리정책 수립
- 수질개선사업 설계를 위한 시나리오분석 및 설계에 활용

나. 사업부서 교육 및 기술지원 내역 및 계획 등 기타활용 방안

- 실무자를 대상으로 한 교육 및 매뉴얼 배포를 통한 실용화
- 연구결과의 전문학술지 게재 및 학술발표를 통한 홍보

2장 농업용저수지의 수질특성 분석

2장 농업용저수지의 수질특성 분석

1절 유역, 하천, 저수지 상관관계 분석

1. 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 사전 연구

가. 저수지 수질

우리나라에 있는 18,000여개의 저수지는 주로 농업용수로 사용되고 있으며, 그 외 전력공급, 홍수 조절, 산업용수 등의 다양한 목적으로도 사용되고 있다(Kim *et al.*, 2001; Hwang *et al.*, 2003). 우리나라의 연간 강수량은 1,200 mm로 세계 평균 강수량에 해당하나, 강수량의 절반 이상이 6~8월의 여름철에 집중되는 특성을 보인다(Hwang *et al.*, 2003). 이러한 강수량의 계절적 변이는 여름철 집중된 강수를 저장하여 강수가 부족한 시기에 사용할 수 있도록 하는 저수지의 기능을 더욱 강화하였다. 그러나 최근 농림부 보고서에 따르면 농업용 저수지의 저수량 감소 및 부영양화 현상이 급속하게 나타나고 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

우리나라 대부분의 저수지는 여름철 부영양화로 인해 녹조현상이 빈번하게 일어나고 있다(농림부, 2000). Rawson(1995)에 따르면 호소의 깊이가 얕을수록 부영양화가 쉽게 발생하는데, 우리나라 저수지의 대부분이 수심이 얕고 노후화되어있다(Hwang *et al.*, 2003). 이는 우리나라 저수지가 수심이 얕아 부영양화가 쉽게 되며, 저수지의 노후화로 인해 침전물로부터 영양염류의 축적 가능성이 증가하게 되어 부영양화의 가능성이 높아지는 것을 의미한다.

Harper(1992)에 따르면 저수지 내 제한 영양염인 인의 유입 증가는 저수지 부영양화를 발생시킨다. 저수지의 부영양화는 저수지 내 식물플랑크톤을 증가시켜 저수지 투명도를 감소시키고, 저층의 식물플랑크톤 부패로 용존산소가 감소하는 등의 수질 변화를 초래한다(신 등, 2002). 또한 저수지의 부영양화는 저수지 내 투명도, 총인 농도, Chl-a 농도와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이들 환경 인자는 저수지의 영양상태를 분류하는 기준으로 사용된다(Carlson, 1977). 특히 Chl-a 농도가 저수지 영양 상태를 나타내는 데 있어 가장 중요한 역할을 한다(Lu, 1999). 그러나 우리나라 농업용 저수지 수질 기준에는 Chl-a 농도에 대한 규제가 없어 부영양화 정도를 판단하고, 이를 근거로 수질개선 사업을 시행할 법적 근거가 없다(이 등, 2003).

농업용저수지의 수질을 관리하기 위해서는 모니터링을 통한 개개의 저수지

특성을 파악하고, 그 특성에 따른 저수지의 관리가 필요하다. 그러나 우리나라에 있는 모든 저수지를 효율적으로 모니터링하고 관리하기란 현실적으로 매우 어려운 일이다. 따라서 이들 저수지들의 이화학적, 수리수문학적 특성을 분석하고, 그 특성에 따른 농업용저수지의 수질 예측관리가 필요하다. 이 등(2007)은 농업용 저수지 내에서 수질변이의 특성을 파악하기 위해 영양염류와 조류 생산력의 관계를 분석하였으며, 전 등(2002)은 우리나라 농업용 저수지에서 물리학적 인자의 영향에 대한 연구를 하였다.

나. 토지이용과 저수지 수질

농업용저수지들은 완공 후 시간이 경과할수록 유입되는 토사나 오염물질이 증가하기 때문에 저수지의 부영양화를 유발할 가능성이 높아진다. 저수지의 수질은 지역적인 기후, 유역 내 오염원, 지형, 그리고 호수 규모와 같은 형태적인 차이와 유입수량, 수체의 흐름, 물의 순환 등 수리수문학적 체계에 영향을 받을 수 있다(김과 황, 2004, 윤 등, 2007). 유역내의 토지이용 형태가 저수지의 수질변화에 크게 영향을 미친다는 많은 보고가 있다(Gburek and Folmar, 1999). 수질이 유역 내의 토지이용의 유형에 영향을 받는 것은 강우에 의한 표면 유출이 하천과 저수지로 영양염류를 포함하는 오염물질을 이동시키기 때문에 발생한다. Lenat and Crawford(1994)과 Fisher *et al.*(2000)은 농경지역의 토지이용이 질소와 인 등의 영양물질의 농도에 영향을 주는 것으로 보고 하였으며, Tong and Chen(2002)은 주거지역과 상업지역, 그리고 농업지역의 토지이용이 질소와 인의 농도와 상관성이 있다고 하였으며, Brainwood *et al.*(2004)은 인의 경우에는 주거지역과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 초지의 토지이용과 높은 상관성을 보인다고 하였다. 국내에서 김과 황(2004)은 농업용저수지를 대상으로 유역 내 토지이용 중 논과 밭의 농경지 비율과 질소와 인의 상관성을 보인다고 보고하였다.

한편 윤 등(2007)은 농업용저수지 유역의 토지이용과 수질항목 간의 상관관계 분석에 대한 연구를 통하여 다음과 같이 보고하였다. 연구 대상 저수지로 유입되는 유역 내의 토지이용은 산림과 농경지가 대부분인 전형적인 농촌유역 특징을 갖고 있으며, 토지이용과 수질 간의 상관관계를 분석한 결과 밭에서는 모두 양의 상관관계를 나타내고 있으며, 모두 유의 수준 1% 이내의 높은 상관성을 나타내었다. 한편 주거지역은 수질과 양의 상관성을 갖는 것으로 나타나서 저수지 수질에 악영향을 미치는 것으로 평가하였다. 밭의 경우는 건기, 우기에서 모두 유의수준 1% 이내의 양의 상관관계를 나타내고 있어 수질에 좋지 않

은 영향을 미치는 것으로 평가하였다. 밭에서 많은 양의 토사가 유출되는데, 그 자체가 오염물질이고, 토사에 흡착된 오염물질들이 토사로 인해 이동하게 된다. 또한 밭에서는 여러 가지 작물을 연중 재배하기 때문에 많은 시비로 공급된 질소성분이 강우와 함께 유출, 침투되어 수질오염을 야기하는 것으로 판단하였다. 산지의 경우는 건기와 우기에서 모두 음의 상관관계를 나타내며, 모두 유의 수준 1%에서 음의 상관성을 갖는 것으로 평가하였다. 따라서 저수지로 유입되는 유역에서 산림의 비중이 높은 지역은 다른 지역에 비해서 저수지 수질을 관리하는데 유리하며, 산림은 오염물질을 배출하는 오염원이기 보다는 수질개선에 도움을 주는 토지이용으로 평가하였다. 한편 논외의 경우도 저수지의 수질에 좋지 않은 영향을 주는 것으로 평가되었는데, 대상 농업용저수지가 위치 특성상 대부분 관개를 목적으로 유역의 상류에 조성되어 있기 때문에 상대적으로 깨끗한 수질에 적은 발생 부하량에도 민감하게 양의 상관관계를 나타낸 것으로 판단하였다.

한편 EPA(1992)는 농경활동에 의한 비점오염원이 하천 수질악화의 72%, 호수 수질악화의 56%, 그리고 강어귀에서의 수질악화의 43%를 기여하므로 농업활동이 지류와 호수에서 오염물질의 가장 큰 원인이 되고 있다고 하였다.

2. 대상 저수지 선정 및 수질조사

가. 개요

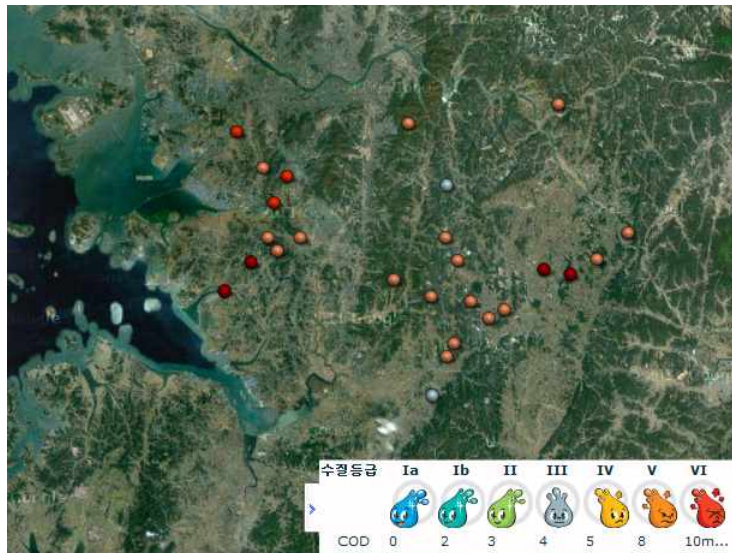
2000년부터 농업용저수지의 수질관리 및 정책결정을 위해 일부 중요한 저수지에 대해 수질측정망으로 지정하여 수질조사를 실시하고 있다. 2012년 현재 전국 18,000여개 농업용저수지 중 규모가 크고 수질 문제가 발생할 가능성이 높은 825개 농업용저수지에 대해 25개 저수지는 농업용호소수질측정망으로 지정되어 월1회 환경부에서 수질조사를 실시하고 있으며, 800개소는 농업용수 수질측정망으로 지정되어 년4회 수질조사를 실시하고 있다. 수질측정망 대상저수지 825개소 중 11개소는 담수호이며, 814개소는 저수지이다.

2000년부터 지정되어 운영되어온 농업용저수지 수질측정망조사는 저수지 수질조사 외에 연1회 유역의 오염원을 조사하여 계별 오염원수 및 발생부하량을 산정하여 제시하고 있다. 하지만, 유입하천에 대해 유량 및 수질조사를 실시하지 않아 유역, 하천, 저수지의 상관관계 분석을 위해 반드시 유입하천의 유량 및 수질조사를 실시해야 한다.

이에 본 연구에서는 농업용저수지의 유역, 유입하천, 저수지의 제원 및 수질 간에 어떤 상관관계가 있는지 분석하기 위해 수질측정망대상 저수지 중 일부 저수지를 선정하여 유입하천의 유량과 수질, 저수지의 수질을 현장 조사하였다.

나. 대상 저수지 선정

825개소 농업용저수지 중 접근이 용이한 경기도내 55개소 중 서울의 남쪽에 존재하는 저수지 31개를 대상저수지로 선정하였다. 선정된 저수지의 유역 및 저수지 제원은 (표 2-1)과 같으며, 위치는 <그림 2-1>과 같다. 선정된 저수지 중 COD기준 2등급인 저수지는 2곳, 3등급인 저수지는 8곳, 5등급인 저수지는 3곳, 6등급인 저수지는 8곳이며, 그 외 10개 저수지는 4등급이다.



<그림 2-1> 수질조사 대상지구 위치 및 2012년 수질등급(COD기준)

(표 2-1) 현장조사 대상저수지 유역 및 저수지 제원

	유역 면적 (ha)	만수 면적 (ha)	저수 량 (천m ³)	유효 수심 (m)	발생부하량(g/day)			저수지농도(mg/L)		
					BOD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
대평	725	13.6	641	4.7	22	19	1.5	5.7	1.42	0.037
성호	616	34.7	858	2.5	191	94	13.3	12.2	3.99	0.114
삼합	170	4.8	145	3.0	4	5	0.3	5.0	0.94	0.023
도척	980	14.4	701	4.9	86	61	4.8	4.3	1.93	0.030
고삼	7,100	229.9	15,217	6.6	1,575	822	113.9	5.8	3.20	0.097
덕산	485	32.0	1,859	5.8	38	28	2.8	5.0	1.61	0.032
향리	360	15.5	488	3.1	24	19	1.5	10.2	0.99	0.087
원부	630	15.4	576	3.7	13	17	1.2	4.3	1.47	0.026
장계	225	12.0	878	7.3	3	4	0.3	4.9	1.03	0.022
용설	790	53.8	3,064	5.7	53	40	3.2	6.2	1.36	0.026
용풍	500	24.7	715	2.9	449	226	43.4	10.5	2.80	0.092
이동	9,300	305.4	20,906	6.8	1,875	927	114.6	6.5	1.77	0.217
미산	442	20.4	1698	8.3	25	20	1.5	4.6	2.13	0.021
용덕	1250	21.6	943	4.4	78	52	4.1	3.7	2.14	0.020
홍중	710	14.5	483	3.3	282	94	10.5	6.9	1.85	0.089
기천	755	39.3	2,164	5.5	120	72	7.3	5.3	1.38	0.042
반월	1,220	36.6	1,166	3.2	405	146	14.4	9.4	1.88	0.052
동방	628	55.9	1,014	1.8	556	283	43.1	11.9	1.26	0.149
왕송	1,555	83.6	2,077	2.5	1,448	447	49.1	10.5	4.32	0.207
보통	716	36.2	1,071	3.0	145	63	6.1	9.9	2.03	0.102
덕우	2,270	82.7	3,547	4.3	445	224	22.7	7.6	1.47	0.069
홍부	1,320	50.3	1,840	3.7	348	147	14.5	8.3	2.48	0.086
먹우	830	49.4	600	1.2	252	154	21.7	11.0	2.48	0.177
용담	700	37.7	1,023	2.7	81	50	4.7	10.4	1.78	0.067
칠곡	391	15.8	544	3.4	79	41	3.7	5.8	1.66	0.041
두창	287	18.4	1,223	6.6	25	17	1.9	5.6	1.60	0.030
어천	380	25.4	894	3.5	31	19	1.6	6.9	1.89	0.057
만수	375	22.3	614	2.8	592	318	50.4	11.9	2.08	0.181
금광	4,830	138.4	12,047	8.7	226	200	18.2	4.9	1.54	0.026
마둔	1,240	40.5	3,486	8.6	66	54	4.5	5.0	1.20	0.022
청용	730	16.6	1,594	9.6	15	19	1.3	3.9	1.42	0.022

* 수질측정망 조사결과 2012년 기준

선정된 31개 저수지의 유역면적은 최소 170 ha(삼합), 최대 9,300 ha(이동)이며 평균 1,371 ha로 저수지별 매우 큰 차이를 나타내었다. 조사대상저수지의 BOD 발생부하량은 최소 3 kg/day(장계), 최대 1,875 kg/day(이동)이며, 평균 424 kg/day로 나타났다. 최대 BOD 발생부하량은 유역이 가장 큰 이동지와 고삼지에서 차례로 높게 나타났으며, 왕송지는 유역이 1,555 ha로 31개 저수지 중 평균 정도 였으나 BOD 부하량이 1,448 kg/day로 매우 높게 나타났다. 오염발생부하량은 왕송지를 제외하고는 유역면적이 클수록 발생부하량에 높게 나타나 전체적으로 유역면적과 매우 높은 상관관계 ($R^2 > 0.8$)를 나타내었다. 왕송지의 경우 유역이 도심화되고, 인근 도시의 하수가 모여 처리장을 거쳐 배출되지만 그 농도가 매우 높아 전체 유입 부하량에 큰 영향을 미치고 있다. 대체로 유역면적과 배출부하량이 비례관계를 보이고 있으나 금광저수지는 유역면적이 이동지의 절반 정도인데 비해 BOD 배출부하량은 8배 이상 작은 것으로 나타났다.

2012년 수질측정망 결과에 의하면 대상저수지의 COD는 평균 7.2 mg/L이며, 성호저수지가 12.2 mg/L로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 다음으로 동방지와 만수지가 11.9 mg/L로 높게 나타났다. COD가 가장 낮은 저수지는 용덕지와 청용지로 각각 3.7 mg/L와 3.9 mg/L로 수질등급 II등급을 나타내었다.

(표 2-2) 수질조사 대상저수지의 유역특성

	유역면적 (ha)	발생부하량(kg/day)		
		BOD	T-N	T-P
min	170	3	4	0.3
median	716	86	61	4.8
max	9,300	1,875	927	114.6
mean	1,371	308	151	18.8

(표 2-3) 수질조사 대상저수지의 저수지특성

	저수량 (천 m ³)	만수 면적 (ha)	유효 수심 (m)	'12 평균수질(mg/L)			수질 등급
				COD	T-N	T-P	
min	145	4.8	1.2	3.7	0.94	0.020	2
median	1,023	32.0	3.7	6.2	1.77	0.052	4
max	20,906	305.4	9.6	12.2	4.32	0.217	6
mean	2,712	50.4	4.7	7.2	1.91	0.073	4

다. 대상저수지의 유입하천 및 저수지 수질조사

선정된 31개 저수지에 대해 개별 저수지로 유입되는 유입하천의 평균 유량 및 농도, 저수지의 수질조사를 실시하였다. 저수지별 현장조사 시기별 영향을 최소화하기 위해 강우영향이 거의 없는 시기(5월 7 ~ 9일)에 3일 내에 대상저수지에 대한 현장조사를 마쳤다. 저수지의 수질조사는 수질측정망 조사지점 인근에서 시료를 채취하여 조사를 하였으며, 수질 분석은 농업용저수지 수질측정망 수질분석 담당 기관인 농어촌연구원 수질분석센터에서 공정시험방법으로 진행되었다.



<그림 2-2> 유입하천 및 저수지 수질조사 지점(예)

유입하천의 경우 유역면적에 따라 적게는 1개부터 많게는 8개까지 존재하는데, 저수지로 유입되는 전체 부하량을 고려하기 위해 <그림 2-2>와 같이 저수지로 유입되는 유입하천 모두에 대해 유량 및 수질을 조사하였다. 조사 결과를 바탕으로 저수지로 유입되는 유입하천의 유량은 (식2-1)과 같이 모든 유입하천의 유량을 더하여 구하였으며, 유입하천의 농도는 (식2-2)와 같이 각 유입하

천의 유량과 농도의 곱을 합한 값을 유량 합으로 나뉘 산정하였다.

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad (\text{식2-1})$$

$$C = \frac{C_1 * Q_1 + C_2 * Q_2 + \dots + C_n * Q_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n} \quad (\text{식2-2})$$

라. 유입하천 및 저수지 수질조사 결과

선정된 31개 농업용저수지에 대해 유입하천 및 저수지의 유량 및 수질을 조사한 결과는 (표 2-4)와 (표 2-5)와 같다. 유입하천의 현장조사결과에서 유역면적(170 ha)이 제일 작았던 삼합저수지에서 하천의 유량이 0.003 m³/s, 용담저수지의 하천유량이 0.002 m³/s로 나타났으며, 떡우저수지가 0.204 m³/s로 제일 많은 것으로 나타났다. 유역면적이 가장 큰 고삼저수지가 유입하천의 유량이 0.172 m³/s로 떡우지 다음으로 많은 것으로 조사되었다. 용담저수지는 조사 당시에 주유입하천에서 유입이 없었기 때문에 유량이 가장 작게 나타났다. 유입하천의 평균 COD농도는 6.9 mg/L였으며, 용풍저수지의 유입하천이 23.6 mg/L로 제일 높은 농도를 나타내었고, 장계저수지의 유입하천이 1.6 mg/L로 제일 낮은 농도를 나타내었다.

저수지 수질조사결과 평균 COD농도는 8.5 mg/L였으며, 성호저수지가 28.8 mg/L로 제일 높은 농도를 나타내었고, 원부저수지가 3.2 mg/L로 제일 낮은 농도를 나타내었다. 저수지의 COD농도는 유입하천보다 높게 나타난 반면에, T-N과 T-P는 저수지에서 더 낮은 농도를 나타내었다. 2011년 수질측정망 평균 COD, T-N, T-P농도는 각각 6.4 mg/L, 2.43 mg/L, 0.100 mg/L인 반면에, 2012년 5월에 조사한 결과는 각각 8.5 mg/L, 2.05 mg/L, 0.053 mg/L로 2011년 평균보다 COD는 높았으나, T-N과 T-P는 낮은 농도를 나타내었다.

(표 2-4) 2012년 유입하천 현장조사 결과

유입하천	유량 (m ³ /s)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	Cl (mg/L)
대평	0.034	2.7	1.5	5.3	3.41	0.040	2.3	6
성호	0.023	19.0	14.8	10.0	14.66	0.435	5.5	49
삼합	0.003	4.0	2.8	4.8	0.90	0.019	0.5	6
도척	0.103	2.4	1.6	2.7	2.90	0.016	2.1	11
고삼	0.172	5.4	3.3	12.6	3.22	0.086	13.6	14
덕산	0.009	3.4	1.9	4.9	3.13	0.047	1.2	9
향리	0.008	4.0	2.6	3.6	2.40	0.067	1.5	13
원부	0.014	2.2	1.2	1.3	1.39	0.014	0.6	5
장계	0.029	1.6	0.7	0.4	2.11	0.008	1.5	4
용설	0.045	5.6	3.0	18.4	2.71	0.097	5.0	8
용풍	0.009	23.6	17.4	60.0	5.64	0.273	10.0	32
이동	0.084	7.1	4.3	23.4	2.85	0.093	7.2	21
미산	0.057	2.7	1.5	2.5	5.14	0.208	2.6	7
용덕	0.047	2.4	1.2	2.0	3.83	0.046	3.2	13
홍중	0.084	4.6	2.5	6.5	3.87	0.160	5.2	23
기천	0.005	5.2	3.2	14.0	2.46	0.056	5.5	17
반월	0.063	9.6	6.4	6.7	11.42	0.217	3.0	42
동방	0.009	14.8	9.3	38.2	7.40	0.810	8.0	61
왕송	0.063	5.6	3.3	24.5	5.90	0.135	2.0	50
보통	0.016	18.6	8.9	22.8	9.61	0.787	4.8	122
덕우	0.099	7.4	3.9	29.7	1.72	0.104	6.2	15
홍부	0.022	15.0	8.8	12.7	12.39	1.022	7.2	50
떡우	0.204	8.6	3.6	49.2	4.43	0.103	6.8	293
용담	0.002	2.6	1.2	3.5	3.87	0.083	6.9	9
철곡	0.007	6.8	4.1	4.9	3.04	0.204	4.7	39
두창	0.017	1.9	0.8	2.0	2.96	0.023	1.4	3
어천	0.014	2.6	1.2	2.5	4.45	0.029	2.3	20
만수	0.007	11.7	7.6	3.2	9.09	0.475	17.9	40
금광	0.155	4.2	1.8	14.6	3.22	0.074	3.4	12
마둔	0.008	5.7	3.4	8.5	2.13	0.101	3.8	14
청용	0.027	3.1	1.1	2.7	1.89	0.036	1.6	16
mean	0.046	6.9	4.2	12.8	4.65	0.189	4.8	33

(표 2-5) 2012년 저수지 현장조사 결과

저수지	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	Cl (mg/L)	수질 등급
대평	6.0	3.6	8.4	2.09	0.022	15.1	6	4
성호	28.8	10.0	19.6	4.25	0.164	301.1	22	6
삼합	5.6	3.9	5.6	1.32	0.034	10.4	8	4
도척	3.4	2.0	7.6	2.72	0.021	2.8	8	2
고삼	5.2	4.1	2.0	2.43	0.025	2.3	10	4
덕산	4.0	2.9	3.1	1.78	0.023	1.9	7	2
향리	8.6	4.9	10.4	0.70	0.054	18.2	9	5
원부	3.2	1.7	5.8	2.15	0.014	1.9	3	2
장계	4.8	3.1	2.9	1.20	0.021	5.3	4	3
용설	5.0	2.5	14.4	1.71	0.036	3.0	6	3
용풍	18.8	7.6	12.4	2.90	0.097	132.3	14	6
이동	4.6	3.0	4.5	1.57	0.023	3.2	16	3
미산	3.8	2.3	1.0	2.45	0.029	2.4	7	2
용덕	3.2	1.8	2.0	3.35	0.029	1.2	10	2
홍중	5.4	3.6	7.0	2.49	0.040	11.9	25	4
기천	5.2	3.4	4.5	0.92	0.027	10.0	9	4
반월	8.4	5.2	7.5	2.41	0.033	12.4	31	5
동방	14.0	8.0	11.0	1.05	0.119	53.0	53	6
왕송	12.4	6.0	26.5	3.56	0.093	59.8	52	6
보통	11.6	5.4	26.0	2.62	0.106	26.1	68	6
덕우	14.8	6.5	17.5	0.97	0.091	81.3	19	6
홍부	9.2	5.1	19.0	2.41	0.056	40.6	39	5
떡우	11.4	5.1	16.5	1.69	0.063	64.6	168	6
용담	9.2	4.6	15.5	1.82	0.065	52.6	15	5
칠곡	6.4	3.8	6.0	2.08	0.029	7.3	20	4
두창	7.0	3.5	7.0	1.62	0.043	14.3	5	4
어천	11.2	6.7	9.0	1.56	0.082	52.0	16	6
만수	20.0	9.1	15.0	2.29	0.136	171.4	31	6
금광	4.4	2.3	4.0	2.17	0.023	5.2	11	3
마둔	5.6	3.1	3.5	1.53	0.023	5.9	10	4
청용	3.6	1.8	1.5	1.70	0.011	4.9	13	2
mean	8.5	4.4	9.6	2.05	0.053	37.9	23	5
측정망 (12)	6.3	3.4	11.6	2.41	0.100	27.8	15	5

3. 유역, 하천, 저수지 상관관계 분석

가. 상관관계 분석방법

농업용저수지의 유역, 유입하천, 저수지와의 상관관계를 분석하기 위해 2011년부터 2012년까지 조사한 경기도 내 저수지의 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질과 같은 기간 측정망 자료의 유역 및 저수지 제원, 저수지 수질자료를 SPSS를 이용해 상관분석을 실시하였다. 측정망자료와 실측자료를 <그림 2-3> 과 같이 SPSS에 입력한 후 상관관계분석을 하였으며, 그 결과를 바탕으로 어면 인자가 하천 및 저수지의 수질에 영향을 미치는지 분석하였다.

SPSS 입력자료										SPSS 실행결과									
1	영안	360.00	5442.00	16.00	3.10	26.60	31.20	10.70		영안	영안	영안	영안	영안	영안	영안	영안	영안	영안
2	물동	710.00	1592.00	15.00	3.20	254.70	292.80	68.60		물동	물동	물동	물동	물동	물동	물동	물동	물동	물동
3	도석	990.00	983.00	14.00	6.00	52.90	72.20	22.20		도석	도석	도석	도석	도석	도석	도석	도석	도석	도석
4	원부(동)	630.00	1621.00	15.00	3.80	5.50	12.50	1.50		원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)
5	원부(중)	500.00	28992.00	25.00	2.90	375.60	382.10	169.10		원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)
6	삼합	170.00	5318.00	5.00	2.90	5.70	7.60	1.50		삼합	삼합	삼합	삼합	삼합	삼합	삼합	삼합	삼합	삼합
7	삼포(상)	616.00	1039.00	35.00	2.50	229.20	235.10	103.20		삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)	삼포(상)
8	삼포(하)	770.00	1062.00	38.00	2.70	54.50	54.10	14.70		삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)	삼포(하)
9	무향	287.00	4976.00	18.00	6.80	36.40	39.70	14.90		무향	무향	무향	무향	무향	무향	무향	무향	무향	무향
10	덕산(안)	485.00	4612.00	32.00	6.80	33.30	39.30	14.00		덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)	덕산(안)
11	용실	790.00	1080.00	54.00	6.70	78.30	87.80	37.50		용실	용실	용실	용실	용실	용실	용실	용실	용실	용실
12	장계(안)	225.00	4022.00	12.00	7.30	1.00	3.20	3.0		장계(안)	장계(안)	장계(안)	장계(안)	장계(안)	장계(안)	장계(안)	장계(안)	장계(안)	장계(안)
13	고갈	7100.00	206.00	220.00	6.60	1559.70	1637.70	758.50	8	고갈	고갈	고갈	고갈	고갈	고갈	고갈	고갈	고갈	고갈
14	상물	730.00	3968.00	17.00	9.40	7.20	14.80	1.90		상물	상물	상물	상물	상물	상물	상물	상물	상물	상물
15	금강	4630.00	259.00	138.00	8.70	50.80	104.40	22.20	8	금강	금강	금강	금강	금강	금강	금강	금강	금강	금강
16	마른	1240.00	1153.00	41.00	8.50	49.90	63.60	21.80		마른	마른	마른	마른	마른	마른	마른	마른	마른	마른
17	이종	9300.00	630.00	305.00	6.90	1846.00	1961.10	622.40	8	이종	이종	이종	이종	이종	이종	이종	이종	이종	이종
18	만월	1220.00	689.00	37.00	3.20	218.40	232.90	79.70	1	만월	만월	만월	만월	만월	만월	만월	만월	만월	만월
19	거탄	360.00	4596.00	25.00	3.60	48.20	52.90	16.60		거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄
20	거탄	755.00	725.00	39.00	5.50	67.60	76.50	28.70		거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄	거탄
21	보통	716.00	1228.00	36.00	3.00	133.50	143.00	39.60		보통	보통	보통	보통	보통	보통	보통	보통	보통	보통
22	황송	1555.00	471.00	84.00	2.50	5201.50	5221.70	1409.20	14	황송	황송	황송	황송	황송	황송	황송	황송	황송	황송
23	역우	830.00	1092.00	49.00	1.20	272.50	284.90	125.70		역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우
24	역우	2270.00	404.00	83.00	4.30	382.50	411.00	129.00	2	역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우	역우
25	원부(동)	1320.00	194.00	50.00	3.70	170.90	187.10	60.20	1	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)	원부(동)
26	원부(중)	628.00	1315.00	56.00	1.80	198.80	206.90	81.50	1	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)	원부(중)

<그림 2-3> SPSS를 이용한 상관관계분석

나. 유입하천 vs. 저수지

2011년에서 2012년 2년간 실측한 유입하천의 유량 및 수질과 저수지 수질과의 상관관계를 분석한 결과는 (표 2-6)과 같다. 전체적으로 하천의 수질과 저수지 수질사이에 높은 상관관계를 나타내, 유입하천의 수질이 저수지의 수질에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 특히 유입하천의 수질항목 중 저수지 수질에 미치는 영향이 COD, TOC, T-P가 높았으며, T-N은 낮게 나타났다.

저수지의 수질등급 분류에 많이 이용되는 COD농도에 영향을 미치는 유입하천의 수질항목은 TOC, COD, T-P, T-N, Chl-a 농도 순으로 크게 나타났다. 또한 저수지의 부영양지표로 많이 이용되는 Chl-a에 영향을 미치는 유입하천의 수질항목은 TOC, T-P, COD 순으로 크게 나타났다.

(표 2-6) 유입하천과 저수지 사이의 상관관계분석 결과

2012년 실측자료		유입하천							
		유량	COD	TOC	SS	Chl-a	T-N	T-P	Cl ⁻
저수지	COD	-0.02	0.64**	0.70**	0.29*	0.35**	0.53**	0.59**	0.33*
	TOC	-0.05	0.57**	0.64**	0.19	0.23	0.53**	0.45**	0.27*
	SS	0.15	0.44**	0.35**	0.50**	0.47**	0.40**	0.37**	0.45**
	Chl-a	-0.01	0.59**	0.64**	0.24	0.34**	0.48**	0.61**	0.27*
	T-N	0.24	0.11	0.16	0.02	0.14	0.37**	0.06	-0.01
	T-P	0.05	0.54**	0.61**	0.14	0.40**	0.23	0.62**	0.24
	Cl ⁻	0.54**	0.36**	0.31*	0.46**	0.29*	0.26	0.32*	0.93**
	수질등급	0.04	0.58**	0.56**	0.40**	0.35**	0.45**	0.46**	0.44**

다. 유역 vs. 유입하천

유역의 측정망자료인 유역면적, BOD, T-N, T-P 발생부하량과 유입하천의 유량 및 수질과의 상관관계를 분석한 결과는 (표 2-7)과 같다. 유입하천의 유량에 영향을 미치는 인자는 유역의 면적 및 오염물질 발생부하량으로 이들은 유역면적이 증가하면서 대부분 증가하는 항목으로 상관관계가 높게 나타난 것으로 판단된다. 반면에 하천의 T-N을 제외하고 유역 면적 및 오염물질 발생부하량은 하천수질에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(표 2-7) 유역과 하천의 상관관계분석 결과

2012년 실측자료		유역 측정망자료			
		유역면적	BOD 발생부하량	T-N 발생부하량	T-P 발생부하량
하천	유량	0.46**	0.52**	0.56**	0.53**
	COD	-0.06	0.07	0.11	0.16
	TOC	-0.07	0.09	0.12	0.18
	SS	0.10	0.13	0.19	0.23
	T-N	-0.12	0.29*	0.23	0.24
	T-P	-0.11	0.08	0.10	0.13
	Chl-a	0.15	0.12	0.21	0.25
	Cl ⁻	-0.05	0.12	0.12	0.13

라. 유역 vs. 저수지

유역면적, 오염물질 발생부하량, 저수량, 만수면적 및 유효수심과 2년간 실측한 저수지 수질과의 상관관계를 분석한 결과는 (표 2-8)과 같다. 저수지의 유효수심은 T-N을 제외한 저수지 수질과 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 유효수심과 저수지 수질과는 음의 상관관계를 보이고 있어, 유효수심이 깊을수록 농도가 낮게 나타남을 알 수 가 있다. 그러므로 수심이 얕은 저수지보다 수심이 깊은 저수지가 저수지 수질관리에 유리한 것으로 나타났다.

또한 유역인자와 하천의 수질과의 상관관계결과와 같이 유역의 오염물질 발생부하량과 T-N의 농도와의 상관관계가 높게 나타났다. T-N을 제외하고는 유역의 오염물질 발생부하량과 저수지수질과는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 T-N을 제외하고 유역의 오염물질 발생부하량이 저수지 수질에 영향을 미치지 않는 것을 의미한다. 실제 유역에서 발생된 오염물질은 처리시설을 거쳐 삭감된 후 배출되므로, 발생부하량대신 배출부하량과 저수지의 수질과의 상관관계를 분석할 경우 발생부하량을 이용했을 때 보다는 높은 상관관계가 나타날 것으로 생각된다.

(표 2-8) 유역과 저수지의 상관관계분석 결과

2012년 실측자료		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	BOD 발생부 하량	T-N 발생부 하량	T-P 발생부 하량	저수량	만수 면적	유효 수심
저수지 실측자료	COD	-0.21	0.05	0.05	0.11	-0.25	-0.13	-0.53**
	TOC	-0.21	0.06	0.06	0.12	-0.24	-0.13	-0.55**
	SS	-0.01	0.09	0.08	0.07	-0.06	0.06	-0.42**
	Chl-a	-0.17	0.03	0.05	0.10	-0.20	-0.09	-0.45**
	T-N	0.16	0.39**	0.34**	0.32*	0.12	0.14	0.02
	T-P	-0.11	0.09	0.09	0.12	-0.13	-0.03	-0.41**
	Cl ⁻	-0.08	0.15	0.14	0.16	-0.14	0.01	-0.50**
	수질 등급	-0.19	0.11	0.08	0.11	-0.24	-0.10	-0.61**

유역면적, 오염물질 발생부하량, 저수량, 만수면적 및 유효수심과 수질측정망 수질과의 상관관계를 분석하기 위해 현장조사 대상저수지의 2011년부터

2012년의 측정망자료를 이용하였다. (표 2-9)는 31개의 현장조사 대상저수지의 발생부하량 및 저수지 제원과 측정망수질과의 상관관계를 분석한 결과이며, (표 2-10)은 825개의 측정망 대상저수지의 발생부하량 및 저수지 제원과 측정망수질과의 상관관계를 분석한 결과이다.

825개 측정망 대상 저수지에 대해 상관분석한 결과 1% 유의수준에서 BOD, T-N, T-P의 발생부하량, 유효수심과 저수지 수질사이에 유의한 관련성이 있는 것으로 나타났으나, 이들 사이의 상관계수는 매우 낮은 것으로 나타났다.

(표 2-9) 31개 저수지 부하량 및 제원과 측정망수질의 상관관계분석 결과

측정망 (31개소)		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	BOD 발생부 하량	T-N 발생부 하량	T-P 발생부 하량	저수량	만수 면적	유효 수심
측정망 자료	COD	-0.16	0.16	0.16	0.21	-0.21	-0.04	-0.69**
	TOC	-0.16	0.13	0.14	0.19	-0.20	-0.06	-0.62**
	Chl-a	-0.15	0.09	0.11	0.16	-0.19	-0.04	-0.61**
	T-N	0.18	0.55**	0.52**	0.53**	0.12	0.24	-0.28*
	T-P	0.15	0.37**	0.42**	0.45**	0.10	0.26*	-0.49**
	수질 등급	-0.12	0.13	0.14	0.19	-0.16	0.00	-0.65**

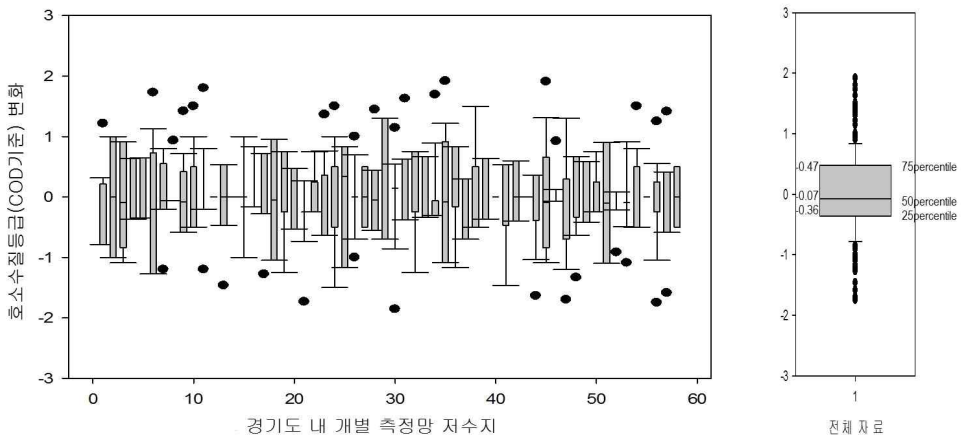
(표 2-10) 825개 저수지 부하량 및 제원과 측정망수질의 상관관계분석 결과

측정망 (825개소)		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	BOD 발생부 하량	T-N 발생부 하량	T-P 발생부 하량	저수량	만수 면적	유효 수심
측정망 자료	COD	0.00	0.06**	0.06*	0.06*	-0.01	0.04	-0.30**
	TOC	0.01	0.09**	0.07**	0.08**	-0.01	0.03	-0.29**
	Chl-a	0.00	0.09**	0.09**	0.09**	0.00	0.05*	-0.24**
	T-N	0.00	0.24**	0.22**	0.23**	0.05	0.02	-0.10**
	T-P	-0.01	0.11**	0.10**	0.10**	0.00	0.03	-0.18**
	수질 등급	0.01	0.07**	0.06*	0.07**	0.01	0.04	-0.32**

4. 경기도 내 수질측정망자료 분석(2001~2011년)

경기도 내 55개소 수질측정망 저수지를 대상으로 2001년부터 2011년까지 각 저수지 별로 COD기준 연평균 데이터를 이용해 수질등급을 구한 후 연중 분포를 비교해보았다. 그 결과 각 저수지 별로 11년 동안 평균 수질등급을 0으로 했을 때 연중 수질등급의 변화가 $-0.36 \sim 0.47$ (25th ~ 75th %tile)로 나타났는데, 이는 같은 저수지에서 해마다 수질변화가 다소 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

전체자료에서 수질등급 분포는 최대값이 2, 최소값이 -2에 가까운데, 이는 같은 저수지에서 11년치의 평균보다 최대 2등급이 더 높은 경우도 있으며, 2등급이 더 낮은 해도 있다는 것으로 연중 COD의 차이가 크다는 것을 보여주는 것이다.



<그림 2-4> 경기도 내 측정망저수지 연평균 COD 분포(2001~2011년)

2절 시기별 저수지 수질변화 분석

1. 개요

3장에서 우리나라 농업용저수지에 이용할 수 있는 농업용저수지 수질예측 모델을 개발하였으며, 「농촌용수 종합시험지구 운영」 과제에서 유입하천의 유량 및 수질조사가 이루어지고 있는 경기도 용인시 이동면에 있는 용덕저수지에 대해 개발된 수치모델을 적용하여 모델이 구조적으로 잘 만들어 졌는지에 대해 검증하였다. 검증 결과 기상자료 및 유입하천의 유량, 수질자료를 입력하여 저수지 수질모델을 구동하면 정상적으로 저수지의 수질이 모의 되었으며, 실측한 저수지 수질과 비슷한 범위에 있음을 알 수 있었다. 용덕저수지의 유입하천의 유량 및 수질자료는 1년에 10회 이상 실측된 반면, 용덕저수지 수질은 농업용저수지 수질측정망에 의해 1년에 4회 조사되었기 때문에, 개발된 저수지모델의 적용성을 분석하기에는 실측자료가 부족해 한계가 있었다.

그래서 2009년부터 농업용저수지를 오염도에 따라 유형별로 3개로 분류한 후 대표저수지 4개를 선정하여 유입하천 및 저수지의 유량 및 수질조사를 실시한 후 이 결과를 이용해 각 유형별 모델의 적용성을 평가하였다.

2. 대상 저수지 선정 및 수질조사

가. 대상 저수지 선정

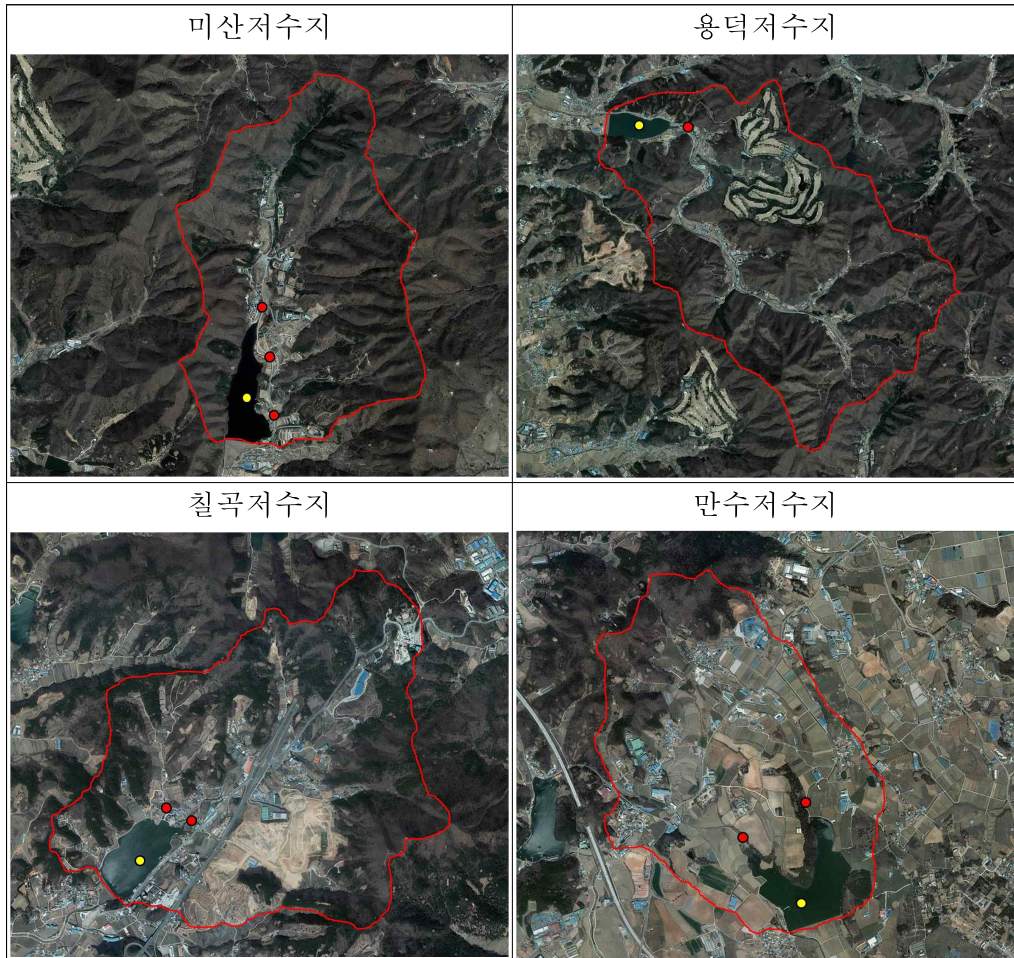
이전 연구(농어촌연구원, 2010)에서 SOM을 이용해 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지 중 농업용수로 사용되는 474개에 대해 측정된 수질을 기준으로 저수지를 3개의 유형으로 분류하였다. 또한 이전 연구(김, 2004)에서 COD와 ST/WS(저수량/만수면적)비를 이용해 농업용저수지를 4개로 분류하였다. 위의 2가지 농업용저수지 유형분류 방법을 이용해 수질측정망 대상저수지의 유형을 분류한 후 각 유형별 1~2개의 저수지를 선정하였다. 지역별 차이가 없는 것으로 가정하였으며, 되도록 접근성이 좋은 저수지를 대상저수지로 선정하였다. 선정된 저수지의 제원 및 유역도는 (표 2-11) 및 <그림 2-5>와 같다.

선정된 저수지는 총 4개로 대부분 저수지 유형별 혼합특성 분석을 위해 선정되었던 저수지와 동일하며, 개발된 저수지 수질모델을 검증하기 위해 이용되었던 용덕저수지가 추가되었다. 제일 수질이 좋은 유형에 포함되는 저수지로 경기도 안성시에 있는 미산저수지와 경기도 용인시에 있는 용덕저수지가 선정되었으며, 중간 정도의 수질을 나타내는 유형으로 경기도 안성시에 있는 칠곡

저수지가 선정되었다. 상대적으로 수질이 나쁜 저수지 유형으로 경기도 안성시의 만수저수지가 선정되었다. 미산, 용덕, 칠곡저수지는 농업용수 수질기준을 만족하는 저수지이며, 만수저수지는 일부 항목이 수질기준을 초과하는 저수지로 향후 수질개선대책이 필요한 저수지이다.

(표 2-11) 저수지 유형별 선정된 대상 농업용저수지

		미산	용덕	칠곡	만수
위치		경기도 안성시	경기도 용인시	경기도 안성시	경기도 안성시
준공일자		1985	1959	1958	1945
유역면적(ha)		442	1,250	391	375
만수면적(ha)		20.4	21.6	15.8	22.3
유효저수량(천m ³)		1,826	843	544	614
ST/WS		9.0	3.9	3.4	2.8
저수지 유형	COD vs ST/WS	C-4	C-4	C-2	C-1
	SOM	1	1	2	3
'08년 수질	COD	3.7	4.3	6.0	10.6
	T-N	1.32	1.77	1.14	1.26
	T-P	0.011	0.022	0.024	0.074



<그림 2-5> 선정된 대상 농업용저수지 유역도

나. 수질 및 유량조사

선정된 각 저수지별 모든 유입하천에 대해 2012년 5월부터 10월까지 월 1회 유량조사 및 수질조사를 실시하였으며, 유입하천 조사일과 같은 날에 각 저수지별 저수지 중앙부의 수질을 조사하였다. 미산저수지는 3개의 유입하천에 대해 조사가 이루어졌으며, 칠곡, 만수저수지는 2개, 용덕저수지는 1개의 유입하천에 대해 수질조사가 이루어졌다.

유입하천의 저수지 유입 말단부에서 횡방향으로 세밀하게 나누어 수심, 폭, 유속을 측정하여 유량을 산정하였으며, 유입하천 및 저수지의 수온, DO, EC, pH는 종합수질측정기(Hydrolab사, Quanta)를 사용하여 현장 측정하였고, COD,

Chl-a, T-N, NO₃-N, NO₂-N, NH₃-N, T-P, PO₄-P, TOC는 시료채취 후 분석실에서 수질오염공정시험법에 따라 분석하였다.

3. 저수지별 유입하천 및 저수지 수질조사 결과

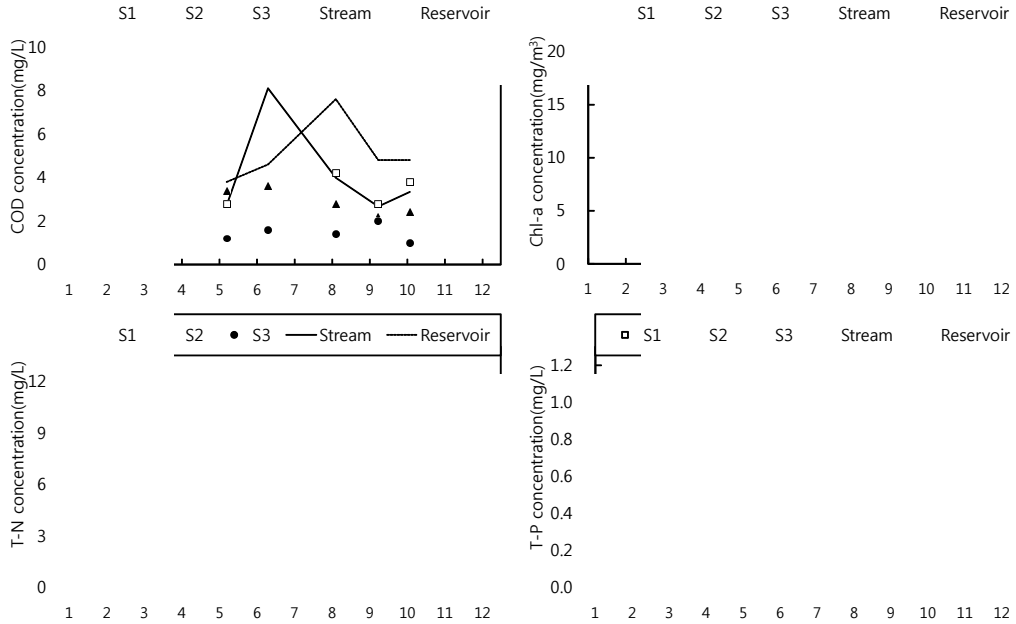
가. 미산저수지

미산저수지는 유역면적 442 ha, 만수면적 20 ha, 저수량 1,826천 m³ 규모의 저수지로 수심이 깊고 수질이 좋은 저수지이다. 조사결과 시기에 따른 유입하천 및 저수지의 수질변화는 <그림 2-6>에 나타내었다.

<그림 2-6>에서 S1, S2, S3는 유입하천 지점별 농도를 의미하고, Stream은 유입하천의 지점별 농도를 유량에 대해 가중평균한 전체 유입하천의 평균 농도를 의미하여, Reservoir는 저수지 중앙부에서 채수한 시료의 농도를 나타낸다. 실제 저수지 모델에 있어서 유입하천의 수질자료는 유량가중평균한 값을 입력 자료로 이용하였다.

각 지점에서 COD와 T-N, T-P의 농도는 S1지점(COD 4.5 mg/L, T-N 5.71 mg/L, T-P 0.394 mg/L)의 농도가 S2(COD 2.9 mg/L, T-N 2.49 mg/L, T-P 0.062 mg/L)와 S3지점(COD 1.4 mg/L, T-N 1.96 mg/L, T-P 0.012 mg/L)보다 상대적으로 훨씬 높게 나타났다. 각 지점 별 연평균 유입유량은 S1 0.038 m³/s, S2 0.004 m³/s, S3 0.003 m³/s로 전체 유입량의 84 %가 S1지점의 하천으로부터 유입되었다. 그 결과 유량가중평균한 하천수의 평균농도는 S1지점의 농도변화와 동일한 변화를 보이고 있다.

미산저수지 내 Chl-a는 연중 낮은 농도를 보이다 여름철인 10월과 11월에 각각 20.2 mg/L, 14.8 mg/L로 비교적 높은 경향을 보였으며, COD, T-N, T-P는 8월에 다소 높았으나 연중 큰 차이는 나타나지 않았다. 유입하천 수질의 경우 COD, T-N, T-P가 6월에 다른 시기에 비해 두 배 이상의 농도를 나타내고 있었으나, 6월에는 유량이 0.007 m³/s로 매우 작아 총 유입부하량이 오히려 다른 시기에 비해 작았다. 미산저수지에서 유입하천의 T-N, T-P는 다른 오염이 심한 칠곡지와 만수지와 비교하여 비슷하거나 오히려 높은 농도를 나타내었는데 이는 유역에 위치한 대규모 휴양시설로부터 흘러나온 배출수에 의한 것이다. 미산저수지는 높은 농도의 영양염이 유입되는데 비해 저수지의 수질은 다른 저수지와 비교하여 깨끗한 수준을 유지하였다.



<그림 2-6> 미산저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

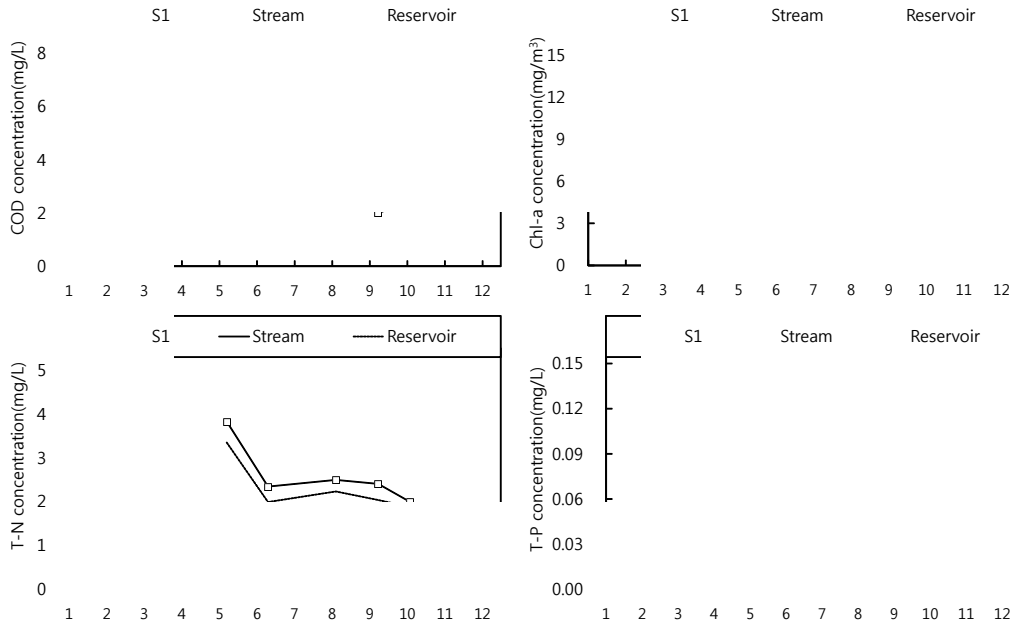
나. 용덕저수지

경기도 용인시에 위치한 용덕저수지는 유역면적 1,250 ha, 만수면적 22 ha, 저수량은 943천 m³ 규모의 저수지로 상류에 2개의 유입하천이 S2 지점에서 합류하여 저수지로 유입되고 있으며, 수질이 비교적 좋은 저수지이다. 유입하천 및 저수지의 지점별 수질변화는 <그림 2-7>과 같다.

용덕저수지에서 COD, T-N, T-P, Chl-a는 연평균 각각 4.0 mg/L, 2.30 mg/L, 0.030 mg/L, 6.1 mg/m³ 으로 나타나 미산저수지(COD 5.1 mg/L, T-N 2.33 mg/L, T-P 0.024 mg/L, Chl-a 10.1 mg/m³)와 비교하여 COD와 Chl-a가 다소 낮은 것으로 나타났다. 시기적으로는 미산저수지와 마찬가지로 가장 작은 유량을 보이는 6월에 COD와 Chl-a가 높은 경향을 보였다.

용덕저수지의 COD는 6월에 6.2 mg/L인 것을 제외하고 연중 5.0 mg/L 이하로 II에서 III등급의 수질을 나타내고 있으며, Chl-a는 OECD가 제시한 부영양화 기준인 25.0 mg/m³을 초과하는 시기가 없었다. 용덕저수지의 연평균 유입유량은 0.129 m³/s로 다른 조사 저수지의 유입유량과 비교하여 가장 컸으며, 미산저수지의 세 배에 가까운 값을 나타내었다. 유입수의 연평균 수질은 COD 2.4 mg/L,

T-N 2.62 mg/L, T-P 0.044 mg/L로 조사저수지 중 가장 낮은 농도값을 보였다. 시기적으로는 연중 큰 차이를 보이지 않았으며, COD의 경우 연중 II등급의 수질을 나타내었다. 조사저수지 중 용덕저수지는 유입하천의 유량이 가장 크고, 깨끗한 수질이 유입되어 저수지 수질이 가장 양호한 상태를 보이는 것으로 조사되었다.



<그림 2-7> 용덕저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

다. 칠곡저수지

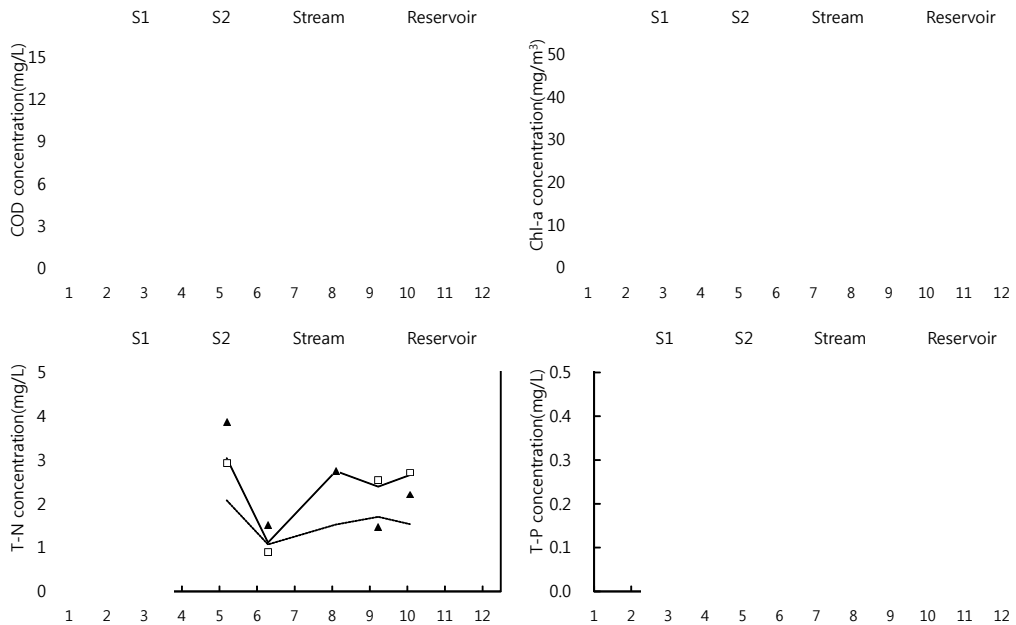
경기도 안성시에 위치한 칠곡저수지로, 유역면적 391 ha, 만수면적 15.8 ha, 저수량은 544천 m³ 규모의 저수지이며, 유입하천 및 저수지의 지점별 수질변화는 <그림 2-8>과 같다.

칠곡저수지로 유입되는 하천이 2개 존재하며, 그 중 S1이 상대적으로 크기 때문에, 유량가중평균 한 결과는 대부분 S1의 농도변화와 유사한 변화를 나타내고 있다. 칠곡저수지로 유입된 두 개의 하천에 대해 유량가중평균농도를 계산한 결과 T-N과 T-P가 각각 2.39 mg/L, 0.139 mg/L로 나타나 저수지 수질이 깨끗한 미산저수지보다 유입하천의 농도가 두 배 이상 낮았다. 계절적으로는 5월과 6월에 다른 시기에 비해 COD와 T-P가 낮았다. 연중 유입유량은 평균 0.031

m³/s였으며, 농도가 높게 나타난 5월과 6월에 가장 작았다.

칠곡저수지의 COD와 Chl-a는 각각 7.0 mg/L, 19.4 mg/m³ 로 조사되어 미산과 용덕저수지와 비교하여 COD는 다소 높았으며, Chl-a는 2~3배에 가까운 농도를 나타내었다. Chl-a는 8월에 47.3 mg/m³ 으로 다른 시기에 비해 높은 농도를 보였으며, 여름철인 6월과 8월에 높은 것으로 나타났다. COD 역시 Chl-a와 마찬가지로 여름철에 높은 농도를 보이고 있으며, 6월에는 11.2 mg/L로 VI등급의 수질을 보이기도 하였다.

칠곡저수지는 유입하천의 수질이 미산지의 유입수와 비교하여 COD와 유량은 비슷한 수준이며, T-N과 T-P는 두 배 이상 낮은 농도이지만 저수지 내 수질은 T-N을 제외하고 모두 높았는데 이는 미산저수지에 비해 식물플랑크톤의 성장에 더 유리한 조건을 갖추고 있으며, 그로 인해 저수지 내에서 유기물의 생성도 증가한 것으로 판단된다.



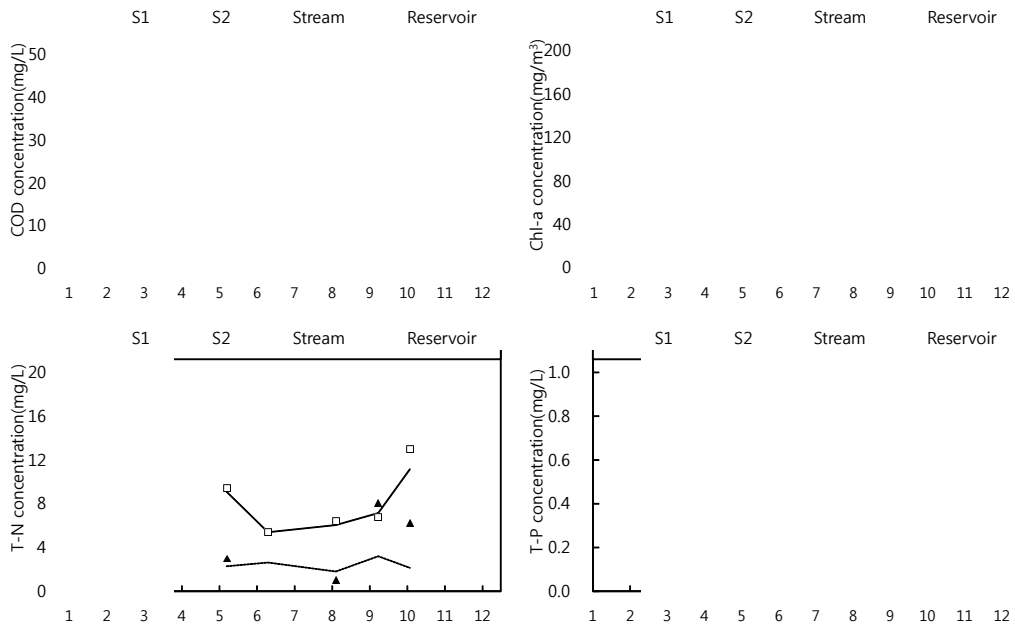
<그림 2-8> 칠곡저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

라. 만수저수지

경기도 안성시에 위치한 만수저수지로, 유역면적 375 ha, 만수면적 22.3 ha,

저수량은 614천 m³ 규모의 저수지이며, 유입하천 및 저수지의 지점별 수질변화는 <그림 2-9>와 같다.

만수저수지의 수질조사결과 유입하천은 연평균 COD, T-N, T-P가 각각 16.2 mg/L, 7.8 mg/L, 0.441 mg/L로 나타나 다른 세 저수지와 비교하여 매우 높은 농도를 보이고 있다. 계절적으로는 유량이 0.002 m³/s로 가장 작은 6월에 COD, T-P가 높은 농도를 나타내고 있다. 만수저수지 유입수에서 호수 부영양화에 가장 큰 영향 인자인 T-P는 미산저수지의 유입수와 비교하여 큰 차이를 보이지 않았지만 COD는 4배 가깝게 높은 농도를 나타내었다. 만수저수지의 유입유량은 연평균 0.015 m³/s로 조사저수지 중 가장 작았으며, 고농도의 유입수가 저수지로 유입되어 장시간 머무르면서 부영양화되기 가장 좋은 조건을 가지고 있는 것으로 판단된다.



<그림 2-9> 만수저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

저수지 내에서 COD와 Chl-a의 농도는 각각 21.6 mg/L, 120.5 mg/m³로 나타나 미산지, 용덕지, 칠곡지와 비교하여 COD는 3 ~ 4배, Chl-a는 10 ~ 20배 높은 것으로 나타났다. 계절적으로 Chl-a는 유입수량이 작은 5, 6월에 160 mg/m³ 이상의 매우 높은 농도를 나타내고 있었으며, 비교적 유입량이 증가하는 9월과 10월

에 80 mg/m³ 내외의 농도를 나타내었다. COD 역시 식물플랑크톤이 생성하는 유기물에 의해 Chl-a와 같은 경향으로 계절 별 농도 변화가 나타나고 있다. 만수저수지는 COD가 10.0 mg/L를 훨씬 초과하여 VI(매우나쁨)등급의 수질을 나타내고 있으며, Chl-a 역시 OECD가 제시한 부영양화 기준 (연평균 25.0 mg/m³ 이상)에 4배를 초과하는 정도의 극심한 수질오염상태를 나타내고 있다.

3장 수질측정망자료 DB구축 및 수질관리시스템 개발

3장 수질측정망 자료DB구축 및 수질관리시스템 개발

1절 농업용저수지 수질측정망자료 수집

1. 한국농어촌공사 내 측정망 관련자료 현황

가. 시스템 내 구축된 DB 검토

한국농어촌공사에서 관리하는 농업기반시설(저수지, 양수장, 양배수장, 배수장, 취입보, 집수암거, 관정, 집수정, 방조제, 용수간선, 용수지선, 용수지거, 배수간선, 배수지선, 배수지거 등)의 시설제원을 포함한 유지관리 종합정보를 구축할 목적으로 RIMS(농업기반시설관리시스템)를 개발하여 운영 중에 있다. RIMS에 구축된 자료현황은 (표 3-1)과 같다.

(표 3-1) RIMS 자료구축현황

업무 분류	구축항목	자료구축현황
시설 일반제원	농업기반시설 인허가, 등록현황 및 관리규정 등 450 여개 항목	공사 관할 농업기반시설
	분기별 일상점검 및 긴급, 정기점검 등 50여개 항목	'04이후 점검 결과
정밀 안전진단	공종별 안전진단현황, 주요결함유형, 보수보강방안 등 290여개 항목	'95이후 진단 결과 구축·정비 중
개보수이력	공사기간, 담당자, 공종별개보수내역, 사진 등 150여개 항목	'00 이후 준공지구('00이전 준공지구 정비 중)
농업용수 저수량	3,300여개 공사 관할 저수지 전체 저수위, 저수율	'91 이후 저수량
농업용수 수질정보	COD, T-N 등 14개 항목 수질정보	'00이후 수질측정망, 일제조사, GAP항목분석 등 조사결과
공사관리지역 수해면적	필지별 수해면적, 주재배작물, 용수이용자 등	'09기준 필지별 수해면적 구축 중(약53만ha)
목적외사용 승인	승인신청서, 구비서류, 검토의견서, 신청결과	'05이후 승인신청결과
한수해관리	한수해정보, 긴급복구동원업체 정보	'04이후 한/수해 정보, 700여 긴급복구동원업체 정보
재해복구	공사기간, 담당자, 재원, 진도관리 등 100여개 항목	'00 이후 준공지구
통계연보	공사 및 시군 통계연보 기초자료	'05 이후 통계 기초자료

국민을 위한 농업용수 관련 정보를 제공할 목적으로 한국농어촌공사에서 관리하는 수리시설물, 수문/기상, 용수이용현황, 수질현황자료를 제공할 목적으로 RAWRIS(농촌용수종합정보시스템)을 개발하여 운영 중에 있다.

(표 3-2) RAWRIS 자료구축현황

구분	컨텐츠명	컨텐츠 목적	컨텐츠 내용
수리 시설물 현황	일반현황	수리시설물 자료에 대한 질의 검색 기능	수리시설물 일반현황 정 보제공
	개보수이력	농업기반시설관리시스템과 연계한 정보 이력 제공	수리시설물 일상 및 정 밀진단 현황정보 제공
	안전점검	농업기반시설관리시스템과 연계한 정보 제공	수리시설물 일상 및 정 밀진단 현황정보 제공
용수 이용 현황	인문 사회현황	일반국민을 위한 농촌기본 정보 제공	인구, 농가, 작물, 축산, 토지, 농공단지 현황정보
	용수 구역현황	농촌용수 조사 및 분석의 단위가 되는 권역에 대한 기본 정보 제공	용수구역현황 정보 제공
	주요 저수지	지역주민과 함께하는 하천 문화 및 공간창출	테마별 저수지, 지역별 저수지 정보 제공
수질 현황	농업수질	농업용수와 관련된 기초자 료 확보	수질측정망, 일체조사 정 보 제공
수문/ 기상	기상자료	가물, 홍수 관리를 위한 기 초자료를 온라인 유통	기상자료 정보제공
	수문자료	물관리 공동활용 대상 정 보에 대한 온라인 유통	수문자료 정보 제공

나. 시스템 내 구축되지 않은 측정망 자료

농업용저수지 수질측정망과 관련하여 자료가 수집되고 있으나, 시스템 내 DB로 구축되어 서비스되지 않고 있는 자료도 다수 존재한다. 저수지별 유역 내 오염원(주거지역, 우사, 둔사)의 위치 및 상대적인 규모, 수질측정지점, 유역경계, 유입하천이 표시된 유역개황도가 매년 작성되고 있으나, PDF파일로 시설보

고서 내 그림으로 제공되지만 DB로 구축되지는 않았다.

생활계, 축산계(한우, 전소, 돼지), 산업계의 오염원수 및 각각의 BOD, T-N, T-P발생부하량과 토지이용면적(전, 답, 임야, 기타) 및 토지이용별 BOD, T-N, T-P발생부하량 정보가 매년 조사 및 산정된다.

또한 각 저수지별 유역 내 처리시설(하수종말처리장, 분뇨처리장, 산업폐수, 마을하수도)의 용량, 사업비, 처리공법, 사업기간 등의 정보가 매년 조사되어 농업용수 수질측정망조사보고서 내 부록에 수록되고 있다.

수질측정망 대상저수지별 수질조사지점의 위경도 및 세계측지계 좌표값과 조사지점에 대한 설명 자료가 excel로 정리되어 있으며, 또한 한국농어촌공사에서 관리하는 3,300여개 농업용저수지의 위경도 좌표가 정리된 excel자료도 존재한다.

2. 수질측정망자료 수집 및 분석

가. 저수지 제원

수질측정망자료 DB를 구축하기 위해 RIMS와 RAWRIS에 구축된 저수지제원과 관련된 전체 자료를 다 이용할 필요는 없다. 이중 수질지표 및 관리모델 개발에 필요한 저수지 특징과 관련된 제원자료만 필요로 한다. RIMS와 RAWRIS에 구축된 DB외에 별도 excel로 정리된 2010년 저수지 통계연보자료를 활용하여 필요한 저수지 제원 자료를 수집하였다.

RIMS, RAWRIS 및 2010년 저수지 통계연보자료를 분석한 결과 수질측정망자료 DB구축을 위한 저수지제원자료로 활용 가능한 항목은 통계코드, 시설명, 관리자(공사, 시군), 유역면적, 만수면적, 총저수량, 유효저수량, 제당(구조, 높이, 길이), 수혜면적, 주소, 준공일자 등이 있으며, 기타자료로는 표준코드, 시설구분, 수원공구분, 관리구분, 지구명, 주소코드, 착공일자, 재원내역, 한발빈도, 인가면적, 여수토연장, 상수로연장, 홍수/갈수량이 있다.

또한 시설보고서에 기록된 각 저수지별 관할측후소명 및 측후소코드도 저수지 제원자료로 활용하였다. 이는 각 저수지별 강우량자료를 분석할 경우 기상자료DB의 측후소코드와 연결되어 검색할 수 있도록 하기 위해서이다.

나. 수질측정망 조사지점 위치

Excel에 정리된 수질조사지점의 좌표와 저수지의 대표지점 좌표를 검토한 결과 수질측정망자료를 관리하기 위한 DB구축에서 2가지 좌표를 모두 정리하는 것이 좋을 것으로 판단되어, 저수지 대표지점에 대한 위경도 및 세계측지계 좌표와 저수지 수질조사지점에 대한 위경도 좌표, 세계측지계 좌표 및 수질조사지점에 대한 설명을 정리하였다.

다. 수질측정망 수질조사자료

RIMS, RAWRIS에 구축된 동일한 자료를 측정망자료 관리 실무자로부터 excel형태로 제공받아 자료를 검토 및 정리하였다. 조사연도별로 대상저수지, 연간 조사 횟수 및 조사항목이 서로 다르다. excel에 정리된 자료는 저수지명, 조사일자(년월일), 수온, pH, EC, DO, BOD, COD, T-N, T-P, SS, Cl, Chl-a, TOC(2010년부터), 중금속(Cu, Pb, Cd, As, Hg; 연1회 조사), 수질 등급, 부영양화 단계가 정리되어 있다. 저수지별 수질비교를 위해 연 1~4회 조사한 값을 연 평균하여 별도로 정리하였다.

라. 수질측정망 오염원수 및 발생부하량자료

저수지별 유역 내 오염원수 및 발생부하량자료를 수질측정망자료 관리 실무자로부터 excel형태로 제공받아 자료를 검토 및 정리하였다. 조사연도별 인구수, 한우두수, 젓소두수, 돼지두수, 산업계유량, 양식면적, 논면적, 밭면적, 임야면적, 기타면적과 같은 오염원수 자료와 각각의 오염원수에 발생부하량원단위를 곱하여 산정된 발생부하량이 정리되어 있다. 또한 발생부하량을 생활계, 축산계(한우, 젓소, 돼지), 산업계, 양식계, 토지계(논, 밭, 임야, 기타)로 구분하여 재정리하였으며, 개별 발생부하량을 합한 총 발생부하량이 정리되어 있다. 또한 연도별로 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계 중 발생부하량이 제일 많은 것을 주요오염원으로 지정하여 저수지별 주요오염원이 어떤 계인지 정리되었다.

마. 처리시설 현황자료

농업용수 수질측정망조사보고서 내 부록에 수록된 자료를 바탕으로 농업용 저수지 유역 내 처리시설 현황자료를 정리하였다. 각 농업용저수지 유역 내 존재하는 처리시설의 종류(하수종말처리장, 분뇨처리장, 산업폐수처리장, 마을하수도 등), 처리장명, 시·군, 용량, 사업비, 처리공법, 사업기간, 비고(가동여부)를 정리하였다.

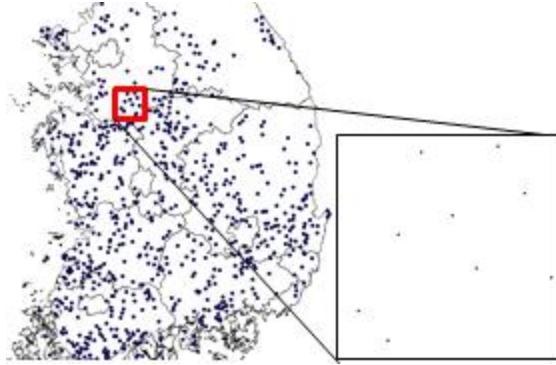
바. 기상자료

각 저수지별 기상자료와 연계하여 수질을 검토할 수 있도록 기상자료가 필요하다. 기상자료로는 한국농어촌공사에서 HOMWRS 구동을 위해 매년 구축해 놓은 기상자료를 활용하였다. 구축된 기상자료는 기상관측소별로 강우, 증발, 기온, 습도, 일조, 풍속자료가 일별로 정리되어 있다. 저수지별 기상자료를 비교하기 위해 기상항목별로 월 값을 계산하여 별도의 excel을 작성하였다.

사. GIS자료

한국농어촌공사에서 전국 농업용저수지의 유역경계 GIS자료를 구축하였으며, 본 연구에서는 구축된 유역경계 GIS자료로부터 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지의 유역경계만을 추출하였다. 그 결과 825개소 중 600개소의 유역경계 자료를 확보할 수 있었으며, 확보된 유역경계 자료를 검토한 결과 약 17%에 해당되는 100여개소의 유역경계에 오류가 있는 것으로 나타나 최종적으로 500여개소만 유역경계 자료를 구축하였다.

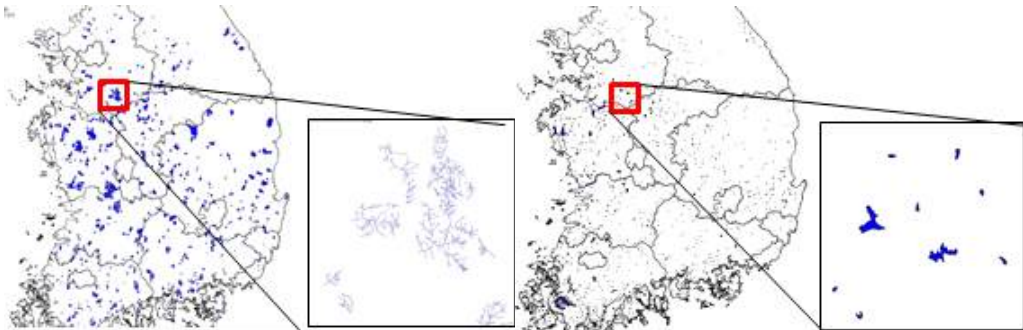
농업용저수지 유역의 오염원 분석을 위해 유역 내 동리경계가 필요한 경우가 많은데 이를 위해 앞에서 구축한 유역경계와 2008년도 전국 동리경계 GIS자료로부터 농업용저수지 유역 내 동리경계 자료를 구축하였다. 전국 하천도GIS자료와 유역경계 GIS자료를 이용해 농업용저수지 유역 내 하천도 GIS자료를 추출하여 구축하였다. 또한 측정망 대상 저수지의 수표면 GIS자료를 구축하였고, 수질측정망 대상저수지의 대표 지점 좌표정보를 활용해 농업용저수지 수질측정망 대상저수지의 지점 위치 GIS자료를 구축하였다.



<그림 3-1> 농업용저수지 수질측정망 대상저수지 지점 GIS자료



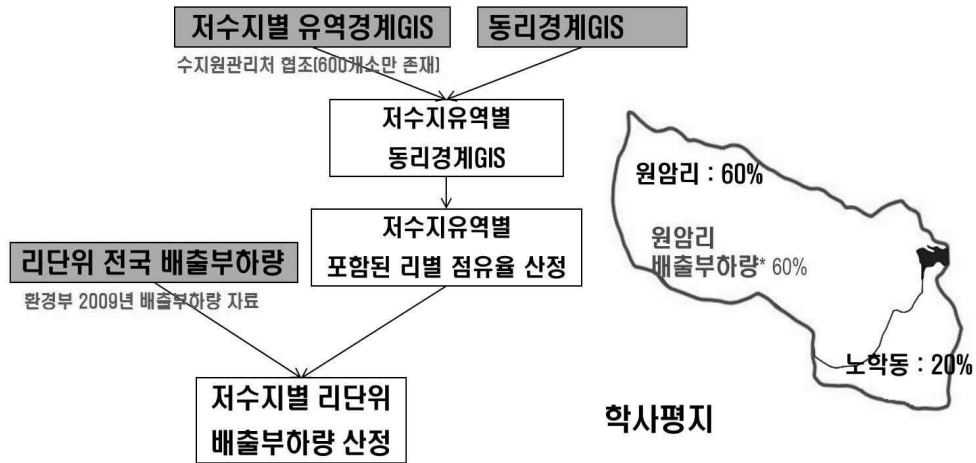
<그림 3-2> 농업용저수지 수질측정망 대상저수지 구역경계 및 동리경계 GIS자료



<그림 3-3> 농업용저수지 수질측정망 대상저수지 하천도 및 수표면 경계 GIS자료

아. 배출부하량 산정

일반적으로 저수지의 수질은 발생부하량보다는 배출부하량과 더 높은 상관관계가 있기 때문에 본 연구에서는 <그림 3-4>의 방법으로 농업용저수지 수질 측정망 대상저수지의 배출부하량을 산정하였다.



<그림 3-4> 배출부하량 산정과정

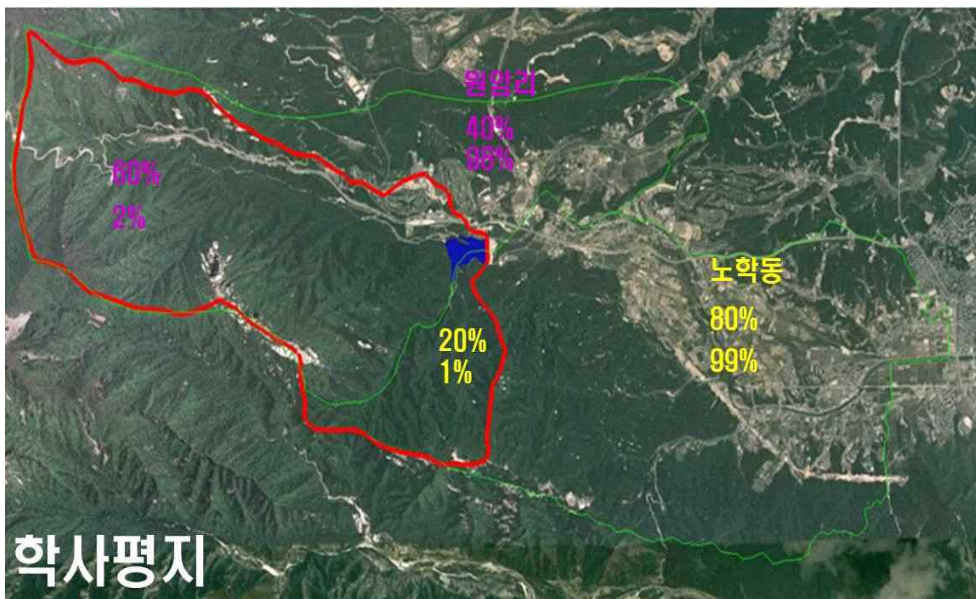
GIS기법을 이용한 배출부하량 산정방법은 대규모 유역에서 많이 사용되는 방법으로 특정 리에서 오염원은 리전체에 대해 균일하게 분포한다고 가정한다. 즉, 해당 리의 면적비는 배출부하량비와 동일하다는 가정을 하여, 농업용저수지 유역에 포함되는 리의 면적비를 구한 후 이를 해당 리의 배출부하량과 곱하여 저수지 유역에 포함된 리의 부하량을 산정하는 방법이다. 이러한 방법은 리에서 오염원분포가 균일하지 않을 경우 산정된 배출부하량은 오류가 포함될 가능성이 높다.

GIS기법을 이용해 배출부하량을 산정하기 위해서는 저수지별 유역경계GIS 자료, 전국동리경계GIS자료 및 리별배출부하량 산정자료가 필요하다. 측정망 대상저수지의 유역경계자료는 수자원관리처에서 전국 농업용저수지에 대해 구축한 GIS자료를 이용하였는데, 총 825개 대상 저수지 중 600개 저수지만 유역경계가 존재하고 그중 17%가 오류가 있어 총 500개 저수지에 대해 구축된 유역경계자료를 활용하였다. 동리경계자료는 2008년 당시 전국 동리경계GIS자료를 이용하였으며, 리별 배출부하량자료는 2009년 자료를 이용하였다.

이상의 자료를 이용하여 <그림 3-4>의 방법으로 500개 농업용저수지의 배출부하량을 산정하였다. 배출부하량이 잘 산정되었는지 확인하기 위해 본 연구에서 산정한 저수지별 2009년 배출부하량자료와 2009년 농업용저수지 수질측정망조사를 통해 산정한 저수지별 발생부하량자료의 비(배출부하량/발생부하량)를 산정한 후 분석하였다. 그 결과 발생부하량과 배출부하량이 일정한 범위의 비율을 가질 것이라는 예상과 달리 매우 넓은 범위의 값을 나타내었고 1이상의 값(배출부하량>발생부하량)을 갖는 경우도 많이 있었다. 이는 저수지에 포함된 리에서 저수지 하류에 도시가 있어 저수지 상류지역보다는 하류지역에 오염원이 밀집되어 배출부하량/발생부하량의 비가 1보다 큰 값을 나타냈다.

<그림 3-5>에서 원암리 면적의 60%, 노학동의 20%가 학사평지 유역에 포함되어, GIS방법에 의해 배출부하량을 산정할 경우 원암리와 노학동의 배출부하량에 각각 0.6과 0.2를 곱하여 학사평지 유역의 배출부하량을 산정한다. 그러나 실제 학사평지 유역의 부하량은 원암리와 노학동 부하량의 각각 2%와 1%가 존재하여 GIS방법에 의해 산정된 배출부하량에 오류가 발생하였다.

그러므로 본 연구에서는 비록 저수지 유역의 발생부하량보다 배출부하량이 저수지의 수질과 더 높은 상관관계를 갖더라도, 잠재수질지수 및 수질관리모델 개발에 배출부하량 대신 발생부하량을 이용하기로 하였다.



<그림 3-5> 배출부하량 산정시 오류

3. 수질측정망자료 DB화

가. 저수지 제원

825개 저수지에 대해 excel을 이용해 정리한 자료를 MS-Access를 이용해 (표 3-2)와 같이 26개 항목을 입력하였다. 입력된 항목의 필드크기는 향후 조정하여 최적의 크기로 필드크기를 감소시킬 계획이다.

(표 3-3) 저수지 제원 DB의 필드이름, 데이터형식, 필드크기

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
도상번호	실수	0	수계_수계	텍스트	255
통계코드	실수	0	수계_중권역	텍스트	255
주소코드	실수	0	위도	실수	4
표준코드	실수	0	경도	실수	4
지역본부	텍스트	255	수혜면적(ha)	실수	0
시도	텍스트	255	유역면적(ha)	실수	0
시설명	텍스트	255	유효저수량(천톤)	실수	0
시설구분	텍스트	255	만수면적(ha)	실수	0
관리자	텍스트	255	제당높이(m)	실수	0
도	텍스트	255	제당길이(m)	실수	0
시군	텍스트	255	준공년도	실수	0
구면읍동	텍스트	255	관리주체	텍스트	255
동리	텍스트	255	관할측후소명	텍스트	255
수계_권역	텍스트	255			

나. 수질측정망 수질자료

수질측정망 대상저수지별 조사된 수질자료를 (표 3-3)과 같이 MS-Access를 이용하여 입력하였다. 각 table과 연계될 수 있도록 시설 명 외에 통계코드를 입력하였다. 연도별로 실측된 수질항목이 다르기 때문에 조사되지 않은 수질항목은 빈칸으로 남겨 놓았으며, 농도가 낮아 불검출로 나타난 항목을 농도의 산술적 계산을 위해 MS-Access에 0으로 입력하였다.

(표 3-4) 수질측정망 대상저수지의 수질조사 결과

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
통계코드	실수		BOD	실수	1
시설명	텍스트	255	COD	실수	1
시설구분	텍스트	255	TN	실수	3
시설관리	텍스트	255	TP	실수	3
시도	텍스트	255	SS	실수	1
년	실수		Cl	실수	1
월	정수		Chla	실수	1
일	정수		Cu	실수	3
시설-연도코드	텍스트	255	Pb	실수	3
조사코드	텍스트	255	Cd	실수	3
조사구분	텍스트	255	As	실수	3
년월	텍스트	255	Hg	실수	3
수온	실수	1	수질등급	텍스트	255
pH	실수	1	TOC	실수	
EC	실수	0	영양상태	텍스트	255
DO	실수	1	저수율	실수	

다. 수질측정망 오염원자료

농업용저수지 수질측정망 대상저수지별 연 1회 조사한 결과를 MS-Access를 이용해 DB화하였다. 오염원수만을 이용해 DB를 입력하고 각각의 오염원별 발생부하량을 오염원수에 오염원단위를 곱하여 산정할 수 있으나, 일단은 계산된 값을 그대로 DB화 하였다. 하지만, 향후 오염원수만을 입력하여 DB를 간단하게 조정할 계획이다. 또한 환경부에서 배출부하량자료를 제공받게 되면 추가로 농업용저수지별 배출부하량을 정리하여 입력할 계획이다. 다른 DB와 연계될 수 있도록 시설 명 외에 통계코드를 추가하였다.

(표 3-5) 수질측정망 대상저수지의 오염원조사 결과

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
조사년도	실수		논BOD	실수	
통계코드	실수		임야BOD	실수	
주소코드	실수		기타BOD	실수	
시도	텍스트	255	총BOD	실수	
시설명	텍스트	255	생활계TN	실수	
구분	텍스트	255	한우TN	실수	
유역면적	실수		젓소TN	실수	
주오염원	텍스트	255	돼지TN	실수	
인구수	실수		산업계TN	실수	
한우두수	실수		양식계TN	실수	
젓소두수	실수		밭TN	실수	
돼지두수	실수		논TN	실수	
산업유량	실수		임야TN	실수	
양식면적	실수		기타TN	실수	
총면적	실수		총TN	실수	
밭면적	실수		생활계TP	실수	
논면적	실수		한우TP	실수	
임야면적	실수		젓소TP	실수	
기타면적	실수		돼지TP	실수	
생활계BOD	실수		산업계TP	실수	
한우BOD	실수		양식계TP	실수	
젓소BOD	실수		밭TP	실수	
돼지BOD	실수		논TP	실수	
산업계BOD	실수		임야TP	실수	
양식계BOD	실수		기타TP	실수	
밭BOD	실수		총TP	실수	

라. 처리시설 현황자료

농업용저수지 유역 내 처리시설 현황자료를 (표 3-5)와 같이 MS-Access에 입력하였다. 특정 연도별 유역 내 가동 중인 처리시설을 검색할 수 있도록 각 처리시설의 가동시작연도와 가동중단연도를 입력하였으며, 현재 가동 중인 처리시설은 가동중단연도를 빈칸으로 남겨 놓았다. 또한, 처리시설을 증설하여 처리시설 정보가 변한 경우 증설전 처리시설은 가동중단연도에 증설완료직후의 연도를 입력하고, 증설 후의 처리시설 정보는 별도의 레코드에 정보를 입력하였다.

(표 3-6) 수질측정망 대상저수지의 처리시설 현황자료

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
통계코드	실수		사업비	실수	
시설명	텍스트	50	처리공법	텍스트	50
시.도	텍스트	50	시업기간	텍스트	50
시.군	텍스트	50	비고	텍스트	50
처리시설종류	텍스트	50	가동시작연도	실수	
처리장명	텍스트	50	가동중단연도	실수	
용량	실수				

마. 기상자료

기상자료DB는 한국농어촌공사에서 HOMWRS에 사용할 목적으로 매년 갱신하여 입력한 DB를 그대로 이용하였다. 구축된 DB는 (표 3-6)과 같이 연도, 월, 일, 강우, 증발, 기온, 습도, 일조, 풍속이 입력되어 있으며, 각 기상관측소별 별도의 table에 입력되어있다. 또한 저수지별 기상자료를 비교할 수 있도록 일별기상자료를 이용해 월별 기상자료를 계산하여 별도의 MS-Access파일을 생성하였으며, 일별자료와 달리 record수가 많지 않아 모든 기상관측소의 월별 기상자료는 하나의 table에 입력하였다.

(표 3-7) 수질측정망 대상저수지의 처리시설 현황자료

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
연도	정수		기온	실수	
월	정수		습도	실수	
일	정수		일조	실수	
강우	실수		풍속	실수	
증발	실수				

바. 수질조사지점

농업용저수지 수질측정망 대상저수지의 시설위치와 조사지점을 위경도 및 세계측지계 좌표로 입력하였으며, 정확한 수질조사 지점을 특정 시설물 기준으로 어느 정도 거리에 떨어진 지점에서 조사를 실시하였는지에 관한 정보도 입력하였다.

(표 3-8) 수질측정망 대상저수지의 시설위치 및 수질조사지점

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
시설명	텍스트	20	조사위치_위도	실수	
통계코드	실수		조사위치_경도	실수	
주소코드	실수		조사위치_세계x	실수	
주소	텍스트	100	조사위치_세계y	실수	
시설위치_위도	실수		조사위치_지점	텍스트	50
시설위치_경도	실수		조사위치_거리	텍스트	50
시설위치_세계x	실수		조사위치_기준	텍스트	50
시설위치_세계y	실수				

2절 수질측정망 자료분석시스템 개발

1. 한국농어촌공사 내 수질측정망 관련 시스템 분석

가. RIMS(농업기반시설관리시스템, 2000~2008)

한국농어촌공사에서 관리하는 농업기반시설(저수지, 양수장, 양배수장, 배수장, 취입보, 집수암거, 관정, 집수정, 방조제, 용수간선, 용수지선, 용수지거, 배수간선, 배수지선, 배수지거 등)의 유지관리 종합정보를 구축할 목적으로 RIMS(농업기반시설관리시스템)를 개발하여 운영 중에 있다. RIMS에서 제공되는 자료의 주 메뉴는 농업기반시설, 농업용수, 목적외사용, 재해관리, 통계연보, GIS 자료이며, 이중 수질관련 자료는 농업용수-수질에 제공되고 있다. RIMS에서 제공되는 자료 및 기능은 각 지역본부에서 실측한 수질자료를 입력할 수 있는 기능, 관심 있는 저수지를 검색하면 저수지별 실측된 수질자료를 표로 제공한다.

또한 관심 있는 저수지를 검색한 후 해당저수지의 관심 있는 수질항목을 선택하면, 선택된 수질항목에 대해 연간 수질변화를 그래프로 제공한다. 또한 검색된 저수지에 대해 1년간 취득된 저수지제원, 오염원정보, 수질정보 및 사진을 pdf형태로 제공한다.



<그림 3-6> 농업기반시설관리시스템 화면

나. RAWRIS(농촌용수종합정보시스템, 2009~2010)

농촌용수종합정보시스템(RAWRIS)은 국가 물관리정보통합시스템의 일부로 농림수산식품부-한국농어촌공사에서 농촌용수 관련 자료를 제공할 목적으로 개발되었다. 국가 물관리정보통합시스템은 각 정부부처별로 수자원을 관리하던 것을 통합하여 관리할 목적으로 개발 중인 시스템으로 환경부는 수질관련 시스템, 국토부는 수량관련 시스템, 농식품부는 농촌용수 관련 시스템을 개발하였다.

RAWRIS 농촌용수종합정보시스템
RURAL AGRICULTURAL WATER RESOURCE INFORMATION SYSTEM

· 회원가입 · 로그인 · 사이트맵

RAWRIS 소개 수리시설물 농촌용수관리 재해관리 농촌용수계획 정보마당

농촌용수종합정보시스템
농촌지역에 산재되어 있는 농촌용수 관련정보(수량, 수질, 지하수, 시설물자료)를 생성, 가공, 분석, 제공하는 인터넷 포털 시스템입니다.

QUICK Menu · 지도화면 대체페이지 가기

지도정보 시설물현황 수위정보 수질현황 저수지100선 국가어도정보

WHAT'S NEW MORE+

사용자 권한 관련입니다. 2010.12.16
서비스 일시중단 알림 2010.02.22
시스템 일시중단 알림 2010.02.18

빠른 시설물 찾기
· 찾고싶은 시설물 이름을 입력하세요.

실시간 저수위자료

저수지명	저수위(m)	저수율(%)	저수량(천 ³ m)
상일 계곡	88.42	18.8	4,028
강원 계곡	565.31	100.0	256.0
강원 고산	134.95	99.2	542.8

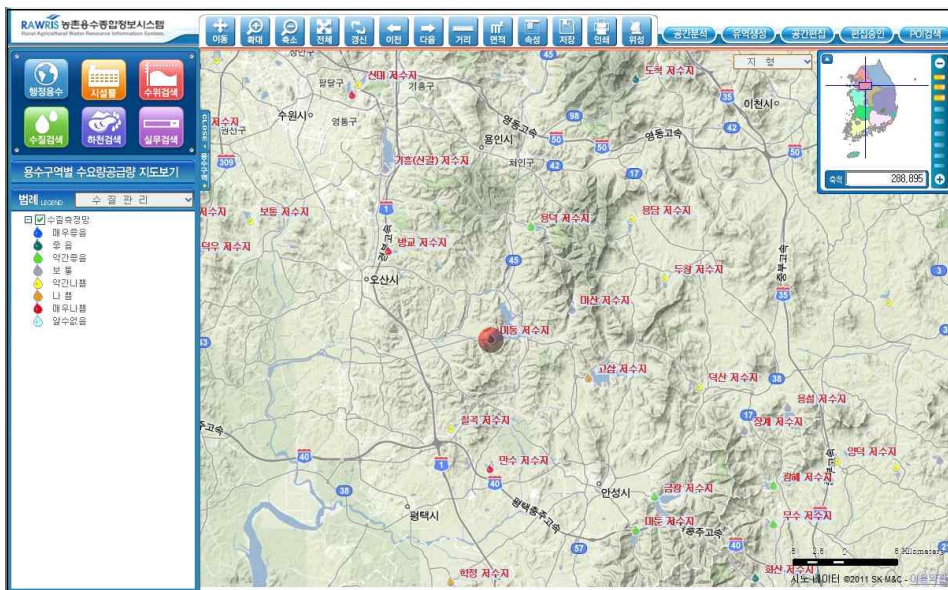
WINS 관력정보통합시스템 me 물환경정보시스템 Water Information System aml 국가수자원관리 종합정보시스템 소방방재청 농림수산식품부 한국농어촌공사

경기 의왕시 인왕관교로 30 (포일동 487) TEL 031-420-3381 FAX 031-423-6561
Copyright © 2009 KARICO, All Rights Reserved. CONTACT US kgd@ekr.or.kr

<그림 3-7> RAWRIS 메인화면

개발된 농촌용수종합정보시스템은 수량, 수질, 지하수, 시설물자료와 같은 농촌용수 관련 정보를 생성, 가공, 분석하는 기능을 제공한다. 농촌용수종합정보시스템에서 제공하는 자료는 수리시설물, 농촌용수관리(저수량, 수위, 수질, 지하수), 어도, 재해관리(가뭄, 홍수), ArcGIS기반의 GIS자료이다. 특히 ArcGIS기반으로 제공되는 GIS자료는 구글지도와 연계하여 구글지도 위에 해당 GIS자료를 나타내 쉽게 현장상황을 파악할 수 있도록 하였다. 하지만, RAWRIS에서 제

공하는 수질자료는 RIMS에서 제공되는 자료를 그대로 복사하여 사용하였으며, 제공되는 형태로 RIMS와 같이 검색된 저수지에 대해 연도별로 수질자료를 표로 제공한다. 또한 RIMS와 달리 ArcGIS기반의 구글 인터넷지도에 수질조사지점을 점으로 나타내고, 해당하는 점의 색을 COD기준 수질등급을 반영하여 환경부에서 제시한 수질등급별 색을 이용하여 표시함으로써 수질측정망저수지의 수질등급의 공간적 분포를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.



<그림 3-8> RAWRIS의 수질조사지점의 수질등급 표시

다. RIMS와 RAWRIS 단점

RIMS와 RAWRIS는 동일한 수질조사DB를 이용하고 있으나, 자료제공은 단순히 관심 있는 저수지를 검색하면 선택된 저수지만의 수질조사 결과를 표와 그래프 형태로 제공된다. 이 경우 해당 저수지만의 시간변화에 따른 수질변화를 분석하는데 효과적일 수 있지만, 여러 저수지의 수질결과를 비교 분석하기 위한 자료를 제공하지 못하고 있다. 즉, 관리기관별(지역본부, 지사) 수질 조사한 자료에 대한 통계자료를 제공하지 않고 있다. 그러므로 관리기관별 수질자료를 비교분석할 수 없으며, 전국 농업용저수지의 수질현황이 쉽게 파악되지 않고 있다.

또한 RIMS와 RAWRIS는 개별 저수지의 제원과 수질자료만을 제공하고 있

으나, 오염원자료(오염원수, 처리시설), 측정망변화, 기상자료가 DB형태로 제공되지 않고 연1회 pdf파일 형태로만 제공되고 있다.

라. 농업용수 수질측정망조사 보고서

매년 농업용저수지 수질측정망을 운영하면서 얻은 수질, 오염원, 처리시설 등의 자료를 다양한 형태로 분석하여 연1회 보고서를 발행하고 있다. 수질측정망조사 보고서는 RIMS와 RAWRIS와 달리 다양한 형태의 분석자료를 제공하여 농업용저수지 측정망 대상저수지의 수질현황 및 분포를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 수질측정망조사 보고서는 다양한 분석이 이루어졌음에도 불구하고 분석결과가 DB화 되어 있지 않고 보고서 형태만으로 제공되어 이용자가 관심 있는 내용에 대해 쉽게 검색 및 분석하기가 쉽지 않다.

마. 수질측정망자료 분석 결과 시스템으로 제공

수질측정망조사 보고서에서 분석한 자료와 같은 자료들을 RIMS와 RAWRIS와 유사한 시스템을 통해서 실무자들에게 제공될 경우 농업용저수지 수질관리에 매우 유용할 수 있다. 그러므로 이러한 시스템이 제공될 경우 수질관리 실무자가 농업용저수지 수질관리를 정확한 실측자료를 바탕으로 쉽게 판단할 수 있는 장점이 있다.

2. 자료분석시스템 개발 방향 및 구성

가. 개발방향

자료분석시스템을 개발할 경우 매년 DB를 업데이트해야 하는데, 윈도우 기반의 시스템을 개발할 경우 매년 전체 사용자를 대상으로 업데이트된 DB를 갱신하여야 하는데, 이 과정이 쉽지 않다. 그러므로 본 연구에서 개발하고자 하는 수질측정망 자료분석시스템은 DB업데이트가 용이하고 시스템 유지보수가 용이하도록 웹기반으로 시스템을 개발할 계획이다. 웹기반으로 시스템을 개발할 경우 서버에 구축된 DB만을 업데이트할 경우 시스템 사용자는 언제나 최신의 DB를 이용해 수질측정망 자료를 분석할 수 있다. 또한 시스템을 개발하면 오류와 일부 시스템 변경 등 다양한 형태로 유지보수가 필요하다. 이 경우에도 윈도우 기반으로 시스템을 개발할 경우 모든 사용자에게 수정된 프로그램을 제공해야 하지만, 윈도우 기반의 시스템을 개발할 경우 개발자가 서버에 있는 시스템을

쉽게 수정하여 제공할 수 있는 장점이 있다.

또한 개발된 시스템이 일반사용자가 쉽게 사용할 수 있고, 모든 컴퓨터에서 문제없이 구동될 수 있도록 하였다. 또한 별도의 프로그램 추가설치 없이 구동할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 위의 조건을 만족시키기 위해 Adobe Flash를 이용해 시스템을 개발하였으며, 개발된 시스템은 인터넷을 통해 접속이 가능하다.

자료분석시스템을 개발하기 위해 ① 시스템 설계 및 구성, ② 웹상의 화면 구성 및 개발, ③ DB와 시스템 연계 순으로 작업을 진행하였다. 시스템 설계 및 구성은 자료분석시스템에 어떤 자료를 어떤 형태로 제공할지를 연구하는 단계이며, 웹상의 화면 구성 및 개발은 앞 단계에서 설계한 내용을 웹상에서 어떻게 구현할지 결정한 후 본격적으로 시스템을 개발하는 단계이며, DB와 시스템 연계 단계는 실제 데이터가 입력된 DB와 웹상의 시스템을 서로 연계하는 단계이다.

나. 자료분석시스템 구성

‘농업용수 수질측정망조사 보고서’는 장기간 수집된 수질측정망자료에 대해 실무자가 필요로 하는 내용에 대해 효과적인 표와 그래프를 제공하고 있다. 그러므로 본 연구에서 개발할 자료분석시스템에 어떤 자료를 제공할지는 ‘농업용수 수질측정망조사 보고서’를 참조하였다. ‘농업용수 수질측정망조사 보고서’에서 제공하는 표와 그래프를 카테고리별로 분류하여 자료분석시스템에서 제공할 자료의 메뉴를 (표 3-9)와 같이 구성하였다.

(표 3-9) 수질측정망 자료분석시스템 메뉴구성

주메뉴	부메뉴	설명
측정망분포	측정망별	저수지측정망 및 호소측정망 개소수 및 시설수
	규모별	저수지규모별 시설수 (<500, <1000, <5000, <10,000, <50,000, >50,000)
	수계별	수계별 농업용저수지 및 담수호 시설수
강우량, 오염원	강우량	월간 누적 강우량
	주오염원	주오염원 종류별 시설수 (생활, 축산, 토지, 산업, 양식)
	수처리시설	종류별(하수종말, 분뇨, 산업폐수, 마을하수) 시설수 및 용량
수질현황	수질현황	COD, T-N, T-P농도, COD기준초과 시설수 및 비율
	수질등급	수질등급별시설수 (COD기준, Ia~VI), 수질기준달성율
	영양상태	영양상태별시설수 (극빈, 빈중, 중, 중부, 부)

(1) 측정망분포

농업용수 수질측정망 대상저수지는 연도별로 일부 추가되어 2011년 현재 825개 저수지를 조사하고 있다. 농업용수 수질측정망은 저수지측정망과 호소측정망으로 나뉘는데, 저수지측정망은 한국농어촌공사에서 운영하고, 호소측정망은 환경부에서 운영하고 있다. 또한 저수지측정망은 연4회 수질을 조사하는 반면, 호소측정망은 매달 수질을 조사하고 있다. 특정연도에 지역본부 및 지사별로 저수지측정망과 호소측정망이 얼마나 되는지 표와 그래프로 제공할 계획이며, 또한 연도별 저수지측정망과 호소측정망의 수가 어떻게 변했는지도 제공할 계획이다.

또한 특정연도에 측정망대상저수지가 본부 및 지사별로 저수지규모별 시설수가 얼마나 되는지와 연도별 저수지규모별 시설수가 어떻게 변했는지에 대한 자료도 제공할 계획이다. 저수지 규모는 <500 ton, <1,000 ton, <5,000 ton, <10,000 ton, <50,000 ton, >50,000 ton과 같이 6단계로 구분하여 제공할 계획이다. 농업용수 수질측정망 대상 저수지 및 담수호의 시설수를 수계별로 정리하여 제공한다.

(2) 강우량, 오염원

지역본부 및 지사별 월간 누적강우량 자료를 제공할 계획이다. 일반적으로 강우량과 저수지 수질과 매우 밀접한 관계가 있기 때문에 지역본부 또는 지사별로 관리하는 저수지에 내린 강우량을 파악하여 저수지 수질관리에 이용할 수 있다. 월간 누적강우량 자료는 선택된 지역본부 또는 지사에 대해 연도별 월간 강우량자료도 제공한다.

강우량 외에 저수지별 주요오염원의 종류별(생활계, 축산계, 토지계, 산업계, 양식계) 시설수를 제공하여 선택된 지역본부에서 관리하는 저수지들의 주요오염원의 분포가 어떻게 되는지 확인할 수 있다. 이를 통해 주요오염원의 종류에 따라 서로 다른 수질관리정책을 수립하여 저수지 수질을 관리할 수 있다.

저수지내 존재하는 수처리시설 종류별(하수종말처리장, 분뇨처리장, 산업폐수처리장, 마을하수도) 시설수 및 용량을 지사단위 또는 지역본부단위로 집계하여 제공한다.

(3) 수질현황

특정연도의 수질측정망 수질자료를 지사단위 및 지역본부단위로 평균 COD, T-N, T-P의 농도와 COD기준초과 시설수 및 비율자료를 제공한다. 또한 특정 저수지, 지사, 지역본부에 대한 연도별 COD, T-N, T-P농도와 COD기준초과 시설수 및 비율 변화자료를 제공한다.

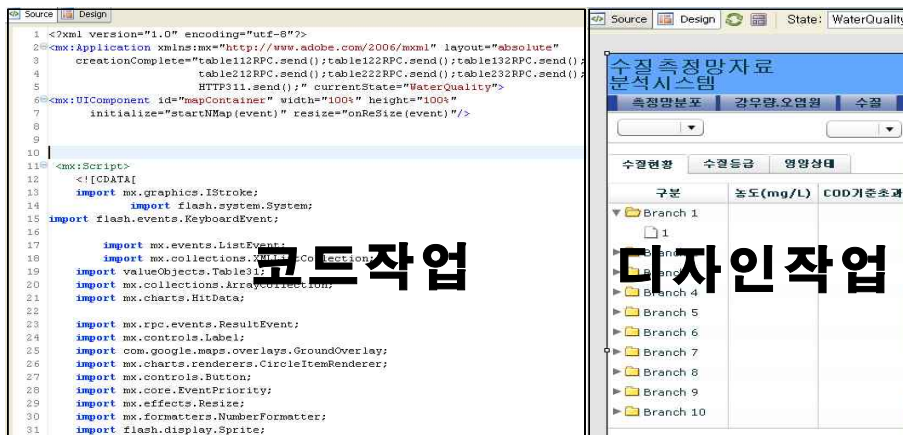
또한 특정연도에 대한 지사와 지역본부에 대한 COD기준 수질등급별 시설수와 수질기준 달성을 자료를 제공하여 특정연도에 관리조직별 수질등급분포와 수질기준 달성율을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 동일한 자료를 특정 저수지, 지사 또는 지역본부에 대해 연도별 수질등급과 수질기준 달성을 자료를 제공한다.

또한 특정연도에 대한 지사와 지역본부에 대한 영양상태별(극빈영양, 빈중영양, 중영양, 중부영양, 부영양) 시설수 자료를 제공하여, 특정연도에 관리조직별 영양상태별 시설수를 쉽게 파악할 수 있도록 도움을 준다. 동일한 자료를 특정 저수지, 지사, 지역본부에 대한 연도별 영양상태별 시설수 자료를 제공한다.

3. 웹상의 화면 구성 및 개발

가. 시스템 개발 방법

<그림 3-9>와 같이 Adobe flash를 이용해 수질측정망 자료분석시스템을 개발하였다. 왼쪽 창에서 코드작업을 하며, 오른쪽 창에서 디자인작업을 한다.



<그림 3-9> Adobe flash를 이용한 자료분석시스템 개발

전체적으로 수질측정망 자료분석시스템은 저수지별 조사된 측정망자료를 지사별, 지역본부별 및 전국 평균 및 합계를 <그림 3-10>과 같이 tree구조로 제공하여 사용자가 원하는 저수지, 지사, 지역본부별 통계값을 쉽게 탐색할 수 있도록 하였다.

구분	농도(mg/L)			COD기준초과	
	COD	T-N	T-P	시정수	비율
전국	6.3	1.2	0.037	176	21.3
강원	4.3	1.0	0.022	0	0.0
경기	7.1	1.5	0.075	26	36.1
가평군	4.0	1.3	0.007	0	0.0
강화	8.0	1.0	0.035	8	66.7
강화군	5.7	1.4	0.019	0	0.0
안성	6.7	1.2	0.079	2	18.2
덕신	5.3	1.1	0.034	0	0.0
고삼	4.3	2.8	0.442	0	0.0
두갈	8.0	1.0	0.072	1	100.0
마운	6.6	0.9	0.029	0	0.0

<그림 3-10> 수질측정망 자료분석시스템의 tree구조

지역별옵션을 선택할 경우 <그림 3-11>과 같이 관심 있는 연도를 선택하면 선택한 연도에 대한 지역본부, 지사, 저수지별 통계값이 tree구조로 제공된다.

지역별		2010					지역별		2009				
수정현황	수정등급	농도(mg/L)			COD	비율	수정현황	수정등급	농도(mg/L)			COD	비율
구분		COD	T-N	T-P	시정수		구분		COD	T-N	T-P	시정수	비율
전국		5.8	1.3	0.034	122	85.2	전국		6.3	1.2	0.037	164	19.9
강원		4.4	1.3	0.016	1	1.9	강원		4.3	1.0	0.022	0	0.0
경기		6.6	1.9	0.043	15	22.1	경기		7.0	1.5	0.069	23	33.8
강남		4.7	0.9	0.020	3	3.1	강남		5.2	0.7	0.028	7	7.2
강북		7.1	1.1	0.024	43	28.3	강북		7.4	0.7	0.031	47	31.1
강동		4.9	1.1	0.029	15	8.6	강동		5.3	1.4	0.032	21	12.1
강서		5.6	1.5	0.043	7	7.1	강서		6.1	1.8	0.045	16	16.3
강원		7.4	1.7	0.070	32	29.4	강원		8.3	1.2	0.045	42	38.5
충북		5.5	1.5	0.023	6	8.2	충북		6.1	1.0	0.027	8	11.0

<그림 3-11> 지역별옵션 선택 시 관심연도 선택화면

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 3-12>와 같이 관심 있는 지역본부, 지사, 저수지를 선택하면 선택한 지역에 대한 연도별 통계값이 제공된다.

연도별		전국					연도별		강원				
수정현황	수정등급	농도(mg/L)			COD	비율	수정현황	수정등급	농도(mg/L)			COD	비율
구분	1	COD	T-N	T-P	시정수		구분	1	COD	T-N	T-P	시정수	비율
전국		6.1	1.4	0.049	1,400	80.1	강원		4.0	1.0	0.022	10	97.8
2010		5.8	1.3	0.034	122	85.2	2010		4.4	1.3	0.016	1	98.1
2009		6.3	1.2	0.037	164	80.1	2009		4.3	1.0	0.022	0	100.0
2008		6.3	1.4	0.038	111	78.8	2008		4.0	1.2	0.015	0	100.0
2007		6.0	1.5	0.034	98	80.0	2007		4.0	1.1	0.007	0	100.0
2006		5.7	1.4	0.043	80	83.6	2006		3.5	0.8	0.016	0	100.0
2005		5.4	1.4	0.042	78	84.0	2005		3.0	1.4	0.012	0	100.0
2004		5.5	1.3	0.038	77	84.3	2004		3.4	0.8	0.011	1	97.0
2003		5.4	1.7	0.060	75	84.7	2003		3.2	1.0	0.029	0	100.0
2002		6.2	1.5	0.071	112	77.1	2002		4.4	1.1	0.029	3	90.9
2001		5.9	1.5	0.055	83	83.0	2001		4.0	1.1	0.024	0	100.0
2000		5.9	1.5	0.053	85	80.1	2000		4.2	1.2	0.028	1	96.0

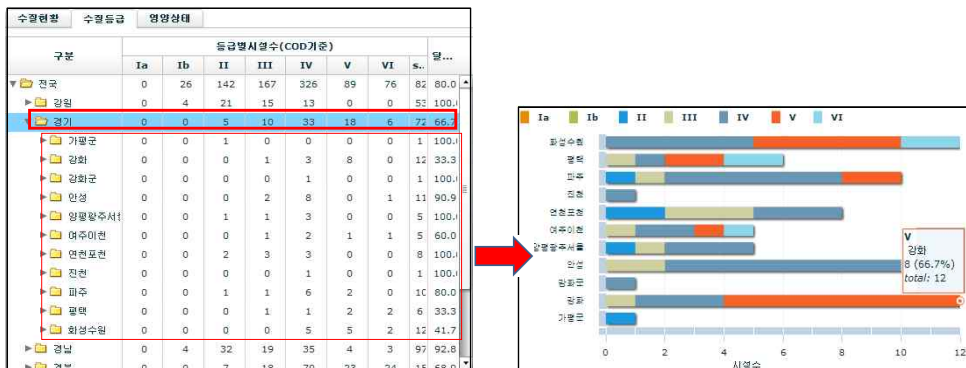
<그림 3-12> 연도별옵션 선택 시 관심지역 선택화면

Tree구조로 제공되는 자료를 선택할 경우 하단에 다양한 형태의 그래프를 추가하여 지역본부별, 지사별, 저수지별 다양한 통계값을 시각적으로 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 예를 들어 <그림 3-13>과 같이 강원지역본부-영북지사를 선택할 경우 영북지사에서 관리하는 4개 저수지의 평균 수질이 그래프로 제공되어, 영북지사의 수질관리자는 관리하고 있는 저수지들의 평균 수질농도의 높고 낮음을 직관적으로 파악할 수 있는 장점이 있다.



<그림 3-13> 수질현황 표와 그래프

수질등급메뉴에서 경기지역본부를 선택할 경우 <그림 3-14>와 같이 경기 지역본부 산하 지사별 관리하고 있는 저수지들의 수질등급별 개소수를 누적그래프로 제공하여 어느 지사의 수질이 심각한지 쉽게 파악이 가능하다. <그림 3-14>에서 강화지사에서 관리하고 있는 12개 저수지 중 8개가 수질등급 5등급을 유지하고 있음을 쉽게 파악할 수 있다.



<그림 3-14> 수질등급현황 표와 그래프

4. 개발된 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템

가. 측정망분포

측정망분포 메뉴는 수질측정망 대상 저수지의 저수지측정망과 호소측정망 별 분포, 규모별 분포 및 수계별 분포를 표와 그래프로 제공하는 메뉴로 3개의 부메뉴(측정망별, 규모별, 수계별)를 갖고 있다. 각각의 부메뉴에 의해 제공되는 자료는 다음과 같다.

(1) 측정망별

농업용저수지 중 일부는 농업용수 수질측정망으로 지정되어 농림수산식품부-한국농어촌공사에서 연 4회 수질 및 오염원조사를 하고 있으며, 일부는 농업용호소 수질측정망으로 지정되어 환경부에서 월1회 수질을 조사하고 있다. 측정망별 부메뉴에서는 농업용수 수질측정망의 개소수와 지점수, 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수, 그리고 총 측정망 개소수와 지점수를 표와 그래프로 제공한다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-15>와 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별 농업용수 수질측정망의 개소수와 지점수 및 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수가 표와 그래프로 나타난다. <그림 3-15>의 좌측 그림에서 전국을 클릭할 경우 각 지역본부별 측정망종류별 개소수와 지점수가 나타난다. 2010년 전국 측정망 대상저수지의 개소수와 지점수는 각각 825개소와 867개 지점으로, 이중 농업용수 수질측정망 개소수와 지점수는 각각 800개소와 805개 지점이고, 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수는 각각 25개소와 62개 지점으로 나타났다. 지역별로는 전남지역본부의 2010년 측정망 대상저수지가 174개소, 185개 지점으로 가장 많은 것으로 나타났으며, 강원지역본부가 개소수와 지점수가 모두 53개로 가장 적은 것으로 나타났다. 하단의 그래프를 통해 쉽게 지역본부별 측정망 대상저수지의 개소수의 대소를 쉽게 파악할 수 있으며, 마우스를 해당 그래프에 올려놓으면, 그림과 같이 정확한 값과 비율을 알 수 있다. 제일 측정망 대상저수지 개소수가 많은 전남지역의 경우 총 174개소 중 95.4 %인 166개소가 농업용수 수질측정망으로 운영되고 있으며, 4.6 %인 8개소가 농업용호소 수질측정망으로 운영되고 있음을 알 수 있다.

<그림 3-15>의 중앙 그림에서 경기지역본부를 클릭할 경우 경기지역본부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 농업용수 수질측정망 개소수와 지점수 및 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수를 표와 그래프로 제

공된다. 그림을 보면 강화지사가 2010년 측정망 대상저수지의 개소수가 12개로 제일 많은 것으로 나타났으며, 안성지사가 11개소로 다음으로 많은 것으로 나타났다. 반면에 강화군, 가평군은 각각 1개소가 수질측정망으로 지정되어 운영되고 있음을 알 수 있다. 특히, 평택지사의 경우 총 5개소의 저수지 중 3개소가 농업용호소 측정망으로 지정되어 제일 많은 농업용호소 측정망을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

<그림 3-15>의 우측 그림에서 안성지사를 클릭할 경우 안성지사에서 관리하는 저수지의 농업용수 수질측정망 개소수와 지점수 및 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수를 표와 그래프로 제공한다. 고삼저수지를 제외하고 모두 농업용수 수질측정망으로 지정되어 운영되고 있으며, 고삼저수지는 농업용호소 수질측정망으로 지정되었으며, 3개 지점에 대해 월1회 수질조사가 이루어지고 있다.



<그림 3-15> 측정망종류별 측정망 분포 현황(지역별읍선)

연도별읍선을 선택할 경우 <그림 3-16>과 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 농업용수 수질측정망 개소수와 지점수 및 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수의 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 2001년부터 2008년까지 농업용수 수질측정망은 485개소와 487개 지점이었으며, 농업용호소 수질측정망은 7개소와 13개 지점이었으나, 2009년에 약 2배 증가하여 2010년에 농업용수 수질측정망은 800개소와 805개 지점이었으며, 농업용호소 수질측정망은 25개소와 62개 지점이었다.



<그림 3-16> 측정망종류별 측정망 분포 현황(연도별읍선)

이상에서와 같이 측정망별 부메뉴에서는 농업용저수지 관리주체별, 연도별 농업용수 수질측정망과 농업용호소 수질측정망 개소수 및 지점수를 쉽게 파악할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 준다.

(2) 규모별

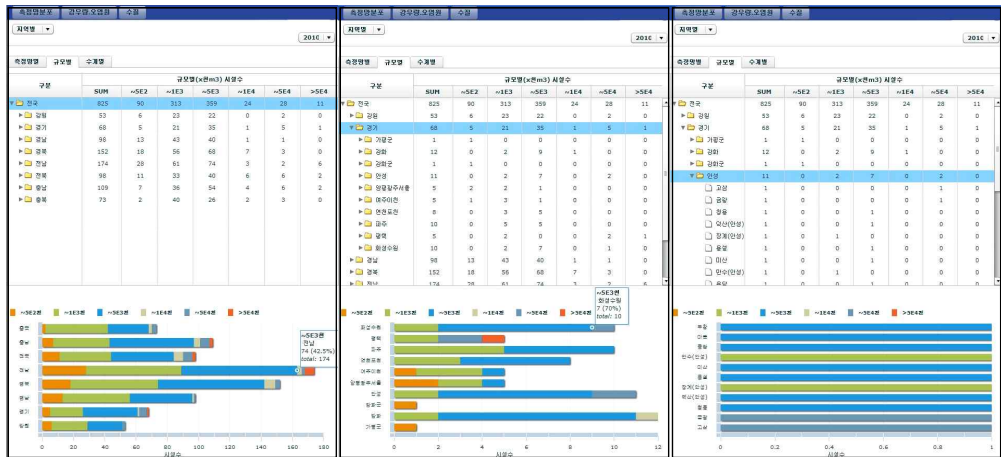
농업용저수지 중 수질측정망으로 지정되어 운영 중인 저수지의 규모별 분포 현황을 지역별(지역본부, 지사, 시군)과 연도별로 자료를 표와 그래프 형태로 제공한다. 규모는 500천 m³이하, 500천 m³ ~ 1,000천 m³, 1,000천 m³ ~ 5,000천 m³, 5,000천 m³ ~ 10,000천 m³, 10,000천 m³ ~ 50,000천 m³, 50,000천 m³ 초과와 같이 6단계로 구분하였다.

지점별 읍선을 선택할 경우 <그림 3-17>과 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별로 규모별 시설수를 표와 그래프로 나타난다. <그림 3-17>의 좌측 그림에서 전국을 클릭할 경우 각 지역본부별 수질측정망 대상저수지의 규모별 시설수가 나타난다. 전국적으로 500천 m³ ~ 1,000천 m³와 1,000천 m³ ~ 5,000천 m³ 규모의 농업용저수지 수가 각각 313개소와 359개소로 전체의 약 81%를 차지하는 것으로 나타났다. 2010년 전체 지역본부 중 전남지역본부 관할 지역에 존재하는 농업용저수지 시설수가 174개소로 제일 많으며, 이중 1,000천 m³ ~ 5,000천 m³ 규모의 농업용저수지가 74개소(42.5%), 500천 m³ ~ 1000천 m³ 규모의 농업용저수지가 61개소(35.1%)로 높은 비율을 차지하였으며, 50,000천 m³를 초과하는 저수

지도 6개소(3.4 %)인 것으로 나타났다.

<그림 3-17>의 중앙 그림에서 경기지역본부를 클릭할 경우 경기지역본부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 농업용저수지 수질측정망 대상저수지의 규모별 분포가 나타난다. 강화군과 가평군에서 관리하는 수질측정망 대상저수지는 규모가 500천 m³ 이하의 소규모 저수지인 것으로 나타났다. 평택지사는 다른 지사와 달리 50,000천 m³ 이상의 큰 규모의 농업용저수지를 관리하고 있는 것을 알 수 있다.

<그림 3-17>의 우측 그림에서 안성지사를 클릭할 경우 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 규모가 표와 그래프로 나타난다. 고삼과 금광저수지가 10,000천 m³ ~ 50,000천 m³ 규모의 저수지이고, 만수와 장계저수지는 500천 m³ ~ 1,000천 m³ 규모의 저수지이며, 나머지 저수지는 모두 1,000천 m³ ~ 5,000천 m³ 규모의 저수지임을 쉽게 알 수 있다.



<그림 3-17> 농업용저수지 규모별 분포 현황(지역별읍선)

연도별읍선을 선택할 경우 <그림 4-18>과 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 농업용수 수질측정망 대상저수지의 규모별 분포변화를 쉽게 파악할 수 있다. 2008년까지 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지수가 492개소를 유지하다가 2009년에 크게 증가하여 826개소가 운영되었는데, <그림 4-18>을 보면 대부분 500천 m³이하와 500천 m³ ~ 1,000천 m³ 규모의 소규모 농업용저수지가 추가되었음을 알 수 있다.



<그림 3-18> 농업용저수지 규모별 분포 현황(연도별 옵션)

이상에서와 같이 규모별 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지정된 저수지의 규모별 분포를 관리주체(지역본부, 지사 및 시군) 및 연도별 쉽게 파악 할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 준다.

(3) 권역 및 수계별

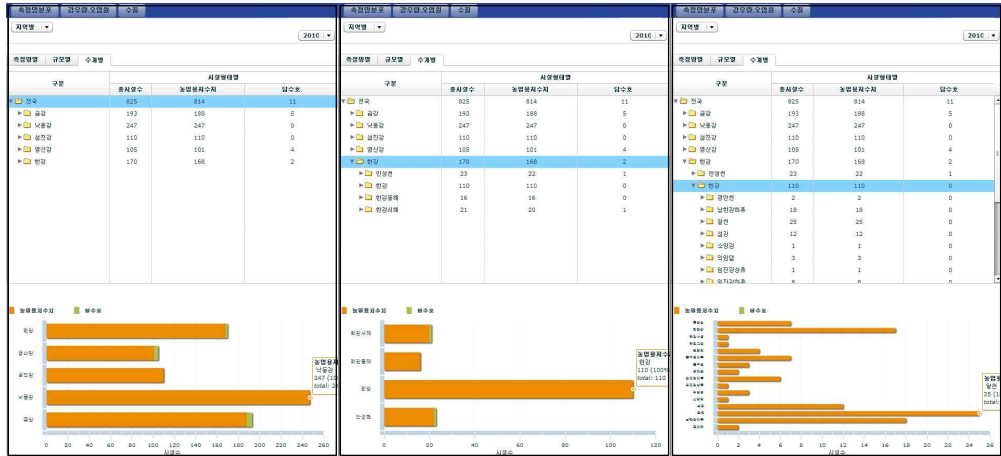
농업용저수지 수질측정망으로 지정되어 운영 중인 저수지의 권역 및 수계별 분포 현황을 표와 그래프 형태로 제공한다. 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지를 5개의 권역(한강, 영산강, 섬진강, 낙동강, 금강)으로 분류하고 각각의 권역별 수계로 분류한 후 다시 중권역으로 분류하였다.

지역별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-19>와 같이 대권역, 수계, 중권역별 개소수를 농업용저수지와 담수호로 구분하여 표와 그래프로 제공한다. <그림 3-19> 좌측 그림에서 전국을 클릭할 경우 각 대권역별 농업용저수지와 담수호의 개소수가 나타난다. 전국적으로 농업용저수지 수질측정망으로 지정되어 운영 중인 농업용저수지는 814개소, 담수호는 11개소 인 것으로 나타났다. 총 시설수는 낙동강권역이 247개소로 제일 많은 것으로 나타났으며, 다음으로 금강(193개소), 한강(170개소) 순으로 나타났다. 담수호는 금강권역이 5개소로 제일 많으며, 영산강(4개소), 한강(2개소) 순으로 나타났다.

<그림 3-19>의 중앙 그림에서 한강권역을 클릭할 경우 한강권역에 포함되는 수계별 농업용저수지와 담수호 개소수가 표와 그래프로 나타난다. 한강수계

에 포함된 저수지가 110개소로 제일 많은 것으로 나타났으며, 한강동해수계가 16개소로 제일 적은 것으로 나타났다.

<그림 3-19>의 우측 그림에서 한강수계를 클릭할 경우 한강수계에 포함된 중권역별 저수지 수가 나타난다. 달천 중권역이 25개소로 제일 많은 것으로 나타났고, 다음으로 한강하류(18개소), 한탄강(17개소) 순으로 나타났다.



<그림 3-19> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 3-20>과 같이 연도별 농업용수 수질측정망 대상저수지의 수계별 분포변화를 쉽게 파악할 수 있다. 2007년까지 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지가 492개소를 유지하다가 2009년에 크게 증가하여 826개소가 운영되었다. <그림 3-20>을 보면 2008년부터 낙동강수계 247개소, 금강수계 193개소, 한강수계 170개소, 섬진강수계 110개소, 영산강수계 105개소인 것을 확인할 수 있다.

이상에서와 같이 수계별 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지정된 저수지의 수계별 분포를 쉽게 파악할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 준다.



<그림 3-20> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(연도별 옵션)

나. 강우량·오염원

강우량·오염원 메뉴는 수질측정망 대상 저수지의 강우량, 주요오염원 및 처리 시설을 관리기관별, 연도별로 표와 그래프로 제공하는 메뉴로 3개의 부메뉴(강우량, 주요오염원, 처리시설)를 갖고 있다. 각각의 부메뉴에 의해 제공되는 자료는 다음과 같다.

(1) 강우량

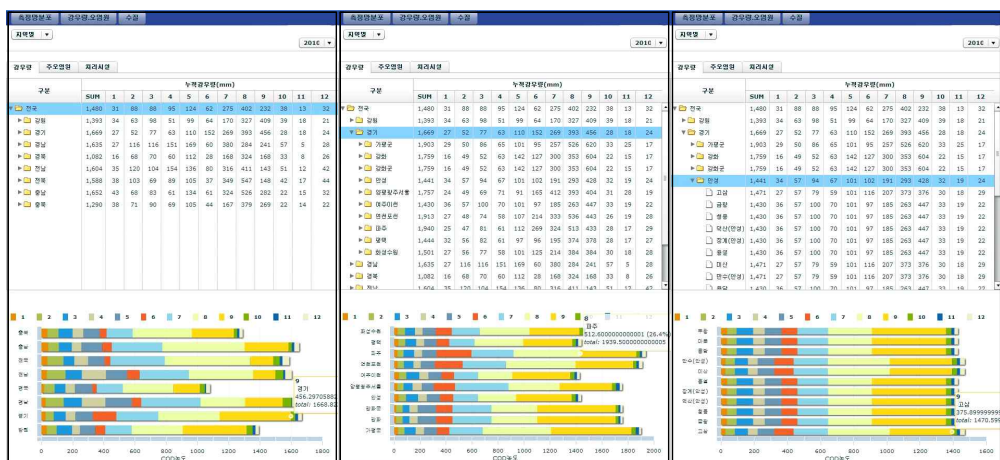
농업용저수지 수질측정망 대상저수지의 관할관측소 및 측후소의 정보를 이용해 각 농업용저수지에 내린 월별 강우량자료를 저수지별, 지사별, 지역본부별 평균값을 제공한다. 이때 제공되는 지사별, 지역본부별 평균 월간 누적 강우량 값은 기상청의 전국 또는 시·도별 평균값과 다를 수 있다. 그 이유는 기상청에서는 특정지역에 포함된 관측소의 정보를 평균하여 특정지역의 평균 강우량으로 제공하지만, 본 자료분석시스템에서는 농업용저수지에 내린 강우량을 평균하기 때문에 해당지역본부의 평균값이 농업용저수지가 많이 분포하는 지역의 평균값을 많이 반영하기 때문이다. 일반적으로 강우량과 저수지의 수질은 매우 밀접한 관계를 갖고 있으므로, 저수지의 수질을 관리하는데 저수지별, 지사별, 지역본부별 강우량은 매우 중요한 자료로 활용될 수 있다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-21>과 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별 평균 월간 누적강우량 자료가 표와 그래프로 나타난다. 전국을 클릭할 경우 <그림 3-21>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별 평균 월간 누적강우량 자료

가 나타난다. 농업용저수지에 내린 전국 평균 강우량은 1,480 mm이었으며, 경기 지역본부가 관리하는 수질측정망 대상저수지에 내린 강우량이 1,669 mm로 제일 많았으며, 경북지역본부가 1,082 mm로 제일 적게 나타났다. 2010년 경기지역본부가 관리하는 수질측정망 대상저수지에 내린 강우량은 7월(269 mm), 8월(393 mm), 9월(456 mm)에 내린 강우량이 1년 동안 내린 총강우량(1,669 mm)의 67 %를 차지하였다. 특히 경기지역본부와 강원지역본부의 경우 다른 지역본부와 달리 9월에 제일 많은 비가 내린 것으로 나타났다.

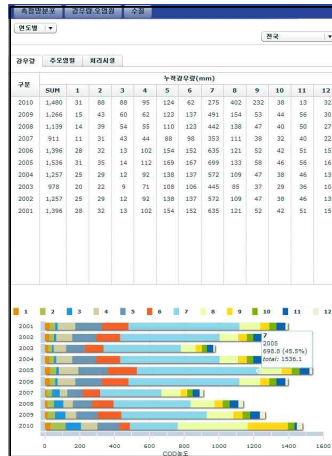
<그림 3-21>의 중앙 그림에서 한강권역을 클릭할 경우 경기지역본부 산하 지사 및 시·군에서 관리하는 농업용저수지에 내린 강우량자료가 표와 그래프로 나타난다. 경기지역본부 산하 지사 및 시·군 중 파주시에서 관리하는 수질측정망 대상저수지에 1,940 mm로 제일 많이 비가 내렸으며, 그 다음으로 연천포천(1,913 mm), 가평군(1,903 mm) 순으로 나타났다. 반면에 여주이천지사가 1,430 mm로 제일 적은 비가 내렸으며, 다음으로 안성지사(1,441 mm), 평택지사(1,444 mm)로 나타났다.

안성지사를 클릭할 경우 <그림 3-21>의 우측 그림과 같이 안성지사에서 관리하는 농업용저수지별 강우량 자료가 표와 그래프로 나타난다. 만수, 미산, 고삼저수지가 1,471 mm로 제일 많은 비가 내린 것으로 나타났는데, 3개 저수지의 관할측후소는 모두 수원이다. 나머지 저수지들은 관할측후소가 이천으로 2010년에 모두 1,430 mm의 비가 내린 것으로 나타났다.



<그림 3-21> 측정망 대상지역 월간 누적강우량 분포 현황(지역별읍선)

연도별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-22>와 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 강수량변화를 쉽게 파악할 수 있다. 전국적으로 2005년에 1,536 mm로 제일 많은 비가 왔으며, 그 다음으로 2010년(1,408 mm), 2006년(1,396 mm), 2001년(1,396 mm) 순으로 많은 비가 온 것으로 나타났다. 반면에 2007년은 911 mm로 제일 적은 비가 내린 것으로 나타났다.



<그림 3-22> 측정망 대상지역 월간 누적강수량 분포 현황(연도별 옵션)

이상에서와 같이 강수량 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지정된 저수지에 내린 강수량을 저수지별, 지사 및 시군별, 지역본부별로 쉽게 파악할 수 있도록 표와 그래프 형태로 제공해 농업용저수지 수질을 관리하는데 유용하다.

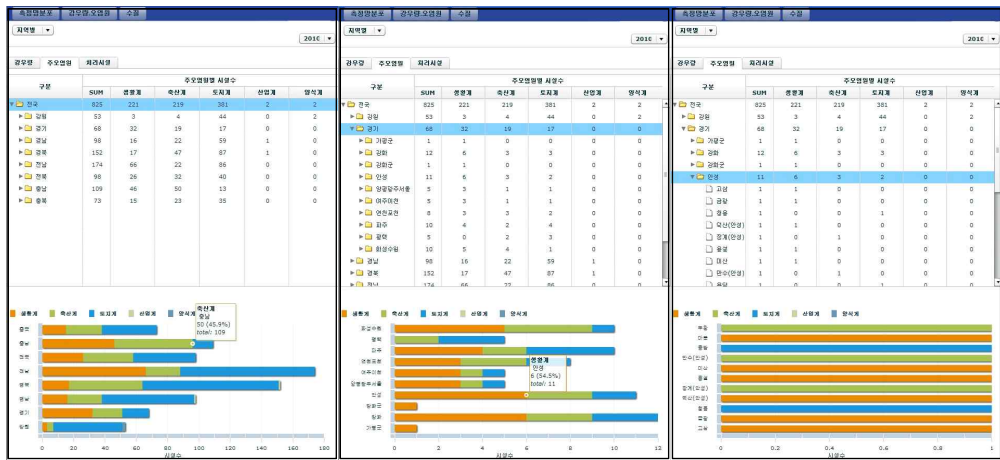
(2) 주요염원

농업용저수지 중 수질측정망으로 지정되어 운영 중인 저수지의 주요염원 현황을 지역별(지역본부, 지사, 시군)과 연도별로 표와 그래프 형태로 제공한다. 주요염원은 개별 저수지의 계별(생활계, 축산계, 토지계, 산업계, 양식계) 발생부하량 중 가장 많은 양을 차지하는 계를 해당 저수지의 주요염원으로 하였다. 일반적으로 외부 오염원이 적어 저수지의 수질이 좋은 경우에는 주로 토지계가 주요염이고, 외부 부하가 많아 저수지 수질이 나쁜 경우에는 대부분 생활계 또는 축산계가 주요염원이다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-23>과 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별로 규모별 시설수를 표와 그래프로 나타낸다. 전국적으로는 토지계가 주요 오염원인 저수지의 개소수가 381개소로 제일 많으며, 그 다음으로 생활계(221개소), 축산계(219개소) 순으로 많은 것으로 나타났다. 전국을 클릭할 경우 <그림 3-23>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별 수질측정망 대상저수지의 주요오염원이 나타난다. 제일 오염도가 낮은 강원지역본부에서 관리하는 저수지의 경우 83%(44개소)가 토지계가 주요오염원인 것으로 나타난 반면, 오염도가 심한 경기 및 충남지역본부의 경우 토지계가 주요오염원인 저수지의 비율은 각각 11.9%(13개소), 25%(17개소)로 나타났다. 저수지의 오염도가 제일 심한 충남지역본부의 경우 축산계가 45.9%(50개소)로 제일 높게 나타났으며, 다음으로 생활계가 42.2%(46개소)로 높게 나타났다.

경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 3-23>의 중앙 그림과 같이 경기지역본부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 주요오염원 분포가 나타난다. 안성지사가 생활계 주요오염원의 비율이 54.5%(6개소)로 제일 높게 나타났으며, 다음으로 화성수원지사(5개소), 강화지사(6개소)가 모두 50%로 높게 나타났다. 특히 화성수원지사의 경우 총 10개의 농업용저수지 중 1개소를 제외하고는 모두 생활계 또는 축산계가 주요오염원인 것으로 나타나 생활계와 축산계의 오염부하량을 감소시켜야할 필요성이 있는 것으로 나타났다. 또한 강화군과 가평군에서 관리하는 저수지는 각각 1개소로 모두 생활계가 주요오염원인 것으로 나타났다.

안성지사를 클릭할 경우 <그림 3-23>의 우측 그림과 같이 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 주요오염원이 표와 그래프로 나타난다. 안성지사서 관리하는 11개소의 농업용저수지 중 생활계 주요오염원이 6개소, 축산계 주요오염원이 3개소, 토지계 주요오염원이 2개소로 나타났다. 특히 저수용량이 제일 많은 고삼저수지(15,217천 m³)는 주요오염원이 생활계이며, 2010년 COD농도가 16.2 mg/L로 제일 높은 농도를 나타냈던 만수저수지의 경우 주요오염원이 축산계인 것으로 나타났다. 안성지사의 경우 유역개발이 많이 이루어져 용담과 청용저수지를 제외하고는 모두 생활계 또는 축산계가 주요오염원인 것으로 나타났다.



<그림 3-23> 농업용저수지 주요염원 분포 현황(지역별읍선)

연도별읍선을 선택할 경우 <그림 3-24>와 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 주요염원변화를 쉽게 파악할 수 있다. 전국적으로 2001년부터 생활계의 비율은 감소하는 반면, 축산계의 비율이 점차 증가하고 있음을 알 수 있다. 2009년과 2010년을 비교하면, 축산계는 24.7%에서 26.5%로 증가한 반면, 생활계와 토지계는 각각 28%→26.8%, 47%→46.2%로 소폭 감소한 것으로 나타났다.



<그림 3-24> 농업용저수지 주요염원 분포 현황(연도별읍선)

이상에서와 같이 주요염원 부메뉴에서는 농업용저수지 수질추정망으로 지

정된 저수지의 주요염원 정보를 저수지별, 지사 및 시군별, 지역본부별로 쉽게 파악 할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 농업용저수지 수질을 관리 하는데 유용하게 이용될 수 있다.

(3) 수처리시설

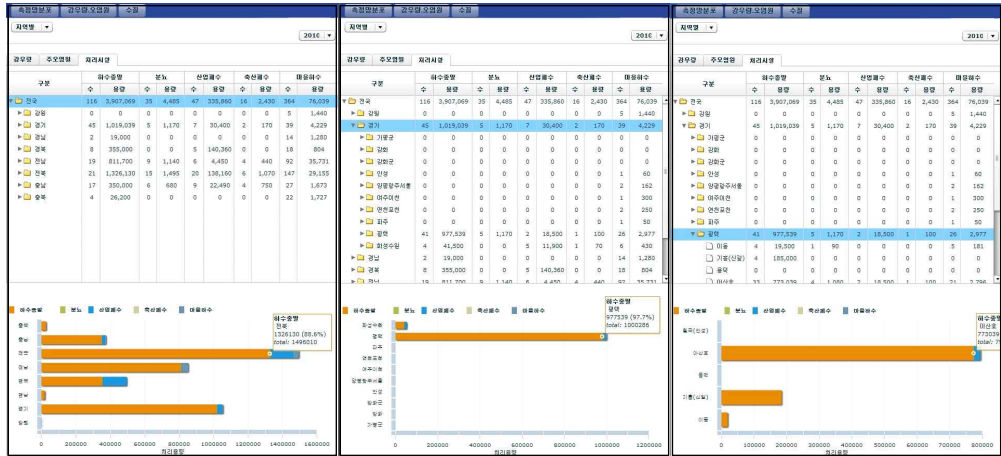
농업용저수지 중 수질측정망으로 지정되어 운영 중인 저수지의 처리시설 종류별 시설수 및 처리용량 현황을 지역별(지역본부, 지사, 시군)과 연도별로 표와 그래프 형태로 제공한다. 처리시설은 하수종말처리장, 분뇨처리장, 산업폐수처리장, 축산폐수처리장, 마을하수도로 구분하여 각 저수지별 시설수와 용량 자료를 제공한다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-25>와 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별로 규모별 시설수를 표와 그래프로 나타난다. 전국적으로는 하수종말처리장 116개소, 분뇨처리장 35개소, 산업폐수처리장 47개소, 축산폐수처리장 16개소, 마을하수도 364개소로 나타났으며, 처리용량은 하수종말처리장이 3,907,069 m³/일로 제일 많은 것으로 나타났으며, 산업폐수처리장(335,860 m³/일), 마을하수도(76,039 m³/일), 분뇨처리장(4,485 m³/일), 축산폐수처리장(2,430 m³/일)순으로 많은 것으로 나타났다. 전국을 클릭할 경우 <그림 3-25>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별 수질측정망 대상저수지의 처리시설 종류별 시설수와 처리용량이 나타난다. 전북지역본부의 하수종말처리용량이 1,326,130 m³/일로 제일 많은 것으로 나타났으며, 다음으로 경기지역본부가 1,019,039 m³/일로 많은 것으로 나타났다. 하수종말처리장의 처리용량 비율이 약 80 % 이상으로 대부분의 오염물질을 하수종말처리장을 이용해 저감하고 있는 것으로 나타났다. 반면에 강원지역본부의 경우 마을하수도 5개소를 제외하고는 처리장이 없는 것으로 나타났다. 이는 앞서 강원지역본부가 생활계와 축산계의 주요염원의 비율이 13.2 %로 제일 낮았기 때문에 상대적으로 생활계와 축산계 부하량을 저감시키기 위한 처리시설이 제일 적었던 것으로 판단된다.

경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 3-25>의 중앙 그림과 같이 경기지역본부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 처리시설 분포가 나타난다. 평택과 화성수원지사를 제외하고는 모두 오염부하량을 저감시키기 위해 마을하수도만을 적용하고 있는 것을 알 수 가 있다.

평택지사의 하수종말처리장 처리용량이 매우 높은 것으로 나타났는데, 평택지사를 클릭할 경우 <그림 3-25>의 우측 그림과 같이 평택지사에서 관리하는

측정망 대상저수지의 처리시설 자료가 표와 그래프로 나타난다. 아산호의 유역 내 33개의 하수종말처리장이 운영되고 있어 평택지사에서 관리하는 저수지에서 처리되는 오염물질의 용량 중 약 77%가 아산호 상류에 존재하는 하수종말처리장에서 처리하고 있다. 기흥저수지의 경우 인근에 아파트단지가 많이 조성되어 상대적으로 유역면적대비 처리되고 있는 용량이 매우 많은 것으로 나타났다.



<그림 3-25> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(지역별읍선)

연도별읍선을 선택할 경우 <그림 3-26>과 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 수처리시설 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 전국적으로 2001년부터 하수종말처리장의 처리용량이 지속적으로 증가하면서 2001년 하수종말처리장의 처리용량이 2,476,482 m³/일이던 것이 2010년에는 3,907,069 m³/일로 약 60% 증가하였다.

이상에서와 같이 처리시설 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지정된 저수지의 수처리시설 정보를 저수지별, 지사 및 시군별, 지역본부별로 쉽게 파악할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 농업용저수지 수질을 관리하는데 유용하게 이용될 수 있다.



<그림 3-26> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(연도별읍선)

다. 수질현황

수질 메뉴는 농업용저수지 수질측정망 대상저수지에 대해 연 4회 실측한 수질자료를 이용해 저수지별, 지사별, 지역본부별 수질농도, 수질등급 및 영양상태를 제공하는 메뉴로 3개의 부메뉴(수질현황, 수질등급, 영양상태)를 갖고 있다. 각각의 부메뉴에 의해 제공되는 자료는 다음과 같다.

(1) 수질현황

농업용저수지 수질측정망 대상저수지에 대해 연 4회 실측한 수질자료를 이용해 저수지별, 지사별, 지역본부별 COD, T-N, T-P농도와 COD기준초과 시설수 및 비율을 표와 그래프 형태로 제공한다. 이때 제공되는 수질자료는 연 4회 실측한 수질자료를 연 평균한 값이다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-27>과 같이 선택한 연도에 대해 지역본부별, 지사별, 저수지별 연평균 COD, T-N, T-P농도와 COD기준초과 시설수 및 비율이 표와 그래프로 나타난다. 2010년 전국 수질측정망 대상저수지의 평균 COD, T-N, T-P의 농도는 각각 5.8 mg/L, 1.3 mg/L, 0.034 mg/L이고, COD기준초과 시설수는 122개소로 전체 수질측정망 대상저수지의 14.8 %에 해당된다.

전국을 클릭할 경우 <그림 3-27>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별 평균 수질 및 COD기준초과 시설수 및 비율이 나타난다. 2010년 지역본부별 연평균 COD농도는 충남이 7.4 mg/L로 제일 높게 나타났으며, 경북(7.1 mg/L), 경기(6.6

mg/L) 순으로 높게 나타난 반면, 강원은 4.4 mg/L로 제일 낮은 COD농도를 나타냈다. COD기준초과 비율 역시 충남이 29.4 %(32개소)로 제일 높게 나타났으며, 경북(28.3 %), 경기(22.1 %) 순으로 높게 나타났다. 반면 강원은 COD기준초과 비율이 1.9 %(1개소)로 제일 적게 나타났으며, 경남(3.1 %), 전북(7.1 %) 순으로 적게 나타났다.

경기지역본부 클릭할 경우 <그림 3-27>의 중앙 그림과 같이 경기지역본부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 연평균 COD, T-N, T-P농도와 COD기준초과 시설수 및 비율이 나타난다. 경기지역본부 내 지사 또는 시군 중에서 화성수원지사의 연평균 COD농도가 8.7 mg/L로 제일 높게 나타났으며, 여주이천지사(7.6 mg/L), 강화지사(7.4 mg/L) 순으로 높게 나타났다. COD기준초과비율 역시 화성수원지사(60 %), 여주이천지사(40 %), 강화지사(33.3 %)가 높게 나타났다. 경기지역본부에서는 위의 3개 지사가 관리하는 저수지에 대해 집중 수질관리를 실시해야 할 것으로 판단된다.



<그림 3-27> 농업용저수지 수질 분포 현황(지역별읍선)

안성지사를 클릭할 경우 <그림 3-27>의 우측 그림과 같이 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 연평균 수질 및 COD기준초과 시설수가 나타난다. 안성지사에서 관리하는 11개의 수질측정망 대상저수지 중 만수저수지가 2010년 연평균 COD농도가 16.2 mg/L로 제일 높게 나타나 안성지사에서 제일 집중적으로 수질을 관리해야 하는 대상 저수지로 나타났다. 만수저수지를 제외하고는 안성지사에서 관리하는 수질측정망 대상저수지 모두 4등급을 만족하는 것으로

나타났다.

연도별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-28>과 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 수질농도 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 본격적으로 수질측정망을 지정하여 운영한 2001년부터 연도별 수질변화를 살펴보면 2003년과 2005년이 COD농도 5.4 mg/L로 낮은 농도를 유지하다가 2009년까지 지속적으로 증가한 후 2010년에 큰 폭으로 감소하였다. 수질은 다른 항목에 비해 연도별 변화폭이 크게 나타났다. 연도별 경기지역본부에서 관리하는 수질측정망 대상저수지의 수질변화는 <그림 3-28>의 중앙 그림과 같다. 전국적인 경향과 비슷하게 2003년에 제일 낮은 농도를 나타내다가 2009년까지 조금씩 증가한 후 2010년에 큰 폭으로 감소하였다. 특히 2007년에 일시적으로 COD농도가 큰 폭으로 증가하였는데, 이는 2007년의 연평균 강우량이 최근 10년 중 제일 적었던 것과 상관이 있을 것으로 판단된다. 안성지사에서 관리하는 11개 저수지의 연평균 수질변화를 살펴보면 2003년 COD농도가 제일 낮았던 것을 제외하고는 2010년까지 지속적으로 농도가 증가하였다. 특히, 다른 지역에서는 2010년에 큰 폭으로 농도가 감소한 반면, 안성지사의 경우 오히려 2010년에 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 안성지사에서 관리하는 저수지 중 오염도가 제일 심한 만수저수지의 경우 2008년에 COD농도가 제일 낮게 나타났으며, 2010년에 높게 나타났다.



<그림 3-28> 농업용저수지 수질현황(연도별 옵션)

이상에서와 같이 수질현황 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지정된 저수지의 수질자료를 관리주체별(저수지별, 지사별, 지역본부별), 연도별로

쉽게 파악 할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 농업용저수지 수질을 관리하는데 유용하게 이용될 수 있다.

(2) 수질등급

농업용저수지 수질측정망 대상저수지에 대해 연 4회 실측한 수질자료를 이용해 저수지별, 지사별, 지역본부별 COD기준 수질등급별 시설수와 수질기준 달성율을 표와 그래프 형태로 제공한다. 이때 제공되는 수질등급은 연평균 COD농도를 기준으로 분류한 수질등급이다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-29>와 같이 선택한 연도에 대해 지역본부별, 지사별, 저수지별 COD기준 수질등급별 시설수와 수질기준 달성율이 나타난다. 전국적으로 IV등급(310개소, 38 %)이 제일 많은 것으로 나타났으며, III등급(169개소, 21 %), II등급(162개소, 20 %) 순으로 많은 것으로 나타났다. 또한 수질기준 달성율은 85.2 %로 나타났다.

전국을 클릭할 경우 <그림 3-29>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별로 수질등급별 시설수 및 달성율이 나타난다. 수질기준 달성율(농업용수기준)이 제일 낮은 충남지역본부의 경우 IV등급(44개소, 40 %)이 제일 많은 것으로 나타났으며, VI등급(24개소, 22 %), III등급(22개소, 20.2 %) 순으로 많은 것으로 나타났다. 강원지역본부의 경우 1개소만 V등급으로 분류되었으며, 그 외 모든 수질측정망 대상저수지가 IV등급 이하로 나타났다.

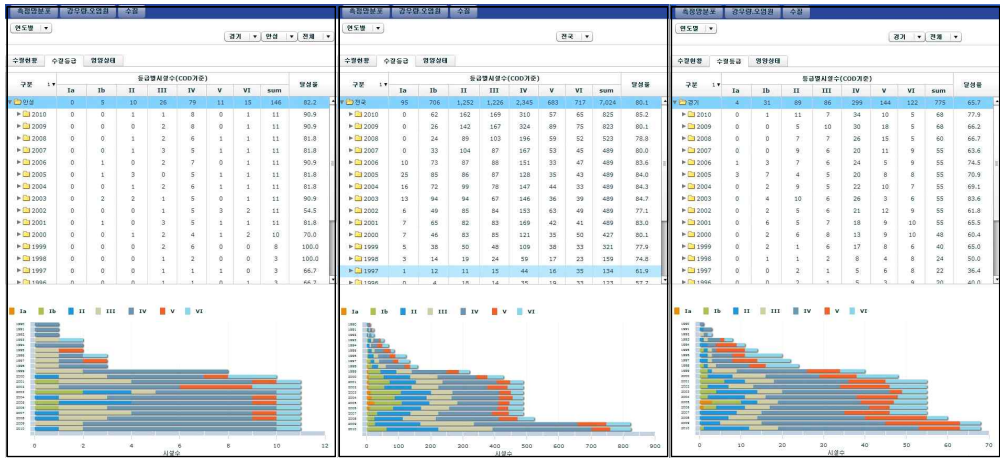
경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 3-29>의 중앙 그림과 같이 경기지역본부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 COD기준 수질등급별 시설수와 달성율이 나타난다. 수질기준 달성율이 제일 낮은 화성수원지사의 경우 IV등급(4개소, 40 %), V등급(4개소, 40 %), VI등급(2개소, 20 %)로 나타났다. 특히 여주이천지사가 6개의 농업용저수지 중 2개의 저수지가 VI등급으로 분류되어 VI등급 비율이 40 %로 제일 높게 나타났다.

안성지사를 클릭할 경우 <그림 3-29>의 우측 그림과 같이 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 COD기준 수질등급이 나타난다. 안성지사에서 관리하는 11개의 수질측정망 대상저수지 중 만수저수지가 VI등급으로 제일 높게 나타났고, 미산저수지가 II등급, 청용저수지가 III등급으로 나타났으며, 나머지 8개 저수지는 모두 IV등급으로 나타났다.



<그림 3-29> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(지역별읍선)

연도별읍선을 선택할 경우 <그림 3-30>과 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 수질등급 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 본격적으로 수질측정망을 지정하여 운영한 2001년부터 연도별 수질등급변화를 살펴보면 Ib등급의 시설수가 지속적으로 감소하는 반면, IV등급의 시설수는 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 측정망 대상저수지 시설수가 비슷한 2009년과 2010년을 비교하면, Ib 등급 시설수가 26개소에서 62개소로 크게 증가한 반면, V등급 시설수는 89개소에서 57개소로, VI등급 시설수는 75개소에서 65개소로 감소하였다. 연도별 경기 지역본부에서 관리하는 수질측정망 대상저수지의 수질등급별 시설수는 <그림 3-30>의 중앙 그림과 같다. 2009년에 비해 2010년에는 II등급 시설수가 5개소에서 11개소로 크게 증가하였으며, V등급 시설수가 18개소에서 10개소로 큰 폭으로 감소하였다. 안성지사에서 관리하는 저수지 수질측정망 대상저수지는 2001년부터 2010년까지 11개의 시설이 수질측정망대상저수지로 지정되어 운영되어 오고 있으며, 2002년에 V등급과 VI등급이 각각 3개소(27.3 %)와 2개소(18.2 %)로 수질기준 달성율이 제일 낮게 나타난 반면, 2003, 2006, 2009, 2010년에는 90.9 %로 높게 나타났다. 특히 시간이 경과하면서 III등급 이하의 시설수가 감소하는 반면, IV등급 시설수는 크게 증가하였다. 안성지사에서 관리하는 저수지 중 만수저수지는 2000년부터 계속 VI등급을 유지한 반면, 고삼저수지는 1995, 2005, 2007년에 V등급, 2008, 2009년에 III등급, 그 외에는 모두 VI등급을 유지하였다.



<그림 3-30> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(연도별 옵션)

이상에서와 같이 수질등급 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지정된 저수지의 수질등급별 시설수를 관리주체별(저수지별, 지사별, 지역본부별), 연도별로 쉽게 파악 할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 준다.

(3) 영양상태

농업용저수지 수질측정망 대상저수지에 대해 연 4회 실측한 수질자료를 이용해 저수지별, 지사별, 지역본부별 영양상태를 극빈영양, 빈중영양, 중영양, 중부영양, 부영양으로 분류하여 표와 그래프 형태로 제공한다. 이때 제공되는 영양상태는 연평균 수질농도를 기준으로 분류한 영양상태이다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-31>과 같이 선택한 연도에 대해 지역본부별, 지사별, 저수지별 영양상태별 시설수가 나타난다. 전국적으로 중영양이 479개소(58 %)로 제일 많은 것으로 나타났으며, 중부영양(224개소) 빈중영양(81개소)순으로 많은 것으로 나타났다.

전국을 클릭할 경우 <그림 3-31>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별로 영양상태별 시설수가 나타난다. COD농도가 제일 높게 나타난 충남지역본부의 경우 중부영양과 부영양이 차지하는 비율이 전체의 각각 68 %로 제일 높게 나타났으며, 강원지역본부가 중부영양 이상인 저수지 비율이 3.8 %로 제일 낮은 것으로 나타났다.

경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 3-31>의 중앙 그림과 같이 경기지역본

부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 영양상태별 시설수가 나타난다. 중부영양과 부영양인 저수지의 비율이 80 %로 제일 높게 나타났으며, 과주시사(6개소, 60 %), 양평광주서울지사(3개소, 60 %)로 높게 나타났다.

안성지사를 클릭할 경우 <그림 3-31>의 우측 그림과 같이 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 영양상태별 시설수가 나타난다. 안성지사에서 관리하는 11개의 수질측정망 대상저수지 중 만수저수지와 고삼저수지가 부영양으로 나타나고, 용담저수지가 중부영양, 그리고 나머지 8개 저수지가 중영양인 것으로 나타났다.

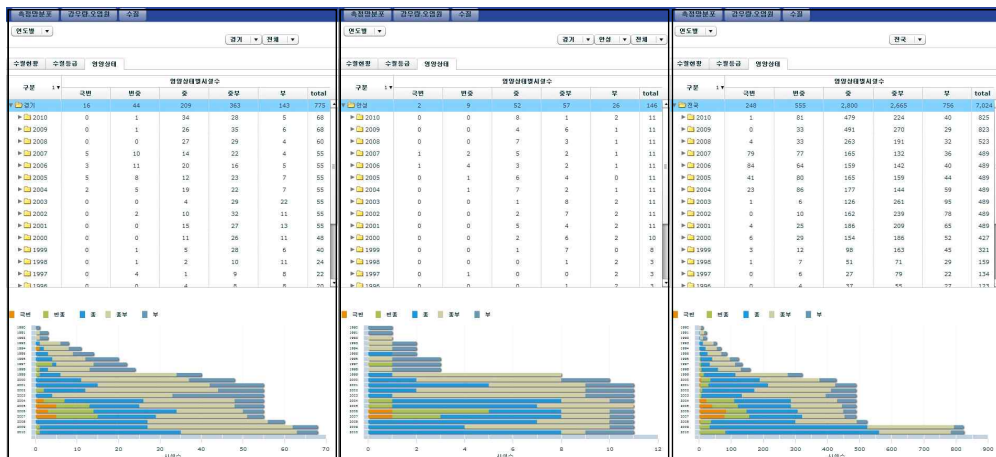


<그림 3-31> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(지역별 옵션)

연도별 옵션을 선택할 경우 <그림 3-32>와 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 영양상태 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 본격적으로 수질측정망을 지정하여 운영한 2001년부터 연도별 영양상태변화를 살펴보면 중부영양 및 부영양상태의 저수지 시설수가 점차 감소하는 것으로 나타났다. 측정망 대상저수지 시설수가 비슷한 2009년과 2010년을 비교하면, 빈중영양상태는 4 %에서 9.8 %로 증가한 반면, 중부영양은 32.8 %에서 27.2 %로 감소하였다.

연도별 경기지역본부에서 관리하는 수질측정망 대상저수지의 영양상태별 시설수는 <그림 3-32>의 중앙 그림과 같다. 2003년에 중부영양과 부영양상태인 저수지 비율이 경기지역본부에서 관리하는 측정망 대상저수지의 92.7 %인 것으로 나타났으나, 시간이 경과하면서 중부영양과 부영양상태의 저수지 비율이 크

게 감소하였다. 2009년과 비교하여 2010년에는 중부영양비율이 51.5 %에서 41.2 %로 크게 감소하였다. 안성지사에서 관리하는 저수지 수질측정망 대상저수지는 2001년부터 2010년까지 11개의 시설이 수질측정망대상저수지로 지정되어 운영되어오고 있으며, 2003년에 중부영양 및 부영양상태의 시설수가 10개소(91 %)로 제일 높은 비율을 차지하였다. 반면에 2010년에는 수질이 많이 개선되어 중부영양 및 부영양상태의 저수지 비율이 27.3 %로 크게 감소하였다.



<그림 3-32> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(연도별읍선)

이상에서와 같이 영양상태 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지정된 저수지의 영양상태별 시설수를 관리주체별(저수지별, 지사별, 지역본부별), 연도별로 쉽게 파악 할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 저수지 수질관리에 매우 유용하게 사용될 수 있다.

3절 수질측정망 수질관리시스템 개발

1. 수질관리시스템 개발 개요

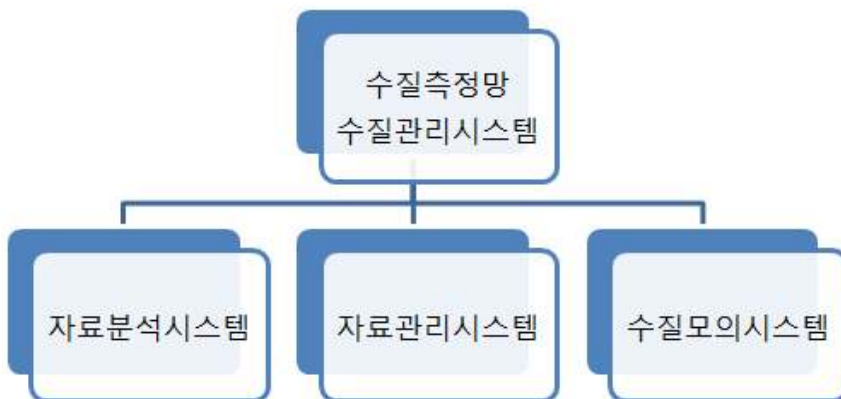
가. 수질관리시스템 개요

3장 3절에서 수질측정망 자료분석시스템을 개발하였는데, 자료분석시스템은 수질측정망DB를 관리주체별(지역본부, 지사), 연도별로 자료를 표와 그래프로 제공하여, 전체적으로 수질현황을 쉽게 파악할 수 있는 장점은 있으나 공간적인 분포 및 개별 저수지의 자세한 특성을 파악하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 수질측정망DB외에 수질측정지점 위치, 측정지점의 공간적인 분포, 수질등급의 공간적인 분포, 인터넷지도, 유역경계, 저수지수표면 경계자료와 같은 GIS자료와 향후 본 연구에서 개발할 수질지표 및 관리모형을 포함한 수질관리시스템을 구성하고 일부 기능을 개발하였다.

나. 수질관리시스템 구성

수질측정망 수질관리시스템은 앞서 개발한 자료분석시스템 외에 GIS자료를 제공하는 자료관리시스템과 수질지표 및 관리모형 기능을 제공하는 수질모의시스템이 추가로 개발하여 구성할 예정이다.



<그림 3-33> 수질측정망 수질관리시스템 구성도

앞서 개발한 자료분석시스템은 수질측정망 조사자료와 분석자료를 관리주체 및 연도별로 제공하여 전국 농업용저수지의 수질현황 파악, 오염원인 분석 등이 용이한 시스템으로 조사자료를 쉽게 업데이트할 수 있도록 웹기반으로 구축되었다.

자료관리시스템은 주로 GIS자료와 RIMS에서 제공되는 개별 저수지의 시설보고서를 GIS자료와 연계하여 제공하는 기능으로 개별저수지의 오염원인 분석, 수질관리에 매우 유용한 다양한 기능을 제공할 수 있다. 사용자가 쉽게 GIS자료를 볼 수 있도록 web-GIS기반으로 시스템을 개발하고 있다. 제공되는 GIS자료로는 유역경계, 유역개황도, 조사지점, 주점오염원위치, 처리장위치 등의 자료를 제공할 예정이다. 시설보고서와 같이 개별저수지에 대한 자세한 자료를 제공할 계획이며, 제공되는 자료로는 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계와 같은 개별 오염원수 및 부하량, 주요오염원정보, 처리장정보를 제공할 계획이다. 또한 해당 저수지의 수질조사자료를 표와 그래프로 제공할 계획이다. 일부 저수지에 실시간 자동수질측정장치를 설치할 경우 측정된 실시간 측정 자료가 자료관리시스템에서 제공되도록 할 예정이다.

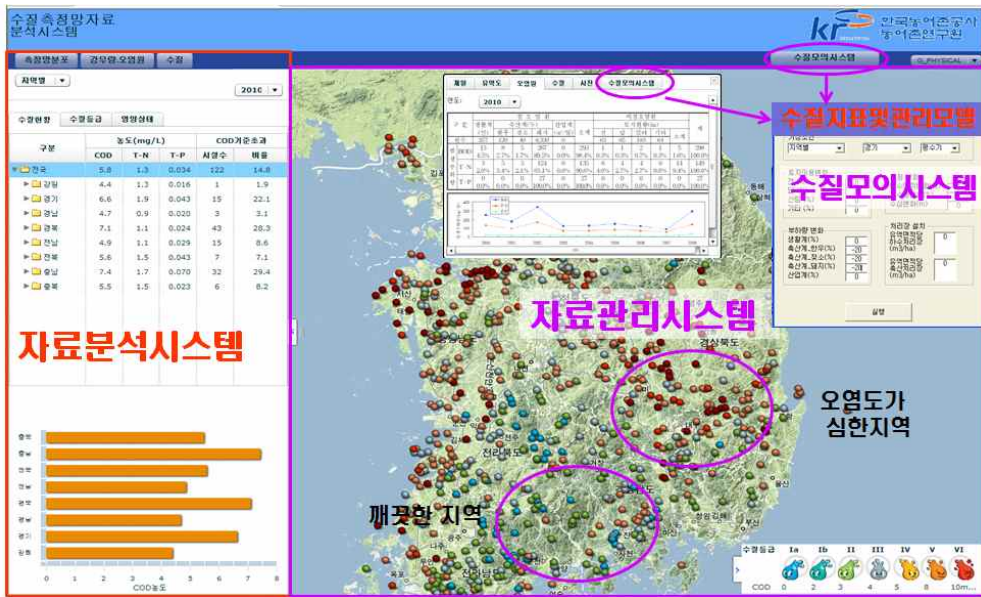
수질모의시스템은 2차년도와 3차년도에 개발할 수질지표 및 관리모델을 이용해 저수지의 수질관리를 위한 간단한 시나리오를 분석할 수 있는 기능을 제공할 계획이다.

2. 인터넷기반의 수질측정망 수질관리시스템 개발

가. 수질관리시스템 웹 디자인

개발 중인 수질측정망 수질관리시스템은 자료분석시스템, 자료관리시스템, 수질모의시스템을 모두 포함시키기 위해 Adobe Flash를 이용해 인터넷 지도와 연계하여 <그림 3-34>와 같이 시스템 화면을 설계하였다.

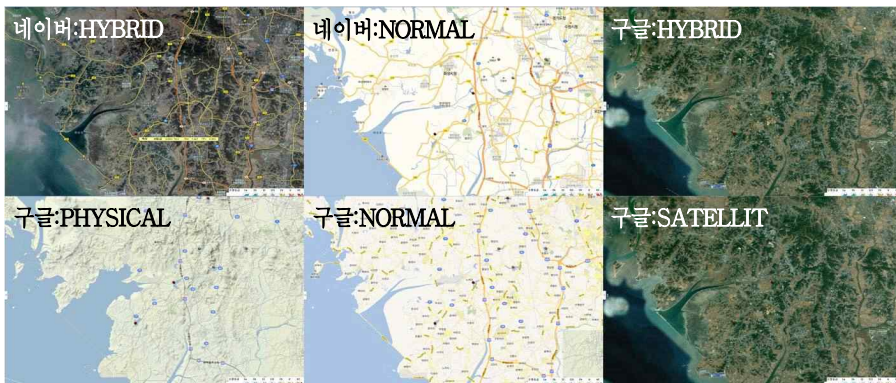
좌측에는 앞에서 개발한 자료분석시스템이 있어 측정된 자료에 대한 검색 및 간단한 분석을 수행할 수 있으며, 우측에는 인터넷지도 위해 수질측정지점을 표시하고 해당 측정지점을 클릭하면 선택한 저수지에 대한 상세한 정보가 제공되도록 디자인 하였으며, 수질관리시스템 상단에 수질모의시스템 아이콘을 만들어 클릭하면 <그림 3-34>와 같은 수질모의시스템이 나타나도록 화면을 설계하였다.



<그림 3-34> 개발 중인 수질측정망 수질관리시스템

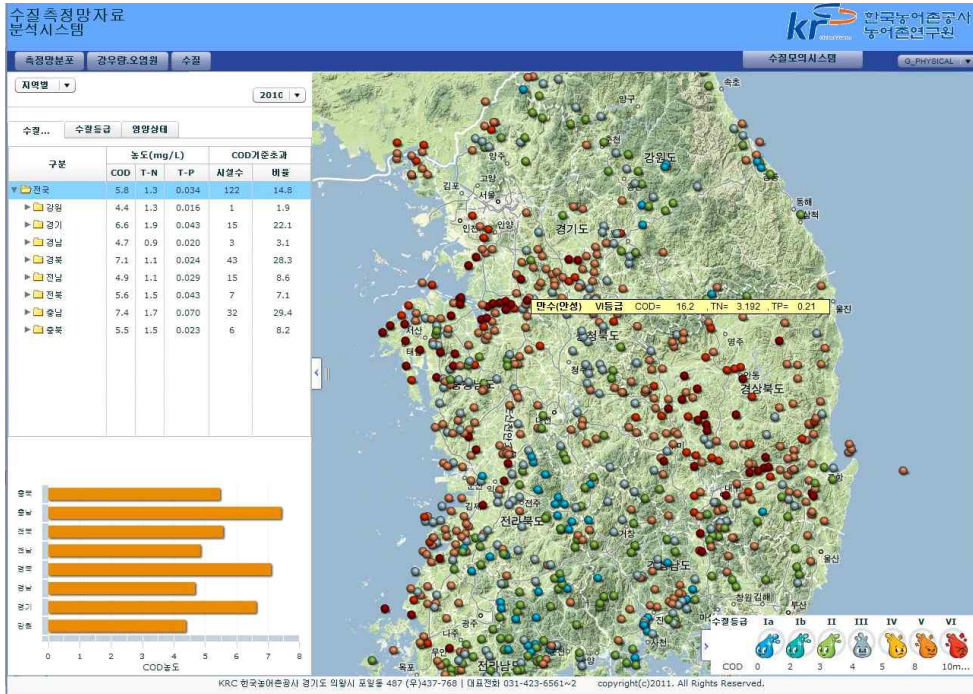
나. 수질관리시스템 내 자료관리시스템 개발

자료관리시스템은 web-GIS기반으로 인터넷지도와 GIS자료 및 DB를 연계하여 다양한 자료를 제공하는 시스템이다. 개발 중인 자료관리시스템은 <그림 3-35>와 같이 6가지의 인터넷지도를 제공하며, 선택된 지도 위에 다양한 GIS자료를 추가하여 사용자가 쉽게 다양한 자료에 대한 공간적인 분석을 가능하도록 하였다.



<그림 3-35> 수질측정망 수질관리시스템에서 제공되는 인터넷 지도

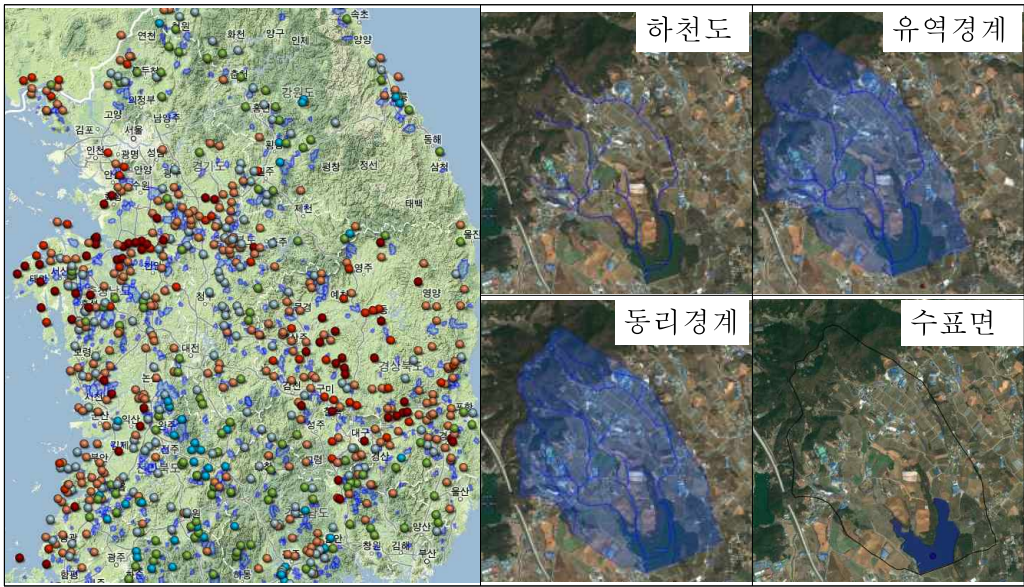
<그림 3-36>에서 인터넷지도 위에 있는 점은 수질조사지점을 나타내는 지점으로 COD기준 수질등급별로 환경부에서 제시한 색으로 표시하여 한눈에 수질등급의 공간적인 분포를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 해당 지점에 마우스를 올려놓으면, 해당 저수지명과 COD기준 수질등급, COD, T-N, T-P의 농도가 나타나도록 하였다.



<그림 3-36> 개발 중인 자료관리시스템 전체화면

앞서 구축한 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지의 유역경계 GIS자료, 유역내 동리경계 GIS자료, 하천도 GIS자료를 자료관리시스템에서 서비스 될 수 있도록 메뉴를 추가하였다(그림 3-36). 사용자가 자료관리시스템에서 유역경계, 동리경계, 하천도, 수표면을 선택하면 화면에 선택된 GIS자료가 인터넷 지도에 중첩되어 나타나도록 하였다.

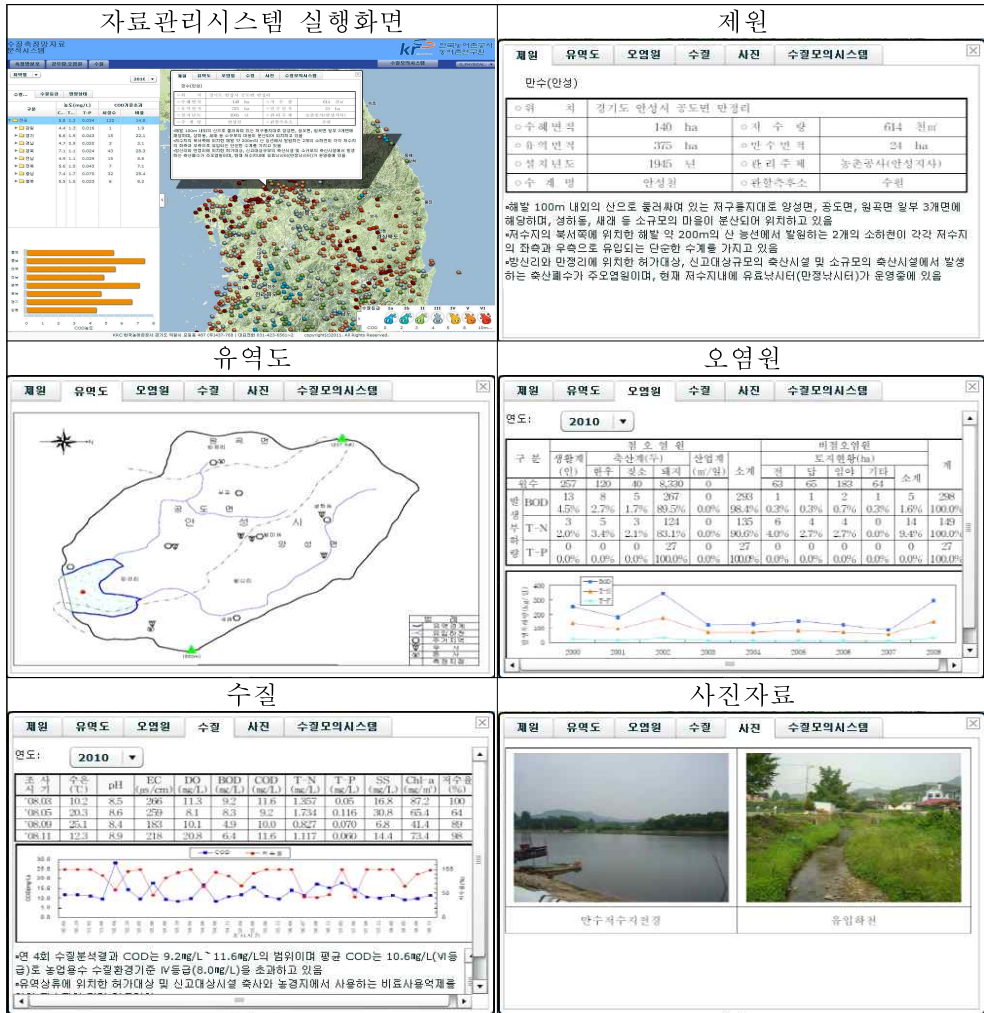
GIS자료별로 약 500여개소의 측정망 대상저수지의 자료가 하나의 파일에 모두 구축되어 선택한 GIS자료가 웹상의 자료관리시스템에 로딩되는데 다소 시간이 소요된다. 향후 로딩되는 시간을 단축하기 위해 해당저수지 또는 해당 권역의 저수지 GIS자료만 화면에 나타나도록 수정할 계획이다.



<그림 3-37> 개발 중인 자료관리시스템 내 GIS자료

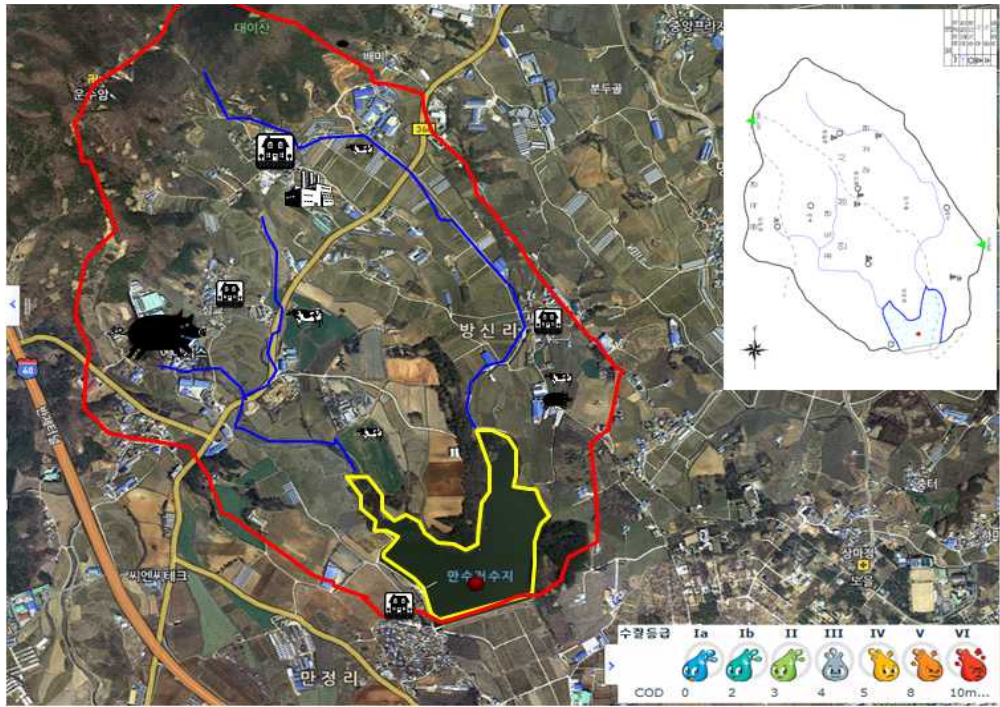
또한 관심 있는 저수지를 클릭하면 RIMS에서 제공하던 PDF형태의 시설보고서를 <그림 3-38>과 같이 제공하여 선택된 저수지에 대한 자세한 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 저수지를 클릭할 경우 제공되는 자료로는 제원, 유역도, 오염원, 수질, 사진이 있다.

제원 메뉴에는 위치, 수해면적, 저수량, 유역면적, 관리주체 등과 같은 제원 정보와 유역 특성을 간단하게 설명한 내용이 제공되며, 유역도 메뉴에는 유역경계, 유입하천, 주거지역, 우사, 돈사, 측정지점이 표시된 그림이 제공된다. 오염원 메뉴에는 선택된 연도에 대해 계별 오염원수 및 발생부하량 정보가 표 형태로 제공되며, 하단에 연도별 BOD, T-N, T-P의 발생부하량 변화가 그래프 형태로 제공된다. 수질 메뉴에는 선택된 연도에 대해 연 4회 실측한 수질이 수질항목별 조사시기별로 표로 제공되며, 하단에 연도별 측정 자료가 그래프로 제공되고, 간단한 저수지의 수질특성 설명이 제공된다. 사진 메뉴는 해당 저수지와 관련된 사진이 제공되며, 수질모의시스템 메뉴는 2~3차년 도에 개발할 잠재수질지수 및 수질관리모텔이 제공되는 메뉴이다. 관심 있는 저수지를 클릭할 경우 자료를 제공하는 기능은 일부 본 연구의 범위를 벗어나기 때문에 다른 과제에서 개발할 계획이다.



<그림 3-38> 개발 중인 자료관리시스템의 세부자료 제공화면

또한 관심 있는 저수지의 인터넷지도를 크게 확대할 경우 <그림 3-39>와 같이 시설보고서의 유역도와 유사한 내용을 인터넷지도 위에 표시하여 시스템 이용자가 유역 내 오염원의 공간적인 분포 현황 및 유역 특성을 쉽게 파악하여 저수지 오염원인 분석을 쉽고 합리적으로 수행할 수 있다. 또한 오염원을 클릭하면 해당지점의 오염원에 대한 상세한 정보가 제공될 수 있도록 기능을 추가할 수 있다. 하지만, 이와 같은 기능 역시 본 연구의 주된 연구 내용에서 벗어나고 오염원의 위치정보가 구축되어 있지 않기 때문에 상세한 기능은 향후 다른 과제를 통해 개발할 계획이다.



<그림 3-39> 자료관리시스템의 오염원자료 위치정보 제공기능

다. 수질관리시스템 내 수질모의시스템 개발

수질모의시스템은 3차년도에 개발할 수질관리모형을 수질관리 실무자가 쉽게 이용할 수 있도록 웹상에서 서비스되는 시스템으로 세부적인 개발은 3차년도에 연구를 수행할 계획이다.

4장 수질지표 개발 사례 연구

4장 수질지표 개발 사례 연구

1절 수질지표의 정의 및 분류(최지용, 1996)

지표를 일반적으로 정의하면, “현상에 관한 기존의 자료를 정량적으로 평가하기 위한 척도” 라고 할 수 있다. 지표의 작성 시 현상의 범위설정방법, 기존자료의 양, 어느 정도까지 정량화 할 것인지, 평가주체는 누구인지에 따라 지표의 역할이 크게 좌우되지만 복잡한 자료를 가능한 한 이해하기 쉽게 변환시키는 것이 지표의 가장 중요한 역할이라고 할 수 있다. 환경지표는 일반적인 물리적 환경상태를 나타낼 것인지, 또는 경제 사회적 환경상태를 나타낼 것인지에 따라 여러 가지 표현방법이 있을 수 있지만, 모두가 기존의 다양한 각 항목별 환경상태를 종합하여 하나의 숫자로 계량화하여 환경실태의 좋고 나쁨을 판단하는 기준을 제시하는 것이라 할 수 있다.

지표를 이용한 수질구분에 대한 최초의 시도는 독일에서 1848년 수중미생물의 수와 물의 청정도를 연결하는 연구를 수행함으로써 시작되었다. 오늘날까지 대부분의 유럽 국가들은 수질을 분류하기 위해 생물지표를 이용해 왔으나 이들 분류시스템은 수질을 나타내기 위해 구체적인 수치적 기준을 제시하기보다는 여러 가지 생물지표를 이용해 수체의 오염수준을 분류한 것이다. 수질의 악화정도를 표현하기 위해 수치적인 범위를 사용한 경우로는 1964년에 소련에서 최초로 사용된 GI(Generalized Index)가 있고 이듬해인 1965년에 미국에서 Horton's Index가 개발됨으로써 본격적으로 시작되었다. 이때까지 개발된 수질지표는 다음 표와 같이 물리-화학적 수질 측정치를 그대로 이용한 단일항목지표와 이들 측정치를 일정한 원칙에 의해 종합화한중합수질지표 및 수중생물을 이용한 생태지표로 대별할 수 있다.

1. 단일항목 지표

단일항목지표는 BOD, COD와 같이 대표적인 단일항목으로 수질을 평가하기 때문에 수질상황을 충분히 반영하지 못하는 어려움이 있으나, 적용의 용이성으로 인해 아직까지 상당한 국가들이 공식적인 수질평가 방법으로 단일지표를 사용하고 있다. 그러나 미국을 중심으로 한 일부 국가에서는 단일항목 평가의 불확실성으로 인해 중합수질지표 개발을 70년대 이후부터 활발히 추진한 바 있다.

(표 4-1) 수질지표의 분류

수질지표	구체적 지표
단일항목지표	BOD, COD등 단일항목으로 수질평가
종합수질지표	일반적인 수질지수(General Water Quality Indices) 특별용도를 위한 수질지수(Specific-Use Indices) 계획지수(Planning Indices)
생태계 평가지표	IEPA/DOC 생물학적 하천의 특성(BSC) FISH/Index of Biotic Integrity(IB/AIBI) BENTHOS/Macroinvertebrate BioticIndex(MBI) STREAM Potential Index of HABITAT/BioticIntegrity (PIBI) STREAM IEPA Stream Sediment SEDIMENT/Classification

2. 종합수질지표

가. 일반수질지표(General Water Quality Indices)

물은 생활용수, 관개수, 위락용수, 그리고 물고기와 야생동물의 서식처의 유수 등 다양한 용도로 사용된다. 이와 같은 용도에 따라 수질기준도 다양하며 이러한 용도를 모두 고려한 수질수준을 하나의 지수로 표현한 것을 “일반수질지표(GI)”라고 한다. 일반수질용도를 위한 지수로는 Horton이 1965년에 현대적인 수질 지표를 제안하였고, 수질지표를 수질관련사업의 평가와 수질정보를 공공에 알리는 도구로 사용하였다. 이전의 수질오염도에 대한 단위항목별 분류의 단점으로는 일정 농도이상 또는 이하로 구분함으로써 농도사이에 단절이 생기고, 기관마다 분류기준이 상이하며, 객관적 타당성 미비 및 농도기준간의 융통성 부재가 문제로 지적되었다. 이러한 문제를 피하기 위해, Horton은 상대적인 기초위에서 서로 비교할 수 있는 수질지표시스템을 개발하였다.

Horton 이후에 일반수질지표에 대한 개발이 활성화되어 미국의 National Sanitation Foundation의 Water Quality Index, Prati의 Implicit Pollution Index, McDuffie의 River Pollution Index, Dinius의 Social Accounting System등의 지표가 개발되었다. 이중에서도 1970년에 Brown, McClelland, Deininger, Tozer 등은 Horton의 지수와 유사한 구조의 수질지표를 제시하였는데 이 연구는 National Sanitation Foundation(NSF)에 의해 지원되었기 때문에 NSFWQI(National Sanitation Foundation Water Quality Index)로 알려졌다. NSFWQI는 미국전역의

수질전문가 상당수의 의견을 조합하기 위해 Delphi 기법을 사용하여 주관적인 판단을 최소화하려고 시도하였다. 1971년에는 Prati, Pavanello, Pesarin 등이 많은 나라에서 사용되는 수질분류시스템에 기초하여 여러 국가에서 일반적으로 적용할 수 있는 수질지표를 개발하였다. 또한 1973년에, McDuffie와 Haney는 River Pollution Index(RPI)라고 부르는 비교적 간단한 수질지표를 제시했다. 이후 오리건주, 워싱턴 주를 포함한 여러 곳에서 NSFQI를 바탕으로 종합수질지표를 개발 직접 사용하고 있다.

나. 용도별 수질지표(Specific-Use Indices)

일반적인 수질의 개념을 수용하지 않는 수질전문가들은 수질지표가 각각의 특별한 물이용도에 맞추어 만들어져야 한다고 제안하였다. 대표적인 용도별 지표로는 물고기와 야생동물, 공공용수공급을 위한 O'Connor지수, 공공용수공급을 위한 Deininger와 Landwehr의 PWS(Public Water Supply)지수, 위락용수를 위한 Walski와 Parker지수, 공공용수공급, 관개용수를 위한 Stoner의 지수, 위락용수를 위한 Nemerow and Sumitomo의 지수 등이 있다. 이들 특별용도지수는 그 구조와 모양이 일반수질지표와 특별하게 차이가 없다.

다. 계획지수(Planning Indices)

수질지표의 또 다른 형태는 “계획지수”로 수질관리를 위해 특별히 설계된 것이다. 일반적 수질지표 및 용도별 지표와는 달리, 이들 지표는 현 수질 상황을 설명하는데 그치지 않고 사용자가 특별한 문제를 해결하는데 있어 도움이 될 수 있도록 작성한 것이다. 계획지수는 정기적으로 측정되는 수질오염항목 뿐만 아니라 이외의 수질에 영향을 끼치는 여러 항목들로 구성된다.

라. 통계적 지표(Statistical Approaches)

상당수의 통계적 접근도 수질자료의 평가방법으로 제안되어 왔다. 통계적 접근방법은 문헌상 이미 사용되고 있는 통계기법을 사용하며, 다른 기법보다 주관적 가정이 적은 장점을 가지나, 복잡하고 적용에 어려움이 있다. 통계적 접근의 한 방법은 상호관계도출을 위한 인자분석을 실시하여 수질악화에 대한 항목간의 상호 중요도를 파악하는 것이다. 미국 네바다 주에서는 Carson계곡으로부터 얻은 수질자료를 이용해 수질지표를 개발하기 위해 10개의 항목에 대해

인자분석을 실시하였고 상관관계를 이용해 여분의 항목들을 제외시키면서 5개 항목(DO, BOD₅, T-P, 온도, 전도도)을 선정하여 지표를 만들었다. 가까운 일본과 태국의 경우도 이와 비슷한 방법으로 수질지표를 작성한 바 있으나 앞에서 제시한 약점 때문에 널리 이용되지는 않는 방법이다.

3. 생태계 평가지표

생태계 평가지표의 초기형태인 생물학적 수질지표는 1800년대 후반에 시작되었으나 1900년대 물리·화학적 분석기술의 발달로 크게 각광받지 못하다가 1980년 이후 미국을 중심으로 다시 주요수질지표로서 활발히 연구되고 있다. 수생태계에 바탕을 둔 평가기법은 장기간의 방대한 자료의 축적이 있어야 가능하므로 대부분의 국가에서 널리 적용하지는 못하고 있다. 생태계 평가지표는 일반적으로 수질상태에 따른 수중생물에 미치는 영향정도를 평가하는데, 여기에는 세 가지의 기본적인 접근방법이 있다.

첫 번째 접근방법은 지표유기체의 종류와 수에 기초하는 방법으로 saprobic 분류시스템과 같이 하천을 유기체의 존재형태에 따라 하천을 오염영역으로 구분하는 방법과 fecal coliform과 같이 온혈동물의 내장에 기생하는 지표유기체의 존재를 이용한 분변물질에 의한 오염정도로 이용하는 경우가 여기에 속한다. 두 번째의 접근방법은 유기체의 생물학적 군집에서 종의 분산을 수학적 분석에 의해 평가하는 방법이며, 세 번째 접근방법은 오염에 대한 특정유기체의 생리적 또는 행동반응을 이용한 것이다. 예를 들면, 살충제는 물고기의 뇌에서 혈압강하효소와 같은 작용을 함으로 물고기 뇌의 혈압강하효소의 활동을 분석해 살충제 오염의 모니터로서 사용하는 경우이다. 또 독성물질에 대한 반응으로 물고기의 활동이나 움직임이 증가하는 등의 일부 종의 행동변화를 평가해 수질오염의 지표로서 이용하는 경우도 여기에 속한다.

생태학적 지표는 오염을 종합적으로 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 물고기와 기타 유기체들은 물의 오염상황에 따라 반응하므로 일부 독성물질이 일시적으로 배출되어 정규적인 수질측정에서는 검출되지 않았다 하더라도, 수중유기체 평가를 통해 이들 오염물질의 영향 유무를 파악할 수 있다. 이와 같이 유기체의 생태적 상황을 분석함으로써 통상의 물리-화학적 측정에 의한 평가보다는 다양한 환경변화를 평가할 수 있으며 이는 수생생물이 수많은 물리적, 화학적, 생물학적 수질 항목들에 총체적으로 반응하기 때문이다.

2절 수질지표 국내외 개발 사례연구

1. 국내 사례

가. K-WQI(최지용, 1996)

1996년 한국환경기술개발원(현 한국환경정책평가연구원)에 의해서 한국형 종합수질지표인 Korea Water Quality Index(K-WQI)가 개발되었다. K-WQI는 항목 선정, 항목별·용도별 가중치 설정, 부지수 함수 작성, 항목의 종합화를 거쳐 개발되었다.

(1) 항목의 선정

먼저 항목의 선정으로는 수질측정 항목 중 우선 pH, DO, BOD, COD, SS, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P, 수온, 페놀류, 전기전도도, T-Coli의 13가지 항목을 도출하였다. 이후 수질전문가의 의견을 이끌어 내기 위해 전문가 설문단 30인을 구성하여 Delphi기법을 이용해 설문을 실시하여 최종 선정 항목으로 수온, 페놀류, 전기전도도를 제외한 pH, DO, BOD, COD, SS, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P, T_Coli의 10개 항목을 종합수질지표의 구성항목으로 선정하였다.

(2) 항목별·용도별 가중치 산정

종합수질지표에 사용된 각 항목의 중요도에 따라 각 수질항목별 가중치를 주어야 하며, 가중치는 물이용 용도, 수질항목의 기여도, 각 지역의 특성에 따라 다양하다. 가중치를 구하기 위한 방법으로는 보편적 객관성의 확보를 위해 설문조사 방법을 택하였고, 설문조사내용이 일반인을 대상으로 하기에는 이해에 어려움이 있을 것으로 사료되어 설문인단을 전문가로 제한하였다. 또한 전문가들 간에도 의견의 차이가 많을 것으로 사료되어 Delphi법을 이용하여 3차에 걸쳐 같은 내용에 대해 의견수렴을 위한 수정이 가능하도록 유도하였다. 가중치는 3차의 설문결과를 바탕으로 DO, BOD 등의 수질항목과 생활용수, 공업용수 등의 용수이용별로 산정하였다.

(3) 부지수함수의 작성

부지수함수의 작성은 항목 선정 후 측정단위가 다른 각 항목을 공통 가치량으로 변화시켜 각 항목들을 동일한 기준점에서 비교하기 위한 공동척도화단계이다. 각 항목별로 측정된 자료는 개별항목의 평가를 행하고자 하는 경우에는

기준을 적절하게 설정하여 그 기준 이상은 “좋음”, 이하에 있는 것은 “나쁨”으로 평가하는 것이 가능하다. 그러나 개별의 일차지표의 평가에서 복수의 항목을 이용해 종합적으로 평가 하는 경우에는 고도의 가공이 필요하다. 공통단위로 환산(척도화 scaling)하는 방법은 기존의 가치기준에서 공통척도에 투영한 상대 비교에 의해 무차원화 한 「지수화」와 가치기준을 도입해 가치척도에 따라 변화하는 「함수화」의 두 가지 방법이 있다. 지수화의 방법은 측정 단위가 다른 복수지표를 공통 가치량으로 수치를 변환하여 비교하는 방법으로 기준시점 또는 기준지점에 대한 비율로 나타내는 방법으로 시계 열적 변화를 보이는 경우는 기준점을 결정해 기준점을 100으로 하여 시계열지수로 나타낸다. 함수화 방법은 종합수질 지표에서의 부지수 함수가 이 방법에 속한다 할 수 있다.

(4) 수질지표 배점구분

본 설문에서는 우리나라의 수질환경기준과 우리나라 국민의 점수에 대한 일반적 사고수준을 참고로 하여 작성한 배점 구분표를 각 전문가에게 참고로 제시하였다. 점수구분은 누구나 잘 이해할 수 있는 범위를 제시하기 위해 60점이상은 양호(보통 합격), 40점 이하는 불량(과락)의 의미가 전달되도록 구분을 하였다.

(표 4-2) K-WQI에서의 수질지표 배점구분

점수범위	수 질	잠재적인 물이용도
91-100	원시 자연수에 근접	음용수와 일부 공업·농업용수로 사용할 때 소독하는 것을 제외하고 모든 용도에 처리 없이 사용가능
81 ~90	매우 좋음	음용용도와 공업용수로 사용할 때에만 최소한의 처리*가 필요하고 모든 종의 물고기와 야생동물의 서식에 적합하며 모든 용도에 사용할 수 있음
71-80	좋음	음용수로 사용하려면 처리비용이 조금 증가하는 수체로 물고기종과 야생동물의 종에는 영향을 미치지 않고 대부분의 용도에 적합한 수체
61~70	보통	음용수로 사용하려면 표준처리**가 필요하고 물고기종과 야생동물의 종에 변화가 있으며 공업용수와 위락 등의 이용에 제한 없음
51 ~60	약간 오염	일부공업용수로 사용할 때에도 처리가 필요한 수체로 오염에 민감한 물고기의 생존이 의심스러우며 가시적인 오염현상이 나타나기 시작한다. 위락용수에는 적합하나 직접적인 접촉을 하는 스포츠 ^(a) 에는 부적합
41 ~50	중간정 도의 오염	음용수와 대부분의 공업·농업용수로 사용하려면 고도처리***가 필요하다. 간접적 접촉용도의 위락용수 ^(b) 로만 사용이 가능하고 물고기가 드물게 관찰되며 오염에 내성이 있는 물고기 종만 생존
~ 40	심한 오염	음용용수로는 부적합하고 고도처리를 한 후에도 처리수질과 상관없는 공업용수와 내성이 있는 작물의 농업용수로만 사용 가능. 오염에 내성이 강한 물고기 종만이 생존가능하고 접촉이 없는 위락용수 ^(c) 와 항해에만 사용가능
<p>주 *) 최소한의 처리 : 간단한 물리적 처리와 소독 **) 표준처리 : 일반적인 물리처리, 화학처리 & 소독 ***) 고도처리 : 고도의 물리적 화학적 생물학적 처리 (a) 직접접촉운동 : 수영과 수상스키 (b) 간접접촉용도 : 낚시, 보트놀이 (c) 비접촉용도 : 미적, 경치, 소풍, 산책 등</p>		

나. 물환경종합평가방법 개발 조사(최지용, 2004~2006)

(1) 종합수질지표

상기 연구는 1996년에 개발된 K-WQI를 모태로, 기존 K-WQI가 지녔던 문제점과 한계를 보완하고, 10여 년간 변화한 국내 실정을 반영하여 새로 도입될 환경정책기본법 개정안 하에 실용화될 수 있는 종합수질지표를 개발하는데 목적을 두었다. 이를 위해 각국 종합수질지표의 이용 실태를 살폈으며 이 중 유럽의 SEQ와 캐나다 CCME에서 개발한 종합지표, 오리건 주의 종합지표를 벤치마킹하여 2가지 종합수질지표(제1안 K-CWQI, 제2안 K-SWQI)안을 제시하였다. 새로운 종합수질지표는 다음의 점에서 K-WQI의 한계를 보완하였다.

기존 지표는 사람의 건강기준을 반영하지 못했으며, 생물학적 기준을 용도중 하나로 반영하였다. 그러나 새로운 지표에서는 사람의 건강기준을 반영하였으며, 생물분야에서는 저서형 대형무척추동물, 부착조류, 어류에 대한 연구를 진행하여 각 생물군 수질지수를 중심으로 각 지표를 이화학적 종합지표의 단위와 동일하게 부지수형태로 나타낼 수 있었다. 이를 하나의 값을 도출하지는 않았으나 프랑스의 SEQ의 방법에 입각해 가장 낮은 값을 중심으로 최종 값을 결정한다는 원칙을 제시하였다.

(가) 제 1안 K-CWQI

기존 지표의 경우, Delphi 기법에만 전적으로 의존하여 각 부지수함수를 도출하였다. 그러나 전문가의 의견으로 적합도를 수치화할 때, 특히 용도가 변수로 들어 갈 때는 주관성이 강해져 위험할 수 있다. 따라서 오리건 주처럼 지역 특성을 고려한 지역맞춤형 부지수함수를 도출할 필요가 있다. 새로운 지표에서는 설문 시 최근 6년 간 전국의 실측자료 빈도를 제시함으로써 전문가의 객관적인 판단을 돕고, 각 문항 마다 근거를 제시하여 최대한 국내 실정에 적합하며 과학적 근거가 뒷받침되는 부지수함수를 도출하였다.

부지수함수에서 기존 지표는 범위를 벗어날 때, 무조건 0으로 떨어지는 오류가 있었다. 즉, 한 항목이라도 0점 처리되면 전체 종합지표 값은 기타 항목의 수준을 반영하지 못하고 무조건 0점으로 떨어지게 되어, 일시적인 현상으로 인한 수질 변화를 극단적으로 표현할 수 있는 위험성이 있었다. 모든 항목의 최솟값을 10으로 고정하여 이러한 문제를 피해나가는 오리건주처럼 새로운 지표도 하한 값을 20으로 설정하여 값이 0으로 떨어지지 않도록 하는 안전장치를 마련하였다.

(나) 제 2안 K-SWQI

기존 지표는 임의로 용도를 5가지로 구분하였으며 모든 용도에 적용되는 공통 항목을 선정하였다. 그러나 이는 특별한 근거나 전문가의 의견이 뒷받침되지 않은 결과이며 기존 상식선의 용도에 확실한 근거 부여가 필요하였다. 게다가 10년이 지난 시점에서 국내 실정이나 소비 현황 등이 변하였기 때문에 용도에 대한 면밀한 검토가 필요하였다. 따라서 새로운 지표에서는 개정안의 4가지 용도에서 편차가 심한 농업용수를 제외하고 상수원수, 수영용수, 농업용수의 3가지 용도를 설정하였다. 본 용도는 개별 관점의 프레임 역할을 할 수 있다는 면에서 의미가 크다.

기존 지표의 경우, 수질 용도를 특성화하지 않고 이에 대해 일반적인 가중치만 도출하는 문제점이 있었다. 현재 환경기준 자체가 변화 일로에 있고, 정규 측정 항목이 증가하였으며, 물이용 및 수생태계에 미치는 오염원의 연구 역시 축적되는 한편 오염원이 다변화되고 있으므로 이러한 용도를 밀접히 반영할 수 있는 용도 특이적 항목의 선정이 필요하였다. 새로운 지표에서는 이를 반영하여 생태계 쪽은 생물분야 쪽으로 같음하였고, 항목은 용도에 따라 공통이 아니라 프랑스의 SEQ처럼 용도를 잘 반영하는 항목을 중심으로 고려하였다.

기존 지표의 경우, 용도가 일반적인 가중치로 항목에 녹아들어, 용도가 아니라 항목간의 가중치에 초점을 맞추었다. 따라서 용도를 기반으로 한 항목별 취약점 파악이 곤란하였다. 효율적 수질관리를 위해서는 각 용도에 따른 개별 값 도출로 수체의 용도별 적합성을 파악하고 이를 기반으로 각 용도 내 수질 저하 항목을 파악할 필요가 있다. 따라서 각 용도를 독립된 관점으로 간주, 이를 중심으로 항목을 구상하고 이에 따라 용도 내에서의 각 항목 값과 항목을 종합한 용도 값을 도출할 필요가 있었다. 새로운 지표에서는 용도를 하나의 관점으로 간주하여 용도의 개별 값을 도출하였으며 이를 통해 용도별 취약점 파악이 가능하게 되었다. 또한 용도를 중심으로 항목 값과 용도 값의 매트릭스 형태를 표현할 수 있으므로 항목별 취약점 파악 역시 가능할 수 있었다.

(2) 부착조류

부착조류는 1차 생산자인 동시에 영양염(질소, 인)을 성장에 필수적으로 요구하므로 수역의 영양염 증가로 인한 부영양화를 직접적으로 반영할 수 있고 오염스트레스에 대한 빠른 반응으로 인해 조기경보 지표중(early warning indicator)으로 이용되고 있다. 부착조류 수질평가 4등급(안)에 따른 유기물지수와 영양염지수의 범위와 점수는 아래 표와 같다.

(표 4-3) 부착조류 수질평가 4등급(안)

등급구분	유기물지수 범위 (DAIpo)	영양염지수 범위 (TDI)	점수 (종합수질지표)
매우좋음~좋음	100~85	0~40	100~90
좋음~보통	85~60	40~55	90~70
보통~약간나쁨	60~40	55~70	70~50
약간나쁨~매우나쁨	40~0	70~100	50~0

(3) 저서성 대형무척추동물

저서성 대형무척추동물은 주로 수서곤충류를 대상으로 하며 하천에서의 오탁계급 또는 부수생물계급(saprobity)을 표현하는 대표적인 생물군이다. 생물학적 수질평가에서 가장 먼저 사용된 생물군들로 역사가 깊고, 전 세계적으로 많이 이용하고 있는 생물군이다. 저서성 대형무척추동물의 수질평가 4등급(안)에 따른 한국오수생물지수(KSI)의 범위와 점수는 아래 표에 제시하였다.

(표 4-4) 저서성 대형무척추동물을 이용한 하천수질평가기준안

등급구분	한국오수생물지수 (KSI)	점수 (종합수질지표)
매우좋음~좋음	0~0.8	10~90
좋음~보통	0.8~1.7	90~70
보통~약간나쁨	1.7~2.5	70~50
약간나쁨~매우나쁨	2.5~5.0	50~0

(4) 어류

어류는 하천 먹이사슬의 고차소비자로서 수질의 생태와 함께 먹이사슬 내의 생물학적 작용이 종합적인 측면을 반영하므로 생태계 건강성을 평가하는 도구로 많이 사용된다. 현재 유럽과 미국 등에서 어류를 이용한 생물지수(예를 들면, IBI, RBP 등)의 사용이 상당히 보편화되어 있는 실정이다. 어류의 수질평가 4등급(안)에 따른 모델값의 범위와 점수는 아래 표에 제시하였다.

(표 4-5) 4등급에 의거한 생물학적 수질평가기준(안) 및 생태 지표종

등급구분	모델값	생태 지표종	점수 (종합수질지표)
매우좋음~좋음	40~38	버들치, 금강모치, 산천어, 열목더 등서식	100~90
좋음~보통	34~32	갈겨니, 쉬리, 은어, 쏘가리 등서식	90~70
보통~약간나쁨	29~26	피라미, 끄리, 모래무지, 찰 붕어 등 서식	70~50
약간나쁨~매우나쁨	22~0	붕어, 잉어, 미꾸라지, 메기 등 서식	50~0

(5) 서식지 평가 지수

서식지 평가는 모든 생물학적 평가에 지대한 영향을 미치며 생물 채집을 함에 있어서도 각 지점마다 서식환경여건에 따라 자료의 질에 영향을 줄 수 있는 중요한 요인이다. 서식지 평가가 이화학적 수질과 생물지수에 의한 평가 모두를 설명할 수 는 없지만 두 하천 수질평가기법과 결합한다면 성공적인 수질평가가 될 수 있다. 물리적서식지 평가는 크게 하상구조 및 식생피복도, 유로특성, 제방 특성 및 구조를 포함한다. 서식지 평가등급(안)에 따른 서식지 평가지수의 범위와 점수는 아래 표와 같다.

(표 4-6) 서식지 평가등급(안)

등급구분	서식지 평가지수	점수 (종합수질지표)
매우좋음~좋음	182~220	100~90
좋음~보통	124~168	90~70
보통~약간나쁨	66~110	70~50
약간나쁨~매우나쁨	8~52	50~0

다. 호수생태계 통합적 건강성 평가기법(김범철, 2007~진행 중)

(1) 호수수질 평가지표(LQI; Lake water quality index)

우리나라 자연환경 특성을 고려하여 외부기원 유기물을 특성을 고려한

COD, 내부생성 유기물로 식물플랑크톤의 현존량을 대신하는 Chl-a, 그리고 부영양화의 중요한 원인이 되는 인자 TP, 세 가지를 호수 수질 평가 항목으로 선정하였다. 한국에 분포하는 500여개의 호수를 대상으로 계절적 변동의 median이 가지는 분포 확률을 조사하여 평가 항목에 대하여 25th percentile, 75th percentile을 산출하였다. 지수의 분산을 결정하기 위하여 25th percentile을 지수 40으로 75th percentile을 지수 60으로 정하여 수질 항목간의 직선회귀식을 로그변환하여 선형화하고 LQI의 각 지수값을 계산하였다. 각 계산식은 다음과 같다.

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

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

$$\text{LQI (T-P)} = 114.6 + 43.3 \log(\text{T-P mg/L})$$

LQI에 의한 호수의 수질 상태는 30이하는 빈영양, 50이하는 중영양, 70이하는 부영양, 그리고 70이상은 과부영양 상태로 평가한다.

위의 세 가지 LQI를 종합하여 나타낼 경우에는 외부기원과 내부기원에 각각 50 %의 가중치를 주어 평균 LQI를 계산한다. 내부생성유기물의 지표는 조류의 밀도지표인 Chl-a이며 TP는 조류의 밀도를 좌우하는 지표이므로 이 두 가지에 각각 25 %의 가중치를 주어 다음 계산식과 같이 계산하여 사용한다. T-P 항목 외에 투명도와 탁도를 보조자료로 사용할 수 있다. 조사 기관에 따라서 투명도를 측정하기도 하고 탁도를 측정하기도 하므로 사용가능한 지표를 선택하여 계산에 사용한다.

$$\text{평균 LQI} = 0.5 \text{ LQI(COD)} + 0.25 \text{ LQI(Chl-a)} + 0.25 \text{ LQI(TP)}$$

한국에 분포하는 농업용 저수지 500개와 중-대형 호수 자료 84개, 그리고 직접 현장에서 측정된 22개 호수자료에 대하여 LQI를 이용하여 한국 호수의 영양분포를 평가하였다. 그 결과, 56%가 빈-중영양상태, 44%가 부-과부영양상태로 평가되었다. 이는 한국 호수의 특징을 고려하여 개발된 평가 지표 LQI가 한국의 전반적인 호수의 영양상태를 평가하는데 적합하다는 것을 나타낸다. 따라서 LQI가 호수의 통합적 건강성 지표 개발에 중요한 수질평가메트릭 개발에 중요한 기본 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

(표 4-7) 한국 호수의 LQI 분포도

Lake water quality Index (LQI)		Lake and reservoir	
		No	%
10	Oligotrophic	36	6
20			
30	Mesotrophic	305	50
40			
50	Eutrophic	217	36
60			
70	Hypertrophic	48	8
80			
90			
100			
Total		606	100

(인용자료: 농어촌연구원 - 농업용저수지 500여개, 환경부 - 중대형호 84개, 강원대 - 현장측정 22개 호수)

(2) 동·식물플랑크톤

동·식물플랑크톤 군집은 영양염류의 유입, 계절에 따른 온도와 일사량의 변화와 같은 환경의 영향에 의해서 천이되어진다. 현재까지 식물플랑크톤 군집의 특성은 호수의 건강성이나 환경적 특성을 잘 반영하는 지표로 활용되고 있지만, 동물플랑크톤 군집은 환경적 특성을 제대로 반영하기 어려운 지표로 인식되어왔다. 따라서 다양한 분석방법을 통하여 동·식물 플랑크톤의 지표 이용가능성을 확인하였다. 지표 이용을 위한 분석에는 동·식물플랑크톤 다양도 평가, 동·식물플랑크톤 생체량과 수질과의 상관관계, 남조류 밀도와 수질과의 상관관계, 환경요인간의 주성분 분석 등을 실시하여 평가메트릭을 개발하였다. 수질과 플랑크톤을 이용한 호수건강도 평가 메트릭은 다음 표와 같다.

(표 4-8) 호수 수질 및 플랑크톤을 이용한 호수건강도 평가의 모델 및 모델
메트릭 점수

모델 메트릭 속성	메트릭 점수		
	1	3	5
I. LQI (호수수질지수)	> 61	41 - 60	< 40
II. 동물플랑크톤			
지각류/윤층류 비율(%)	< 7	7 - 23	> 23
지각류 비율(%)	> 95	50 - 95	< 50
III. 식물플랑크톤			
출현종수	< 12	12 - 22	> 22
남세균 밀도(Cells/ml)	> 105	102 - 105	< 102

(3) 어류

어류의 조사는 조사지점의 선정, 방법, 조사 도구 별 결과가 큰 차이를 나타낼 수 있으므로 조사방법의 확립이 매우 중요하다. 이에 조사 방법을 매뉴얼화하고 어류를 이용한 호수생태건강성 평가 모델의 후보를 검토하고 메트릭을 개발하였다. 평가에 고려한 메트릭으로는 종 구성 특성(종다양도 지수, 민감종 수, 내성종 개체수 사용빈도), 트로픽 특성(잡식종 개체수 상대빈도, 충식종 개체수 상대빈도), 종 풍부도 및 개체 건강도(종 우점도 지수, 배스의 상대빈도, 비정상 개체 출현비율을 고려하였다. 어류를 이용한 건강성 평가 메트릭의 개발안은 다음 표와 같다.

(표 4-9) 호수건강도 평가의 후보 모델 및 모델 매트릭 점수

모델 매트릭 속성		메트릭 점수		
		1	3	5
I. 종조성 특성 (Species composition)				
M1. 종다양도 지수		<0.7	0.7 - 1.6	>1.6
M2. 민감종 수	LSR	<2	2 - 4	>4
	MSR	<1	1 - 3	>3
	SSR	<1	1 - 2	>2
M3. 내성종의 상대빈도		>23%	4 - 23%	<4%
II. 영양단계 특성 (Trophic composition)				
M4. 충식종의 상대빈도		<6%	6 - 32%	>32%
M5. 잡식종의 상대빈도		>43%	11 - 43%	<11%
III. 종 풍부도 및 개체 건강도 특성 (Fish abundance & Fish health)				
M6. 종우점도 지수		>31%	20 - 31%	<20%
M7. 배스의 상대빈도		>5%	0 - 5%	0%
M8. 비정상개체 출현빈도		>1%	0 - 1%	0%

(4) 저서성 대형무척추동물

호수 생태계의 복잡성과 저서성 무척추동물의 다양성을 고려하여 간편성과 정밀성 두 가지 조건을 고려한 지수를 제시하였다. 기존의 건강성 평가를 위한 매트릭 평가 (Barbour 등 1995; Blocksom 등 2002; FDEP 2000)에서 제시되어 사용된 평가 방법에 생태정보학적 기법을 추가하여 매트릭을 검정하였다. 군집의 다양성, 내성, 구성 및 영양성의 네 가지 유형을 대표하는 각 매트릭을 택하고 이에 대하여 변별성, 연관성 및 스트레스에 대한 반응 정도를 평가하였다.

후보 대상 매트릭은 기존 연구에서 사용된 평가 방법(Barbour 등 1995; Blocksom 등 2002)에 따라 일차적으로 구배를 평가하여 적절히 변별성이 있는지를 검출하였다. 일차 선정된 매트릭에 대하여 상관관계 분석을 통해 매트릭스 간 연관성을 평가하였다. 이후 주요 환경 자료와의 상관성을 토대로 전체적인 민감도를 평가하여 최종 매트릭을 선정하였다.

(표 4-10) 저서성대형무척추동물을 이용한 호수건강도 평가의 모델 및 모델 메트릭 점수

모델 메트릭 속성	메트릭 점수		
	1	3	5
I. 종 다양성(Diversity guild)			
출현종수	< 4	4 - 8	> 8
제 1 우점종	> 85	66 - 85	< 66
II. 생물내성도(Tolerance guild)			
E.T.O. taxa(%)	0	< 33	> 33
내성종 비율(%)	> 50	28 - 50	< 28
III. 종 구성 및 섭식길드 (Species composition & Feeding guild)			
갈따구류(%)	< 50	50 - 82	> 82
Collector gatherer taxa (%)	> 14	< 14	0
IV. 연체동물 출현 (Mollusca taxa)	> 25	< 25	0

(5) 수생식물

식물은 좋은 지표가 될 특성을 갖고 있어 최근 들어 널리 이용되고 있다. 또한 이동성이 없이 연중 생육기 내 분포하므로 조사하기 쉬울 뿐만 아니라 수계의 물리적, 화학적, 생물학적 변화에 민감하게 반영한다.

평가 메트릭으로는 많은 문헌에서 공통적으로 사용하고 있는 항목 중 총 37개의 후보 메트릭을 선정하여 서식지 지표값과의 상관분석을 통해 서식지 질에 따라 유의한 상관관계를 가지는 메트릭을 최종 메트릭으로 선택하였다. 분석결과 총 종수, 정수식물 종수, 부유·부엽식물 종수, 절대습생식물 종수, 사초과식물 종수, 침수식물 종수 비율(%), 가래속 식물의 종수 비율(%), 침수식물 상대피도(%) 등 총 13개의 메트릭을 선정하였으며, 점수 기준은 다음 표와 같다.

(표 4-11) 수생식물 메트릭 평가 점수 기준

Metric	점수		
	1 (나쁨)	3 (중간)	5 (좋음)
총 종수	Varies with surface area		
정수식물 종수	≤5	6~10	≥11
부유·부엽식물종수	≤3	4~6	≥7
절대습생식물 종수	≤19	20~38	≥39
사초과식물 종수	≤6	7~12	≥13
침수식물 종수(%)	≤2	3~4	≥5
가래속(Potamogeton)식물의종수	≤ 1	2~3	≥4
침수식물 상대피도(%)	≤ 14	15~28	≥29
절대습생식물 상대피도(%)	≤ 33	34~66	≥67
정수식물 분포면적(%)	≤28	29~56	≥57
침수식물 분포면적(%)	≤ 9	10~18	≥19
수습생식물의 종다양성지수	≤ 0.37	0.38~0.74	≥0.75
특정식물 종의 분포	(멸종위기종수×2)+희귀식물종수+특산식물종수		

(6) 물리·화학적 환경인자

물리·화학적 환경인자의 평가 메트릭으로는 여러 가지 호수제원 및 수위, 퇴적물, 수변 등의 여러 인자 중에서 각각의 상관관계 분석을 통해 서식처 환경을 대표할 수 있는 연중수위변동, 수변경사, 수변의 토양 비율 및 유기물 함량을 선정하였다.

(표 4-12) 수변토양환경 평가메트릭

항목	평가기준	점수
연중수위변동	1.9m 이하	5
	1.9m < 수위변동 ≤ 2.4m	4
	2.4m < 수위변동 ≤ 4.9m	3
	4.9m < 수위변동 ≤ 6.8m	2
	6.8m 초과	1
수변경사	15.5° 이하	5
	13.8° < 수변경사 ≤ 16.6°	4
	16.6° < 수변경사 ≤ 22.1°	3
	22.1° < 수변경사 ≤ 27.6°	2
	23.0° 초과	1
토양비율	90.2% 초과	5
	87.8% < 토양비율 ≤ 90.2%	4
	83.5% < 토양비율 ≤ 87.8%	3
	77.0% < 토양비율 ≤ 83.5%	2
	77.0%이하	1
유기물함량	3.6% 초과	5
	3.4% < 유기물함량 ≤ 3.6%	4
	2.4% < 유기물함량 ≤ 3.4%	3
	1.7% < 유기물함량 ≤ 2.4%	2
	1.7% 이하	1

2. 국외 사례(최지용, 1996; 2007)

가. 미국

(1) NSFQI(National Sanitation Foundation Water Quality Index)

종합수질지표가 가장 많이 연구된 곳은 미국이다. 1965년 Horton은 수온, pH, 포화용존산소량, 전기전도도, 알칼리도, 탄소, 염소, 분원성대장균 및 폐수처리효율 등 8개 항목을 선정하여 현대적인 수질지표를 제안하였다(과학기술처, 1989). Horton 이후에 일반수질지표에 대한 개발이 활성화되어 미국 National Sanitation Foundation의 Water Quality Index, Prati의 Implicit Pollution Index,

McDuffie의 River Pollution Index, Dinius의 Social Accounting System등의 지표가 개발되었다. 이 중에서도 1970년에 Brown, McClelland, Deininger, Tozer 등은 Horton의 지수와 유사한 구조의 수질지표를 제시하였는데, 이 연구는 National Sanitation Foundation(NSF)에 의해 지원되었기 때문에 NSF-WQI로 알려졌다.

NSF-WQI의 수질평가항목은 수온, pH, DO, BOD₅, NO₃-N, PO₄-P, 분원성대장균, TS(Total Solids), 탁도 등 총 9개 항목으로 WQI의 산정 식은 다음과 같다.

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^9 W_i \cdot I_i$$

W_i = 항목별 가중치

I_i = 등급곡선에 의한 부지수

1 = 조사항목

항목별 가중치는 델파이기법을 이용하여 미국전역의 수질전문가 상당수의 의견을 조합해 산출되었으며, 산정된 NSF-WQI에 의한 오염도 평가기준은 다음 표와 같다.

(표 4-13) 산정된 NSF-WQI에 의한 오염도 평가기준

NSFWQI 산정치	평가
90점 이상	우수
89 ~ 70점	양호
69 ~ 50점	보통
49 ~ 30점	나쁨
29점 이하	아주 나쁨

(2) 노스캐롤라이나주 - Mecklenburg County

노스캐롤라이나 주의 Mecklenburg County에서는 지표수의 수질을 개선하고 물의 용도를 보존하기 위해 1995년부터 "Surface Water Improvement and Management Environmental Protection(MCDEP)"를 실시해오고 있다. Mecklenburg County에서는 상당량의 수질자료를 단일한 값으로 전환한 종합수질지표를 사용하는데, 여기에는 BOD, DO, 분원성대장균, pH, 수온, TN, TP, TS, 탁도 등 9개의 수질항목을 그 대상으로 하고 있다. 이 항목들은 지역의 수질전문가의 의견을

종합하여 결정되었다. 한편, 호수에 대해서는 Chlorophyll-a, DO, pH, SecchiDisk Depth, 전도도, 수온, 총알칼리도, TN, TP의 9개 항목을 대상으로 하고 있다. MCDEP에 의해 매월 40개의 샘플을 하천에서, 17개의 샘플을 호수에서 채취하여 분석하고 있으며, 분석된 결과들을 토대로 연간 수질지표를 산출해내고 있다.

(표 4-14) 노스캐롤라이나 Mecklenburg County 종합수질지표값과 수질 상태 판정

종합수질지표값	수질 판정	수질 상태
0~25	나쁨 (Poor)	수생태계에서 한정된 종만이 존재 오염에 민감하고 수질에 많은 문제가 있음 수영 등의 여가활동에 적합하지 않음
26~50	약간나쁨 (Fair)	수생태계의 종다양성이 낮음 점오염원 및 비점오염원에 의해 수질이 위협받음
51~70	보통 (Average)	수생태계의 종다양성 감소의 신호 영양염류가 증가하고 조류가 성장하고 있음
71~90	좋음 (Good)	수생태계의 종다양성이 높음 물의 모든 용도에 적합
91~100	매우 좋음 (Excellent)	

(3) Des Moines River Water QualityNetwork(DMRWQN)

DMRWQN는 아이오아주를 흐르는 Des Moines River의 수질관리 프로젝트로 아이오아주립대학교 토목공학과에서 미육군공병단의 지원을 받아 수행하고 있다. 1967년부터 실시되어온 이 프로젝트는 상류의 댐이 강의 하류에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 하고 있으며, 30여 년 동안 수질을 분석하고 있다.

본 프로젝트에서는 DMRWQN내에 있는 강의 수질상태를 일반대중들이 쉽게 알아볼 수 있도록 DMRWQI(Des Moines River WaterQuality Index)를 산정하였는데 그 방법과 절차는 NSFQI에 근거하고 있다. 즉, 각 지점에서 DO, pH, BOD, 질산성질소, 아질산성질소, 비이온화 암모니아질소, 탁도, SS를 측정하고 등급곡선(rating curve)를 이용하여 얻은 각각의 mdex score를 합한 점수로 수질상태를 표시하고 있는 것이다. 수질상태는 0~100점 사이의 수치로 나타내며 91

점 이상이면 “우수”, 71~90점은 “양호”, 51~70점은 “보통”, 26~50점은 “나쁨”, 25점 이하는 “매우 나쁨”으로 판정된다(Department of the Army RockIsland District Corps of Engineers, 2002).

(4) Boulder Creek Watershed

콜로라도 Boulder county에서는 지역주민들이 환경정보에 쉽게 접근할 수 있도록 EPA EMPACT(Environmental Monitoring for Public Access and Community Tracking) program의 지원을 받아 BASIN(Boulder Area Sustainability Information Network) 이라는 지역 서비스를 제공하고 있다.

BASIN에서는 NSFWQI를 적용하여 Boulder Creek Watershed의 수질상태를 지역주민들에게 제시하고 있다. 이를 통해 지역주민들은 지역에서 수질 때문에 일어 날 수 있는 문제들을 이해할 것으로 기대하고 있다. 저수기의 수질 종합지표는 A, B, C, D, 표로 표시하며, 이 구분은 NSFWQI에 근거 하고 있다.

(5) 일리노이주

미국에서는 각 주에서 지정한 물의 용도에 대해 종합수질지표의 적합성을 평가하여 이를 중앙정부에 보고하도록 하고 있다. 이에 따라 각 주는 수중생태계 보존, 물고기 섭취, 수영 등의 위락용도, 음용수 용도 등과 같이 용도를 분류하여 그 적합성을 평가하고 있다. 평가기법은 주별로 차이가 있으며 일리노이 주의 경우, 하천을 수 중생태계, 물고기 소비, 수영, 음용수공급, 이차적인 수접촉 등의 용도로 분류하고 적합성정도를 Full(중분적합), Full/Threatened(적합), Partial/Minor Impairment(부분적합), Partial/Moderate Impairment(부분부적합), Nonsupport(부적합)로 평가하고 있다.

(6) 오리건주

오리건주는 하천의 수질을 쉽고 간명하게 나타내기 위해 1970년대 하천관련지표를 개발하여 지금까지 지속적으로 수정해오고 있다. 1970년대 말까지는 하천의 기능을 새롭게 알아가면서 이러한 연구가 지표에 반영되었으나, 그 결과 지표의 계산과 결과보고에 많은 인력이 소요되어 1983년 잠시 중단되었다. 오리건주가 채택한 지표는 NSFWQI(National Sanitation Foundation's Water Auality Index)를 참고하여 DO, BOD, pH, NHs-N, NO₃-N, TS, 대장균의 6개에서

나중에 추가된 수온과 T-P까지 총 8개가 있다. 하천의 손상정도는 각 지표를 이용하여 용존산소부족, 부영양화, 물리적 특성, 용존물질, 위해성으로 나누고 그 정도를 판단하고 있다.

나. 캐나다(Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001)

캐나다에서는 CCMEWQI(Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index)를 개발하여 일반인들도 수질의 전반적인 상황을 쉽게 이해할 수 있도록 하고 있다. CCMEWQI 이전에도 Center St. Laurent, Quebec, British Columbia, Manitoba, Alberta, Ontario 등에서 WQI를 사용하고 있었지만 캐나다의 수질을 단일한 지표로 나타내기 위해 CCMEWQI를 개발하였다. CCMEWQI는 세 가지 factor로 계산된다.

① Factor 1 : 범위 (Scope)

F1은 관찰기간 동안 수질 가이드라인을 벗어나는 정도를 나타낸다.

$$F_1 = \left(\frac{\text{Number of failed variables}}{\text{Total number variables}} \right) \times 100$$

Variable은 관찰기간 동안 조사된 수질항목수를 나타낸다.

② Factor 2 : 빈도(Frequency)

F2는 목표(objective)를 만족시키지 못한 조사수(failed test)의 백분율을 나타낸다.

$$F_2 = \left(\frac{\text{Number of failed tests}}{\text{Total number of tests}} \right) \times 100$$

③ Factor 3 : 크기(Amplitude)

F3는 목표를 만족시키지 못한 조사수의 정도를 나타내며 다음 식에 의해 계산된다.

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right) \times 100$$

여기에서 nse 는 $nse = \frac{\sum_{i=1}^n excursion}{Number\ of\ tests}$ 로 계산되며, $excursion$ 은 각각의 측정값의 농도가 목표치보다 얼마나 크거나 작은가(목표치를 최소치로 하는 경우)를 나타내는데 다음과 같이 계산된다.

$$excursion_i = \left(\frac{Failed\ Test\ Value_i}{Objective_i} \right) - 1 \quad \begin{array}{l} \text{측정치가 목표치를 초과해서는} \\ \text{안 될 경우} \end{array}$$

$$excursion_i = \left(\frac{Objective_i}{Failed\ Test\ Value_i} \right) - 1 \quad \begin{array}{l} \text{측정치가 목표치보다 낮아서는} \\ \text{안 될 경우} \end{array}$$

위에서 구한 F1, F2, F3를 이용한 CCMEWQI는 다음과 같이 계산된다. 이렇게 계산된 CCMEWQI는 캐나다 전역에 걸쳐 적용되고 있다.

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

(표 4-15) CCMEWQI값에 따른 수질 판정과 상태

CCMEWQI 값	수질 판정	수질 상태
95~100	Excellent	- 실질적인 위협 없이 수질이 보호되고 있는 상태 - 자연 상태의 매우 근접한 수준 - 측정값들이 항상 목표치를 만족할 때 달성 가능한 수준
80~94	Good	- 경미한 수준으로 수질이 위협받고 있는 상태 - 자연 상태나 바람직한 수준에 거의 접근한 상태
65~79	Fair	- 평상시 수질은 보호받고 있으나 종종 위협받고 있는 상태 - 자연 상태나 바람직한 수준에서 때때로 벗어나는 상태
45~64	Marginal	- 수질이 자주 위협받고 있는 상태 - 자연 상태나 바람직한 수준에서 자주 벗어나는 상태
0~44	Poor	- 수질이 거의 항상 위협받고 있는 상태 - 자연 상태나 바람직한 수준에서 대부분 벗어나는 상태

다. 일본

일본은 우리나라와 같이 중요한 몇 가지의 항목으로 수질을 평가하고 있으며 종합지표는 정부차원에서 개발되거나 이용되고 있지는 않고 연구자들이 연구용으로 개발하여 이용하는 경우는 있다. 지표의 개발 예로는 많은 수질측정 항목들이 서로 강한 상관관계를 가지고 있는 것을 이용해 통계적 기법을 적용하여 개발하였다. 예를 들면 BOD의 경우 다른 수질항목과 밀접한 관계가 있으며 이 경우 BOD가 수질을 대표하는 것으로 보고 BOD와 같이 수질을 대표하는 수개의 항목을 이용해 지표를 개발하였다. 대표항목의 선정은 통계적인 방법에 의해 이루어지며 주로 주성분 분석에 의해 선정하는 방법이 이용된다. 그 예로 神奈川縣내 27개 하천을 대상으로 많은 수질항목을 주성분 분석법으로 집약해, 수질에 가장 큰 영향을 끼치는 DO, BOD, PO₄-P, NH₃-N의 4항목을 이용해 종합수질지표(WQI)를 다음과 같이 산정하였다(岡외, 1983).

$$\begin{aligned} \text{WQI} = & 0.162 \times \text{DO} + 1.34 \times \log(\text{BOD} + 0.90) + 1.54 \times \log(\text{PO}_4\text{-P} + 0.094) \\ & + 1.22 \times \log(\text{NH}_3\text{-N} + 0.49) + 0.146 \end{aligned}$$

라. 유럽

현재 유럽은 WFD(Water Framework Directive)에 기반하여 수질과 관련된 모든 정책이 수립되고 있다. 이 정책에는 하천 및 호소의 생태적 상태에 대한 일반적인 정의를 내리고, 하천 및 호소 각각에 대해 생물학적, 형태학적, 물리학적 평가요소와 등급을 제시하고 있다. 유럽은 지표수체의 수질을 구분하기 위해 기본적으로 WFD 규정을 준수하면서 각국에 알맞은 내용을 전개하기 때문에, WFD의 부속서 V의 내용을 충분히 인지하고 유럽의 종합수질지표를 이해할 필요가 있다. 현재 프랑스의 경우 비교적 WFD의 지침에 근접하게 종합평가지표를 개발하여 적용하고 있다.

(1) 프랑스 (L.C. Oudin, 2000 Water Agencies(France), 2000)

프랑스는 1971년 하천수질 평가방법을 도입하여 수질보호를 위한 계획과 모니터링, 물이용에 이를 활용하고 있다. 본 5개 수질 등급은 물리·화학적, 수문·생물학적 상태를 반영하는 제한된 인자들에 의해 1A/1B/2/3/등급 외로 구분되며, 이는 각각 파랑/초록/노랑/주황/빨강의 색으로 대표되었다. 이 “다목적” 그리드는 주된 용수 이용과 어류 보전을 위한 지속가능성에 대한 일반적인 평

가에 기반하여 수립되었다.

1990년대에 환경개발부, 그리고 물관리청(water agency)은 하천 수질 평가를 위한 본 접근법을 3개 부분 시스템으로 설계, 강화하여, 기존 수질 등급을 현대화하기로 결정하였다. S.E.Q(Systeme d'Evaluation de la Quality)라 명명한 이 새로운 시스템은 ① 물의 물리-화학적 질(Water S.E.Q.: River quality based on Water component), ② 하상 및 독의 인공화 정도(Physical S.E.Q.: River quality based on Physical component), ③ 수로 (water course)에서의 생물학적 균락의 상태 (Biological S.E.Q.: River quality based on Biological component)를 동시에 평가한다. S.E.Q. 시스템은 물리화학적, 생물학적 변수를 이용하여 수질 등급을 5단계로 구분하며 프랑스 환경개발부와 물관리청이 협력하여 평가법을 개선해나가고 있다. S.E.Q. 시스템은 다음과 같다.

- 기본단위 설계(modular design)를 가지고 있다: 이 시스템은 과학적이고 기술적인 발전 및 지역적 특성에 맞추어질 수 있다.
- 국가 차원에서 수자원 관리와 연관된 이해관계자 모두가 사용할 수 있다.
- EU의 물관리기본지침(WFD) 및 기타 적용 가능한 지침과 일치한다.
- 기술자, 의사결정자, 물이용자 사이의 관계를 정립함으로써 환경 및 유산(heritage) 문제를 고려할 수 있게 해준다.

Water-S.E.Q.는 수생태계 보호, 물의 이용, 위락용수로 활용 등의 다양한 목적별로 다양한 기준을 모두 고려하고 있으며, 153개 항목(parameter)으로 이루어진 15개 지표(indicator)를 통해 수질, 수질 분류, 사용적합도 등을 판단하고 있다. Ver. 2에서 물이용은 음용수, 위락용수, 관개용수, 축산용수, 양식으로 구분하고, 여기에 수생생물 부문이 더해져 6가지 용도로 구분되게 되며, 각 용도는 그 용도의 수질을 평가하기에 적합한 지표를 선택하게 된다. 6가지 용도에 따른 물이용의 적합도는 5단계(파랑, 초록, 노랑, 주황, 빨강)로 구분한다.

(2) 영국

현재 영국에서 사용되고 있는 공식적인 분류시스템은 하천수질을 DO, BOD, NH₃-N 등의 연간측정자료 95 %를 이용해 1A에서 4까지의 5개 등급중 하나에 속하는 것으로 분류하고 있다. 종합수질지표는 공식적으로 사용하지는 않지만 연구자들이 관심을 가지고 개발하고 있다. House(1989)는 수질지표를 일반수질

지표(WQI : Water Quality Index)와 용도관련지수로 구분하여 개발하였다. 일반 수질지표(WQI)는 잠재적인 수용도의 범위에서 수질을 반영하는 것으로 영국에서 정기적으로 모니터링되는 9개의 물리-화학적 그리고 생물학적 항목에 기초하고 있다. 용도별 지수로써 원수의 적합성 반영정도를 나타내는 PWSI(Public Water Supply Index), 독성에 대한 지수로서 ATI(Aquatic Toxicity Index), 공공용수공급용으로서의 적합성이나 수생태계 유지를 위해 영향 정도를 파악하기 위한 PSI(Potable Sapidity Index)가 있다. PWSI지수는 음용수 공급 적합성에 대한 수질을 반영하는 것으로 13개의 정기적으로 모니터링되는 항목에 기초한 것이다. 나머지 두개의 지수는, 잠재적으로 사람과 수중생물체에 독성을 끼치는 중금속, 살충제, 그리고 탄화수소 등에 기초한 것이다. 두 지수 중 ATI는 물고기와 야생동물의 종족보호를 위한 물의 적합성을 반영하고, PSI는 공공용수 공급을 위한 물의 적합성을 반영한다. 이들 지수들은 9개와 12개의 대표적인 독성항목에 기초하고, 만약 독성지수가 WQI 또는 PWSI보다 열악한 수질을 나타낸다면 독성지수점수에 기초하여 WQI나 PWSI에서 얻어진 점수를 넘는 용도로 점수가 수정된다. WQI와 PWSI에서는 전문가에 의해 매겨진 각 공공용수 공급을 위한 물의 적합성을 반영한다. 이들 지수들은 9개와 12개의 대표적인 독성항목에 기초하고, 만약 독성지수가 WQI 또는 PWSI보다 열악한 수질을 나타낸다면 독성지수점수에 기초하여 WQI나 PWSI에서 얻어진 점수를 넘는 용도로 점수가 수정된다. WQI와 PWSI에서는 전문가에 의해 매겨진 각 항목의 가중치들이 사용되었지만 ATI와 PSI에서는 독성항목이 가지는 특성 때문에 가중치를 적용하지 않았다.

(3) 폴란드

폴란드는 종합지표 작성을 위해 기본항목과 추가항목의 2종류로 나누어 사용하였다(Dojilido *et. al.*, 1994). 기본항목은 BOD₅, SS, T-P, NH₃-N, DS, COD_{Mn}, DO로 이들 항목들은 수년간 자료가 축적되어 있고, 수질평가에 상당한 중요성이 있는 항목들이고, 추가항목은 Fe, Phenol, Organic-N, 경도, Mg, pH, 황화물, Cl, COD_{Cr}, 질산염, Pb, Hg, Cu, Cr⁺⁶, Zn, Cd, Ni, Free-CN 등으로 기본 항목에서 계산된 WQI보다 낮은 경우에만 고려된다. 사용항목의 수에 따라 WQI 값이 달라지기 때문에 다른 하천 또는 다른 연도의 자료와 비교할 경우, 사용된 항목수가 같아야 하므로 두 종류의 지표가 제시되었다. 기본 항목으로부터 계산된 WQI는 시간과 공간에 따른 수질비교를 위해 사용될 수 있어야 하고 추가적인

항목을 포함하는 WQI는 하천의 오염에 보다 많은 정보를 제시하지만 수질의 비교에는 사용할 수 없다.

WQI 계산과정은 먼저 기본항목에 대한 단일 지수를 계산하고, 기본항목의 조화평균을 사용하여 기본 WQI를 계산한다. 그리고 추가로 결정된 항목에 대한 단일지수를 계산, 추가항목과 기본항목에 대해 계산된 WQI의 값을 비교하고, 종합 WQI 산정을 위해 추가항목의 단위지표값이 기본항목 WQI보다 낮은 항목을 선정하여 계산, 최저단위지수에서 한계항목을 선택(이 항목은 종합 WQI의 수치에 큰 영향을 미침)하는 순서로 진행된다.

수질지표는 0에서 100의 범위에 있으며, 깨끗한 물은 100의 값을 가지고, 오염된 물은 0의 값을 가진다. 항목별 지수값(Unit WQI)은 각 수질항목으로부터 계산되며 각 수질항목의 농도(mg/L)를 0~100의 무차원의 수치로 전환하는 연속함수로 계산하고 등급은 4단계로 구분하였다.

(표 4-16) 등급별 점수범위

등급	점수범위	비고
4	0 ~ 25	오염된 물 ▲ ▼ 깨끗한 물
3	26 ~ 50	
2	51 ~ 75	
1	76 ~ 100	

수질지표의 종합화방법으로는 조화평균의 제곱근이 선정되었다. 항목별 부지수의 평균법 중 이 방법을 채택한 이유는 이 평균이 가장 낮은 수치를 나타내는 항목에 높은 통계적 의미를 주는 한편 다른 모든 항목을 고려할 수 있는 방법이기 때문이다. 이 방법의 장점은 다양한 항목에 대한 가중치를 고려하지 않아도 된다는 점이다. 그러나 이와 같은 일정가중치 시스템은 다양한 항목 간 특성을 고려하지 않음으로 수질평가를 부적절하게 이끌 수도 있다.

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2}}} \quad \text{if } x_i \neq \text{for each } I$$

$$WQI = 0 \quad \text{if } x_i \equiv \text{for any } I$$

여기서 WQI : 기본수질지표, n : 취해진 지수의 수, xi : 항목 i에 대한 단일 지수

마. 러시아

러시아에서는 1964년에 처음으로 일반수질지표(GI : General Index)가 제안된 이래 수질지표에 대한 관심이 지속되고 있으며 여러 종류의 종합지수가 개발되었다. 종합지표에 포함되는 항목은 시료채취지점에서 수체의 상태와 독성물질 등 수질특성을 나타내는 항목을 사용하였고 대부분의 연구자들은 GI안에 포함시켜야 할 항목을 BOD, SS, pH, DO, 대장균, 질산염, Cl⁻, 황산염 등으로 하였으며, GI의 일반적인 형태는 다음과 같이 부지수 함수를 구해 이를 단순산술평균하는 형태를 취하고 있다(Evdokimov, 1990).

$$I = \frac{\sum_i I_i}{n}$$

여기서 n은 항목수이고 I_i는 각 항목별 부지수함수로 함수로 산정한 값을 수질등급에 따라 다시 환산한 정수값이다. 매우 깨끗한 하천의 GI는 0~1, 깨끗한 하천은 2, 보통인 하천은 3~4, 약간 오염된 하천은 5~7, 중간정도로 오염된 하천은 8~10, 아주 많이 오염된 하천은 10 이상이 된다.

또 한 예로 러시아과학원 산하의 Ural Scientific Center는 수오염지수 X를 하천의 화학적 지수 X_{chem}과 미생물적 지수 X_{bac}으로 분리하여 계산한 후 종합화하는 다음의 식을 제안했다.

$$X = \sqrt{X_{chem} X_{bac}}$$

모든 화학적 오염물질들은 등급의 위해성을 나타내는 그룹으로 나누어지고, 각 그룹에서 최대치를 구해 이들 최대치의 총합을 다음 식과 같이 구하였다.

$$X_{chem} = \max_i \left(\sum_{j=1}^{n_j} \frac{S_{ij}}{MAC_i} \right)$$

여기서 S_{ij}는 j번째 집합의 i번째 유해물질의 농도이며, MAC_i는 수용도의 분류에서 최대허용농도(Maximum Allowable Concentration)에 해당하며, n_j는 j번째

그룹에 포함되는 총 물질수이다.

X_{bac} 는 위락용도를 위해 사용되는 하천수에 대해 러시아 보건부가 규정한 기준과 실제 대장균지수의 비율이다. 이 지수는 오염물질농도를 물질의 유해성향과 관계없이 선형합으로 계산한 것이 단점이다. 더욱이, 필수오염물질인 한 화학물질의 수치만 반영하고, 나머지는 최대함수에 의해 제외된다. 수질 GI는 수질의 일반적인 평가와 시계열적 경향 파악 및 수처리시설의 효과 파악에 이용되고 있다.

바. 뉴질랜드

뉴질랜드에서는 일반용, 목욕수용, 용수공급용, 그리고 물고기 산란용의 네 가지 지표가 강과 하천에 대해 고안되었다. 이 중에서 일반적 지표는 실질적으로 수중생태계, 미관, 낚시, 관개, 용수공급 및 수영을 종합적으로 만족시키도록 하는 복합적인 일반수질 지표이다. 지표의 작성은 미국의 National Sanitation Foundation에서 수행한 지표작성방법을 이용하였다. 4개의 용도에 대해 선정한 항목은 DO, pH, 탁도, 온도, BOD₅, 암모니아, Fecal Coliforms 이다. 독성물질은 물질간의 특성이 크기 때문에 포함되지 않았으며 실질적으로 뉴질랜드의 물은 거의 독성이 없다.

부지수곡선은 표준 그래프의 양식을 이용하여 x축은 측정되는 항목치의 기대범위를 나타내도록 하였고, y축은 0에서 100의 점수 범위를 갖도록 작성하였다.

(표 4-17) 부지수의 범위에 대한 설명

부지수 범위	용도에 따른 적합도
$0 \leq I_{sub} < 20$	모든 용도에 전체적으로 부적합
$20 \leq I_{sub} < 40$	여러 가지 용도에 부적합
$40 \leq I_{sub} < 60$	주된 용도, 일부용도에 절충가능
$60 \leq I_{sub} < 80$	모든 용도에 적합
$80 \leq I_{sub} < 100$	모든 용도에 매우 적합

각 항목별로 부지수값(I_{sub})을 산정한 후 최종적인 종합화는 최소함수로 결정하였다(David, 1989).

$$WQI = \text{MIN}(I_{sub})$$

각 용도에 대한 물의 적합성은 “가장 열악한 수질”특성에 의해 대부분 결정되므로, 최종적인 물의 상태 결정은 최소값을 이용하였다. 최소함수는 항목수에 제한이 필요 없고, 새로운 항목이 마지막 단계에서 쉽게 추가될 수 있는 장점이 있다.

사. 말레이시아

말레이시아에서는 DO, BOD, COD, SS, NH₃-N, pH 등의 수질항목을 선정하여 강에 대한 WQI를 개발하고 있다. WQI 계산은 다음의 식과 같다.

$$WQI = 0.22*SI_{DO} + 0.19*SI_{BOD} + 0.16*SI_{COD} + 0.15*SI_{NH_3-N} + 0.16*SI_{SS} + 0.12*SI_{pH}$$

여기에서, SI = 각 수질항목의 subindex를 의미한다. 계산된 WQI는 0~100사이의 값을 가지며, 각 구간별로 수질 용도를 정하고 있다.

(표 4-18) 말레이시아의 WQI 구간별 수질용도

WQI Usage	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
일반	심하게 오염된						약간 오염됨		깨끗함	
수질등급	V				IV	III			II	I
공공용수 공급	부적합				미심적 음	고도의 처리가 필요함			약간의 정화가 필요함	정화가 필요 없음
위락	부적합	명백하 게 오 염되어 보임	단지 Boating 가능	물에 접촉하 는 것 에 미 심적음	박테리아 검사 가 통과될 정 도로 오염됨		모든 위락에 적합			
물고기, 패류, 야생생물	부적합			단지 잡종 어종	단지 일반 어종	민감한 어종	송어류	모든 어류에 적합		
항해	부적합			명백하 게 오 염되어 보임	적합					
처리된 물 소송	부적합	적합								

아. 태국

일반적으로 종합수질지표에 포함되는 항목은 전문가의 견해나 현재의 수분류시스템에 기초하여 선택되어지며, 이 경우 항목간의 상호관계가 무시되는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 수체에서 발생하는 물리-화학적 공정들은 매우 복잡하고 상호 관련 적이어서 한 항목을 강조하는 것이 다른 항목에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 제안된 한 가지 방법이 자료평가에 있어 다중분석방법의 도입이다. 태국에서 개발한 방법은 측정된 모든 수질항목을 인자분석을 통해 최소한의 항목으로 감소시켜 이를 회귀식으로 표현하고 있다. 인자분석을 위해 13개의 수질항목(pH, 온도, NO₂-N, DO, BOD, NO₃-N, T-N, T-P, 탁도, SS, Cl, 전도도, Total Coliform)이 선택되었고 선택기준은 일반적인 수용도를 위해 수질지표에 보편적으로 포함되는 항목, 가능한 폭넓은 자료의 유용성, 자료가 장래에도 수집되어 지속적인 비교가능성에 두었다. 인자분석을 통해 하천의 오염된 부분과 오염되지 않은 부분에 대해 다음과 같은 항목으로 구분하였다.

(표 4-19) 오염정도별 인자분석 결과

하천구간	오염된 부분	오염되지 않은 부분
인자 1	- 염소(CHLO), 전도도(COND)	- DO, NO ₃ -N
인자 2	- 탁도, 부유고형물	- 탁도, 부유고형물
인자 3	- DO, 총질소, BOD, 대장균	- NO ₂ -N, 인

인자분석을 통해 선정된 항목을 이용해 하천의 오염된 부분과 오염되지 않은 부분으로 구분하였고 다시 각각은 3구간(상류, 중류, 하류)으로 구분하여 회귀식을 산정하였으며 오염되지 않은 부분의 결과는 다음과 같다(Lohani and Todino, 1984).

$$WQI1 = -3.102 + 1.624 \log(DO) + 0.256 \log(CHLO) - 0.160 \log(NO_3) + 0.071 \log(COND) (R^2 = 0.90)$$

$$WQI2 = -3.194 + 1.226 \log(TURB) + 0.633 \log(SUSP) (R^2 = 0.90)$$

$$WQI3 = 8.744 - 0.478 \log(TURB) - 0.548 \log(SUSP) + 3.383 \log(NO_2) (R^2 = 0.90)$$

자. 나이지리아

나이지리아에서는 자연수체의 용도를 물고기의 양식, 가정용, 산업용, 그리고 기타의 4단계로 분류하고 있다. 사용한 수질항목은 수온, pH, DO, BOD, NH₃-N, sulphide(S⁻²), silica, 경도 등이다. WQI의 점수범위는 0점에서 100점까지의 값으로 표현되고, 0~25, 26~50, 51~70의 WQI수치의 하천은 매우 나쁜 하천수질, 나쁜 하천수질, 중간정도의 하천수질로 구분되었고, 71~90과 91~100의 WQI치를 가지는 하천은 좋은 하천수질, 매우 좋은 하천수질로 구분하였다 (Erondu and Nduka, 1993).

차. 이라크

이라크에서는 농사, 축산, 물고기 및 수중생물 유지용수의 3가지 용도로 나누어 TDS, pH, DO, Coli(MPN), Ec, SAR, Cl⁻, NO₂-N, NH₃-N, Cu, B, Ni 등 12개의 항목으로 종합수질지표를 만들었으며 수질등급은 5개의 등급으로 구분하고 있다(Mohammed and Samahat, 1987).

수질지표의 종합화 함수는 다음과 같이 배수형을 취하였다.

$$WQI = \prod_{i=1}^n f_i(p_i)^{\frac{1}{n}} \times 100$$

여기서 n = i번째 용도와 관련이 있는 항목의 수, p_i = i번째 항목의 측정값, f_i(p_i) = i번째 항목에 대한 부지수함수

한편 WQI의 범위와 용도분류는 분류 제안 범위를 정하여 90점 이상을 1등급, 19점 이하를 5등급으로 하였다. 기하평균은 그 용도에 관련된 모든 항목 중 낮은 부지수함수값을 가지는 항목에 민감하게 반응하므로 WQI값이 나쁜 수질을 적절히 반영하게 하였다.

(표 4-20) WQI의 분류 제안범위

용도분류	WQI범위
I	90이상
II	75-89
III	50-74
IV	20-49
V	19이하

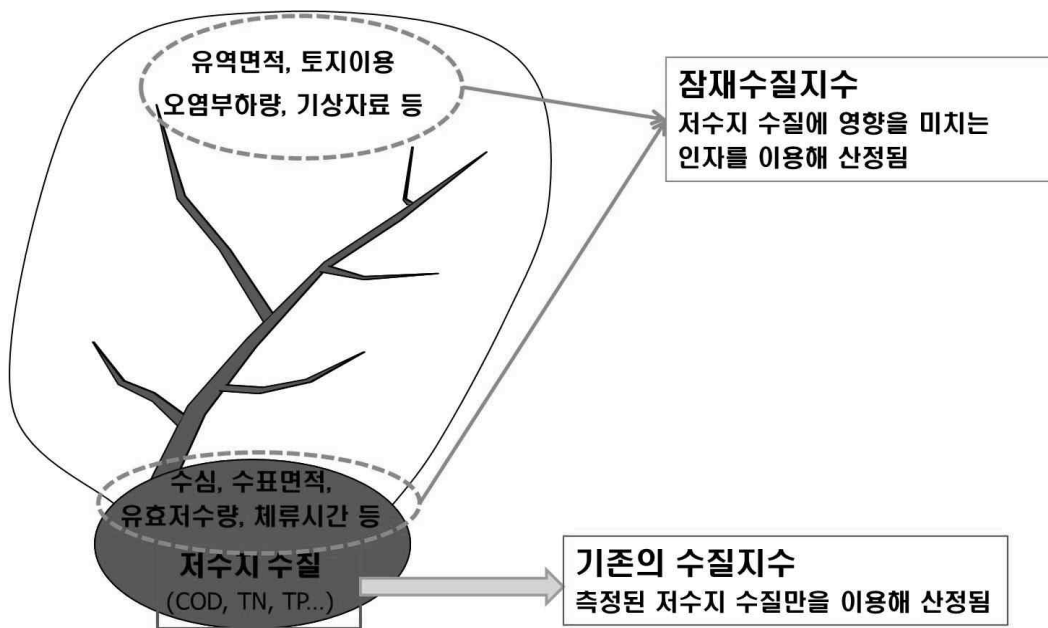
5장 잠재수질지수 개발

5장 잠재수질지수 개발

1절 잠재수질지수 개발방향

1. 기존 수질관련 지수와 차이점

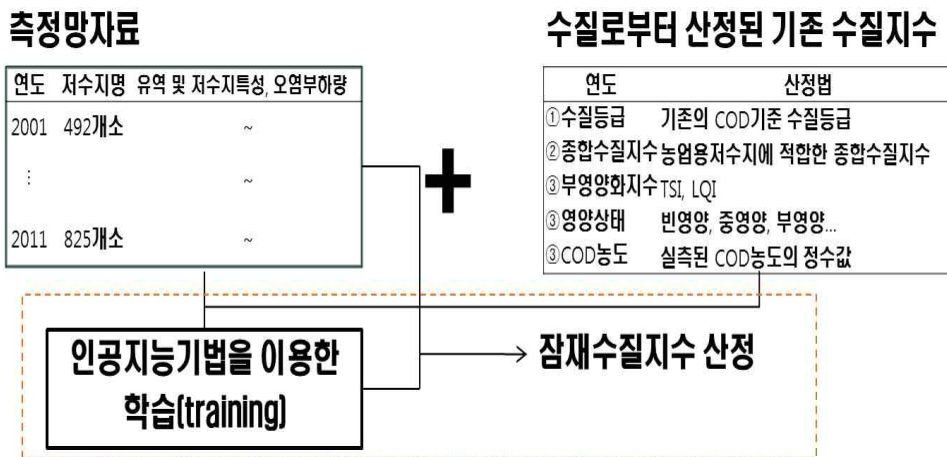
저수지의 수질은 유역면적, 토지이용, 오염부하량과 같은 유역 특성인자와 저수지 수심, 만수면적, 유효저수량 및 체류시간과 같은 저수지 특성인자에 영향을 받아 저수지의 수질로 나타난다. 앞에서 설명한 기존의 저수지 수질관련 지수는 대부분 저수지에서 실측된 수질만을 이용해 수질상태를 나타내는 지표 또는 지수를 개발한 반면에, 본 연구에서 개발하고자 하는 잠재수질지수는 저수지 수질을 제외한 저수지 수질에 영향을 미치는 유역 및 저수지 특성인자를 이용해 지수를 산정할 수 있는 지수를 개발하려고 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 잠재수질지수는 기존의 수질관련지수와 달리 유역 및 저수지 특성인자를 이용해 지수를 산정하기 때문에 잠재수질지수 산정만으로도 오염부하량, 토지이용 등과 같은 유역 및 저수지 특성인자 변화에 따른 저수지 수질변화를 추정할 수 있어 저수지 수질관리에 도움을 줄 수 있다.



<그림 5-1> 농업용저수지 잠재수질지수 개념도

2. 인공지능 기법을 이용한 잠재수질지수 개발 방향

2001년부터 농업용저수지 수질측정망을 운영하면서 수집된 수질측정망자료와 수질로부터 산정된 기존수질지수 사이의 관계를 인공지능기법을 이용해 도출한 후 저수지 수질을 제외한 수질측정망 자료로부터 지수를 산정하는데, 이렇게 수질을 제외한 수질측정망 자료로부터 산정된 지수를 잠재수질지수 또는 잠재수질지수로 정의하였다. 잠재수질지수는 기존의 수질관련지수와 유사한 형태 및 범위를 갖지만, 산정방법은 수질이 아닌 유역 및 저수지 특성자료로부터 인공지능기법을 이용해 도출된 지수산정방법을 이용해 산정된다. 기존의 수질관련 지수로는 수질등급, 종합수질지수, 부영양화지수, 영양상태 등 다양한 지수를 사용하였다.



<그림 5-2> 농업용저수지 잠재수질지수 개발 과정 개념도

잠재수질지수 개발을 위해 이용할 수 있는 인공지능기법으로는 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN), 패턴인식기법(pattern recognition), 유전자 프로그래밍(Genetic Programming, GP)이 있다. 인공신경망은 인간 두뇌의 구조와 기능을 모방하여 정보를 처리하는 기법으로 기존의 수질지수와 유사한 지수 산정이 가능한 방법이지만, 학습과정을 통해 지수를 산정할 수 있는 함수식 또는 규칙을 도출하지 못한다. 패턴인식기법은 물리적 객체 혹은 사건에 이미 정해진 몇 가지 카테고리 중의 하나로 할당하는 기법으로 카테고리가 수십 개 이내의 범위에서는 주어진 조건에 대해 카테고리를 잘 분류하는 장점이 있으나, 카테

고리가 너무 많을 경우 분류에 어려움이 있다. 유전자 프로그래밍기법은 학습 과정을 통해 함수식이 도출되어 지수산정이 용이한 반면에, 학습을 위한 자료가 부족할 경우 정확도가 크게 저하된다. 또한 패턴인식기법과 달리 유전자 프로그래밍기법은 지수가 반듯이 연속적인 숫자로 이루어져야 한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 잠재수질지수 개발을 위한 인공지능기법으로 패턴인식기법을 선택하였으며, 패턴인식기법을 적용할 수 있는 프로그램을 Matlab기반으로 개발하였다.

(표 5-1) 적용 가능한 인공지능 기법

인공지능기법 종류	장점	단점
①인공신경망 (Artificial Neural Network)	기존의 수질지수와 유사한 지수 산정 가능	지수를 산정할 수 있는 식 및 규칙을 알 수 없음
②패턴인식기법 (pattern recognition)	수십 개 이내의 패턴으로 분류됨	등급의 수가 너무 많을 경우 분류에 어려움 있음
③유전자 프로그래밍 (Genetic Programming)	학습과정을 통해 식이 도출되어 지수산정 용이	학습을 위한 자료가 부족할 경우 정확도 저하

3. 잠재수질지수 개발을 위한 패턴인식 프로그램 개발 및 검증

가. 인공지능기법을 이용한 패턴인식 프로그램 개발

(1) 개요

ECM은 Evolving Clustering Method의 약자로 동적으로 군집(cluster)의 수를 추적하기 위한 최적화 과정이나 각각의 데이터의 중심을 찾을 필요 없고 온라인(on-line) 방식으로 사용될 수 있는 거리기반의 단일패스(one pass) 군집분류 알고리즘이다. 또한 ECM은 오프라인(off-line)으로도 사용될 수 있는데, 이 경우 ECM은 최소값을 얻기 위한 목적함수를 만들기 위해 최적화 과정(최소화 제약)을 적용한다. ECM은 ‘진화하는 연결주의자 시스템(Evolving Connectionist Systems)’ 함수들의 집합으로, GUI는 MATLAB 수치계산 환경에서 실행된다.

(2) ECM 함수를 이용한 군집분류 데이터 셋 (ecm)

ecm은 다음의 명령어로 불러올 수 있다 :

```
[result] = ecm(dataset, parameters);
```

여기서, dataset은 각각의 행에는 데이터가 있는 행렬(matrix)형태이고, parameters는 군집분류 매개 변수들을 세팅하기 위한 구조이다. 이 구조는 다음과 같이 2개의 필드를 갖는다.

parameters.dthr : 거리 한계 값(초기값: 0.1).

parameters.epochs : 오프라인 모드를 위한 최적화 과정의 epochs의 수, 만약 0이면 온라인 군집분류를 실행함(초기 값 : 0).

군집분류 결과(*result*)는 여러 개의 필드를 갖는 구조이다.

result.Cent : 군집의 중심

result.Obj : 목적 값

result.MaxD : 최대 거리

(3) ECM함수를 이용한 그래프 그리기(ecmp)

ecm을 실행하여 결과 구조(structure)가 생성된 후 ecmp 함수는 군집분류 결과를 그래프로 그리기 위해 사용될 수 있다. 이 함수는 다음과 같이 불러올 수 있다.

```
ecmp = (result, p);
```

여기서, *p*는 숫자 : 1~4를 입력할 경우 원 데이터의 샘플과 군집 중심을 그릴 수 있고, 5~8을 입력할 경우 PCA를 그릴 수 있다. 2개의 매개 변수 *XData*와 *YData*는 그래프를 그리기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어

result.XData = 1 : 첫 번째 열 데이터가 x축으로 사용되는 것을 의미함

result.YData = 2 : 두 번째 열 데이터가 y축으로 사용되는 것을 의미함

(4) ECM함수의 예

예 1

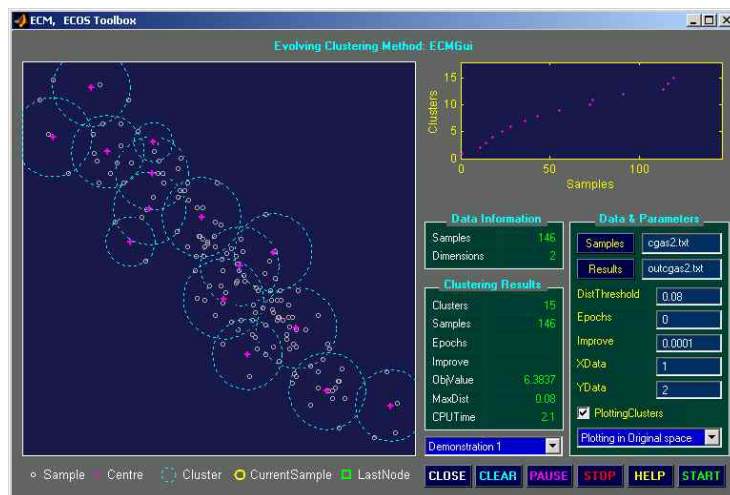
step 1 :	%데이터 로딩
<code>load cgas2.txt</code>	
setp 2 :	%군집분류를 위해 <code>ecm</code> 불러오기
<code>[res] = ecm(cgas2);</code>	%초기 매개변수를 이용한 ECM군집분류
setp 3 :	%그래프 그리기 위해 <code>ecmp</code> 불러오기
<code>ecmp(res);</code>	%결과 그래프 그리기

예 2

step 1 :	%데이터 로딩
<code>load wat2.txt</code>	
setp 2 :	%매개변수 세팅
<code>parm.dthr = 0.15;</code>	
<code>parm.epochs = 3;</code>	
setp 3 :	%군집분류를 위해 <code>ecm</code> 불러오기
<code>[res] = ecm(wat2,parm);</code>	
setp 4 :	%그래프 그리기 위해 <code>ecmp</code> 불러오기
<code>ecmp(res,3);</code>	

(5) ECM GUI 사용하기 : `ecmgui`

ECM GUI는 다음 그림과 같으며, `ecmgui`를 입력하여 실행할 수 있다.



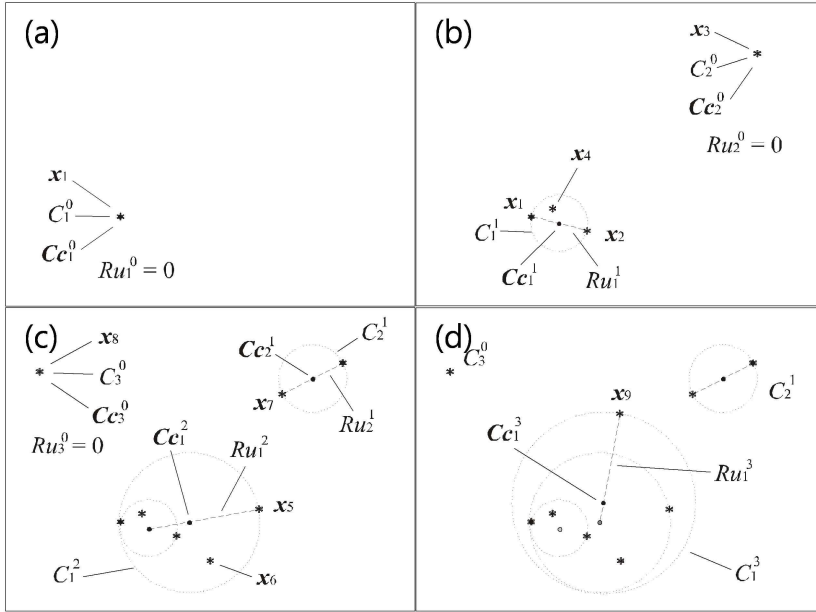
<그림 5-3> ECM GUI 실행화면

- data & parameters 영역에 있는 samples 버튼을 클릭하여 입력파일을 선택하거나 직접 파일명을 입력한다. 데이터 셋은 반드시 ECM함수(*ecm*)에서 사용되고 있는 데이터 셋과 동일한 구조로 이루어져 있어야 한다.
- 만약 결과 파일을 원한다면, Result버튼을 클릭하여 결과파일을 선택하거나 버튼 옆에 직접 파일명을 입력한다. 결과 파일에는 군집의 중심과 반경이 저장된다. 결과 파일에서 각각의 행은 군집 중심 벡터와 반경을 의미한다.
- Data & Parameters영역에 있는 매개 변수 값을 초기 값을 그대로 이용하거나 수정하여 입력한다.
- 군집분류를 시작하기 위해 Start 버튼을 클릭하고, 군집분류 정보와 결과는 값과 그래프로 동시에 화면에 나타난다.

(6) 온라인 진화적 군집분류방법의 기술적 배경

진화적 군집분류 방법(ECM)은 입력 데이터의 동적 군집분류를 위해 단일 패스(one pass) 알고리즘을 사용하기 때문에 빠르다. ECM은 거리기반의 군집분류 방법으로 군집의 중심이 온라인 모드에서 진화되는 노드형태로 나타난다. 각각의 군집의 최대거리(*MaxDist*, 군집중심과 군집 내 특정 점 사이의 최대거리)는 한계 값(*Dthr*)보다 작으며, 군집의 수를 추정하는데 영향을 미치는 매개 변수이다.

군집분류 과정에서 예제 데이터는 입력된 데이터를 이용하고 이러한 과정은 비어있는 군집 세트에서 출발한다. 새로운 군집이 생성될 때 군집의 중심(*Cc*)이 놓이고 군집의 반경(*Ru*)는 0으로 초기화 된다. 지속적으로 더 많은 예가 생성되면서 몇몇 이미 생성된 군집은 변경된 중심과 반경 값을 이용해 갱신된다. 어떤 군집이 갱신되고 어떻게 변하는지는 현재 데이터 예의 위치에 따라 달라진다. 군집은 군집반경(*Ru*)이 한계 값(*Dthr*)보다 크거나 같으면 갱신되지 않는다. 2차원 공간에서 간단한 ECM 군집분류의 절차는 <그림 5-4>와 같다.



x_i : example, Cc_j^k : cluster center, \bigcirc : C_j^k : cluster, Ru_j^k : cluster radius

<그림 5-4> ECM을 이용한 간단한 군집분류 과정

(표 5-2) ECM 적용과정 설명

단계	설명
(a)	새로운 군집 C_1^0 을 생성하기 위한 예제 x_1
(b)	x_2 : 군집 갱신 $C_1^0 \rightarrow C_1^1$ x_3 : 새로운 군집생성 C_2^0 x_4 : 아무것도 수행하지 않음
(c)	x_5 : 군집 갱신 $C_1^1 \rightarrow C_1^2$ x_6 : 아무것도 수행하지 않음 x_7 : 군집 갱신 $C_2^0 \rightarrow C_2^1$ x_8 : 새로운 군집생성 C_3^0
(d)	x_9 : 군집 갱신 $C_1^2 \rightarrow C_1^3$

○ 0단계 : 입력자료로부터 첫 번째 예를 단순히 이용해서 첫 번째 군집의 중심 Cc_1 , 초기에 세팅 된 군집의 반경 Ru_1 값 0을 이용해 첫 번째 군집 C_1 을 생성한다<그림 5-4(a)>.

- 1단계 : 입력 데이터의 모든 예가 나타났다면, 군집분류 과정은 종료된다. 그렇지 않으면, 현재 입력 예 x_i 는 이용되고, 이번 예와 모든 n 이미 생성된 군집 중심 Cc_j 사이의 일반화된 기하학적 거리(*normalized Euclidean distances* $d(i,j)$)가 다음과 같이 계산된다.

$$d(i,j) = \| x_i - Cc_j \|, j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{식5-1})$$

이번 연구에서 2개의 q 요소 벡터 x 와 y 사이의 거리 $\| x - y \|$ 는 다음과 같이 정의된 일반화된 기하학적 거리를 의미한다.

$$\| x - y \| = \left(\sum_{i=1}^q |x_i - y_i|^2 \right)^{1/2} / q^{1/2} \quad (\text{식5-2})$$

여기서 $x, y \in R^q$.

- 2단계 : 만약 중심이 Cc_m , 군집 반경 Ru_m , Cc_m 과 예 x_i 사이의 거리값 $d(i,m)$ 을 갖는 군집 C_m 이 존재한다면, 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$d(i,m) = \min d(i,j) = \min(\| x_i - Cc_j \|) \quad (\text{식5-3})$$

여기서, $d(i,m) \leq Ru_m, j = 1, 2, \dots, n$

현재의 예 x_i 는 군집 C_m 에 속하는 것으로 여겨진다. 이 경우, 새로운 군집은 생성되지도 않고 기존에 존재하던 군집도 갱신되지 않는다(<그림 5-4>의 데이터 벡터 x_4 와 x_6). 이 알고리즘은 그리고 나서 다시 1단계로 되돌아간다.

- 3단계 : 모든 n 개의 존재하는 군집들로부터 다음의 값을 계산하는 과정을 통해 중심 Cc_a , 반경 Ru_a , 거리값 $d(i,a)$ 를 갖는 군집 C_a 찾고

$$S_{ij} = s(i,j) = d(i,j) + Ru_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{식5-4})$$

그리고 최소값 $s(i,a)$ 를 갖는 군집 C_a 를 선택한다.

$$S_{ia} = s(i,a) = d(i,a) = Ru_a = \min s(i,j), j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{식5-5})$$

- 4단계 : 만약 $S_{ja} > 2Dthr$ 이면, 예 x_i 는 기존에 존재하는 어떠한 군집에도 소속되지 않는다. 새로운 군집이 0단계에서 설명한 방법과 동일하게(<그림 5-4>의 입력 데이터 벡터 x_3 와 x_8) 생성된다. 그리고 알고리즘은 1단계로 되돌아간다.
- 5단계 : 만약 $S_{ja} < 2Dthr$ 이면, 중심 C_a 의 이동, 반경 Ru_a 의 증가를 통해 군집 C_a 가 갱신된다. 갱신된 Ru_a^{new} 는 $S_{ja}/2$ 와 동일하게 세팅되고, 새로운 중심 C_a^{new} 는 입력 벡터 x_i 와 오래된 군집 중심 C_a 의 연결선 위에 놓여진다. 새로운 중심 C_a^{new} 로부터 점 x_i 까지 거리는 Ru_a^{new} (<그림 5-4>의 입력 데이터 점 x_2, x_5, x_7, x_9)와 동일해진다. 그리고 알고리즘은 1단계로 되돌아간다.

이와 같은 방법은 비록 이 알고리즘이 이전 예의 특정 정보를 유지하지 못하더라도 특정 군집의 중심과 이 군집에 소속되었지만 가장 먼 예사이의 최대 거리는 한계값 $Dthr$ 이내를 유지한다.

(7) ECMc - 2개의 나선형 문제에서 교사 분류를 위한 ECM의 확장

일반적으로 ECM은 비교사(unsupervised)방식으로 실행된다. 하지만, 특별한 경우에는 교사(supervised)분류자로 확장될 수 있다. 교사 분류 임무는 q 부분집합에 속하는 데이터 셋 $\{x_i\} = \{[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}]\}, i = 1, 2, \dots, l$ 을 학습시켜 분류사(classifier)를 설정하는 것이라고 가정한다.

이 아이디어는 n_c 군집 중심을 찾기 위한 모든 클래스 부분집합에 ECMc를 적용하는 것이다.

$$n_c = \sum_{k=1}^q m_k, \text{ 여기서 } m_k \text{는 } k\text{번째 부분집합의 노드 번호이다.}$$

모든 입력 데이터 벡터 $x = [x_1, x_2, \dots, x_p]$ 를 위해 분류사(classifier)는 n_c 노

드로부터 하나의 노드 Cc_k 를 찾는다면, 이 입력 데이터 x 는 이 부분집합(클래스)에 속한다. 여기서 n_c 노드는 k 번째 부분집합에 놓이고 입력 공간에서 x 까지의 최소거리를 갖는다.

2개 나선형 문제는 주어진 밀도 하에서 데이터 점을 생성하는 잘 알려진 벤치마크 임무이다. 밀도1에서 생성된 학습 데이터 셋은 각각의 나선에 대해 97개 데이터를 갖은 194개 데이터로 구성된다. 밀도4에서 생성된 테스트 데이터 셋은 각각의 나선에 대해 385개 데이터를 갖는 770개의 데이터로 구성된다. 나선을 생성하기 위해 사용된 식은 아래와 같으며, 학습 데이터는 <그림 5-5>와 같다.

$$\begin{cases} \gamma = (\theta + \pi/2)/\pi \\ \theta = k\pi/16, k = 1, 2, \dots, 96 \end{cases} \quad (\text{밀도1, 학습용 데이터}) \quad (\text{식5-6})$$

$$\begin{cases} \gamma = (\theta + \pi/2)/\pi \\ \theta = k\pi/64, k = 1, 2, \dots, 384 \end{cases} \quad (\text{밀도4, 테스트용 데이터}) \quad (\text{식5-7})$$

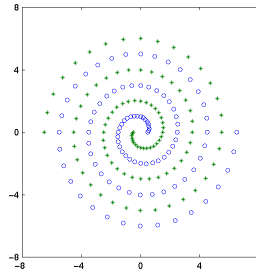
$$\text{나선1} : \begin{cases} x = \gamma \cos(\theta) \\ y = \gamma \sin(\theta) \end{cases} \quad (\text{식5-8})$$

$$\text{나선2} : \begin{cases} x = -\gamma \cos(\theta) \\ y = -\gamma \sin(\theta) \end{cases} \quad (\text{식5-9})$$

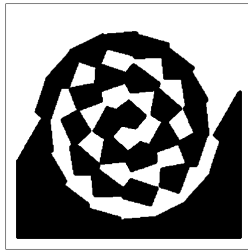
ECMc 분류의 2가지 케이스의 매개변수와 결과는 다음과 같으며, <그림 5-5>의 (b)와 (c)는 ECMc의 2가지 케이스를 위한 결정 영역을 보여준다.

(표 5-3) 2가지 케이스에 대한 ECMc 매개변수 및 결과

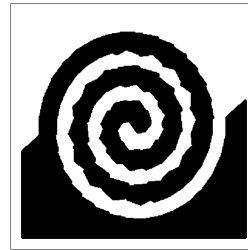
Case 1	매개변수	Sthr	0.955
	결과	노드 수	64
		학습용 분류율	100 %
		테스트용 분류율	98.4 %
Case 2	매개변수	Sthr	0.98
	결과	노드 수	124
		학습용 분류율	100 %
		테스트용 분류율	100 %



(a) 2개 나선문제의 학습용 데이터



(b) ECMc의 결정 영역(case 1)



(c) ECMc의 결정 영역(case 2)

<그림 5-5> 2가지 나선문제 : ECMc의 학습용 데이터와 결정 영역

나. 개발된 ECM 검증

(1) ECM 검증 방법

개발된 ECM이 교사(supervised) 학습방법으로 군집을 잘 분류하는지 검증하기 위해 2010년 수질측정망의 수질결과와 이미 분류된 수질등급을 이용해 ECM을 학습시킨 후 저수지의 수질농도만을 주어질 경우 정상적으로 수질등급을 분류하는지 검증을 해보았다.

검증에 이용한 수질자료는 2010년 825개 저수지 및 담수호에서 수집한 자료 중 담수호와 일부 저수지의 결과를 제외한 812개 저수지의 연평균 COD, T-N, T-P의 농도와 COD기준 수질등급을 이용하였다. 812개 저수지의 연평균 COD, T-N, T-P 및 COD기준 수질등급을 excel로 정리한 후 ECM의 입력자료로 활용하였다.

ECM을 이용해 812개 저수지의 COD, T-N, T-P 및 COD기준 수질등급을 입력하여 학습시킨 후 COD, T-N, T-P만을 이용해 COD기준 수질등급을 추정하였다.

(2) ECM 검증 결과

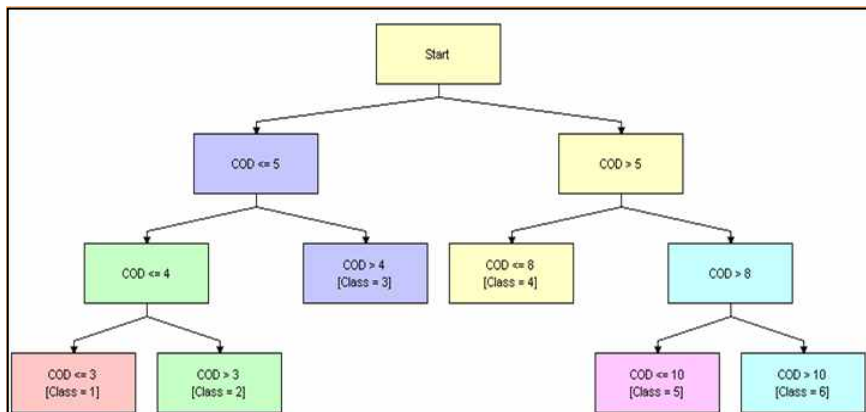
812개 저수지에 대해 ECM을 이용해 COD, T-N, T-P로부터 수질등급을 추정
한 결과는 <그림 5-6>과 같다.

Confusion Matrix For: Class
(None of the test rows were skipped)

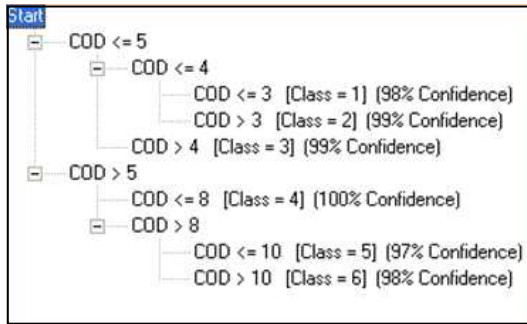
		ACTUAL						Prediction Totals	Prediction Error%
		1	2	3	4	5	6		
PREDICTIO	1	62	0	0	0	0	0	62	0.00%
	2	0	162	0	0	0	0	162	0.00%
	3	0	0	169	0	0	0	169	0.00%
	4	0	0	0	302	0	0	302	0.00%
	5	0	0	0	0	54	0	54	0.00%
	6	0	0	0	0	0	63	63	0.00%
Actual Totals		62	162	169	302	54	63	812	0.00%
Actual Error%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

<그림 5-6> ECM을 이용한 수질등급 추정결과 검증

812개 저수지의 COD기준 수질등급은 Ib등급이 62개소, II등급이 162개소, III
등급이 169개소, IV등급이 302개소, V등급이 54개소, VI등급이 63개소였으며,
ECM을 이용해 COD기준 수질등급을 추정한 결과도 <그림 5-6>과 같이 동일한
개소수를 나타내었다. 또한 실제 수질등급과 추정된 수질등급이 동일한지를
<그림 5-6>과 같이 매트릭스로 표현한 결과 정확히 일치하였으며, 오차는 0이
다. 또한 ECM은 학습을 통해 군집만 분류하는 것이 아니라, 군집을 분류했던
규칙을 찾아준다. 규칙은 <그림 5-7>과 같은 순서도와 <그림 5-8>과 같은
fuzzy rule형태로 제공한다.



<그림 5-7> ECM을 이용해 찾아낸 분류 규칙



<그림 5-8> ECM을 이용해 도출한 fuzzy rule

<그림 5-8>과 같이 ECM을 이용해 찾아낸 fuzzy rule를 다시 정리하면 (표 5-4)와 같으며, 실제 COD를 기준으로 한 호소 수질등급 기준과 일치하였다. 그러나 Ia등급에 대해서는 찾아내지 못했는데, 그 원인은 주어진 812개 저수지에 Ia에 해당되는 저수지가 없기 때문에 Ia를 분류하기 위한 기준 또한 찾아내지 못했다. 즉, ECM이 COD, T-N, T-P와 수질등급만을 주어진 상태에서 수질등급을 분류한 규칙을 정확히 찾아 낼 수 있음을 알 수 있었다.

(표 5-4) ECM을 이용해 도출한 fuzzy rule

기준	등급
COD <= 3	1등급
3<COD<=4	2등급
4<COD<=5	3등급
5<COD<=8	4등급
8<COD<=10	5등급
10<COD	6등급

이상에서와 같이 본 연구에서 개발한 ECM은 저수지의 COD, T-N, T-P농도 및 COD기준 수질등급을 이용해 교사학습을 한 후 저수지의 COD, T-N, T-P농도만 주어질 경우 정확히 수질등급을 추정하였고, 또한 수질등급을 분류했던 규칙도 정확히 도출해 주었다. 그러므로 ECM을 이용해 농업용저수지 수질측정망의 유역 및 저수지 특성자료와 저수지 수질로부터 산정한 기존의 수질관련 지수 사이의 규칙을 교사학습과정을 통해 정확히 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

2절 농업용저수지 수질지수 개발

1. 농업용저수지 수질지수 형태 검토

국내 호소의 수질을 평가하기 위해 많이 사용되는 지수는 (표 5-5)와 같다. 호소수질등급은 국가수질관리의 목표이며, 배출허용기준 등 수질오염에 대한 각종 규제기준의 근거가 되는 지수로 환경정책기본법에 명시된 지수이다. 호소수질등급은 Ia부터 VI까지 총 7단계로 구성되어 있는 단일항목지표(수)이다. 9개의 수질항목(pH, COD, SS, DO, T-P, T-N, Chl-a, 총대장균군, 분원성대장균군)별로 별도의 분류기준이 있어 분류기준별 서로 다른 수질등급으로 판정된다.

(표 5-5) 국내 적용 중인 수질지수

수질지수	등급	특징
호소수질등급	7단계 (Ia~VI)	<ul style="list-style-type: none"> ·국내 호소에 적용되고 있는 단일항목지표 ·9개의 수질지표(항목)별로 별도의 분류기준 ·수질지표(항목)별로 판정된 수질등급이 서로 달라 저수지 수질관리에 어려움 ·농업용저수지는 주로 COD기준 수질등급을 적용하여 관리 ·단일항목지표로 종합적인 저수지 수질평가 어려움
Vollenweider 영양상태	5단계 (극빈영양~부영양)	<ul style="list-style-type: none"> ·T-N과 T-P의 농도를 기준으로 등급 산정됨 ·81%가 중영양과 중부영양으로 분류되어 변별력 부족
TSI	100단계 (0~100)	<ul style="list-style-type: none"> ·SD, TP, Chl-a농도를 기준으로 별도의 지수 산정 후 산술평균하여 통합된 지수 산정 ·1977년 개발이후 세계 여러 나라에서 적용 ·수환경이 크게 달라 우리나라에 직접 적용하기엔 한계
LQI (TSI _{k0})	100단계 (0~100)	<ul style="list-style-type: none"> ·우리나라 호소에 적합하도록 새로 개발 중인 지수 ·COD, TP, Chl-a농도 별로 지수 산정 후 항목별 가중치를 적용하여 통합지수 산정 ·여러 수질항목이 반영된 종합수질지수
K-WQI (K-CWQI)	100단계 (100~0)	<ul style="list-style-type: none"> ·델파이조사방법으로 개발된 종합수질지수 ·수질항목별로 별도의 지수를 산정할 수 있는 부지수합수를 개발하였으며, 수질항목별 가중치를 적용하여 합한 값을 K-WQI로 함 ·K-WQI는 10개 항목, K-CWQI는 8개 수질항목을 사용 ·다른 수질지수와 달리 지수가 높을수록 수질 양호

호소수질등급은 수질항목별로 수질등급이 서로 달라 호소의 수질관리에 어려움이 있으며, 농업용저수지는 주로 COD기준 수질등급을 적용하여 저수지의 수질을 관리하고 있다. 호소수질등급은 단일항목지표로 저수지의 종합적인 수질상태를 평가하는데 한계가 있다.

Vollenweider영양상태는 (vy 5-6)과 같이 총인과 무기질소의 농도에 따라 호소의 영양상태를 극빈영양, 빈중영양, 중영양, 중부영양, 부영양의 5단계로 분류한다. Vollenweider영양상태를 국내 농업용저수지 수질측정망 대상저수지로 적용할 경우 약 81%가 중영양과 중부영양으로 분류되어 저수지별 수질평가를 위한 변별력이 부족한 문제점이 있다.

(표 5-6) Vollenweider의 영양상태 분류

영양상태	총인(mg/L)	무기질소(mg/L)
극빈영양	<0.005	<0.2
빈중영양	0.005-0.01	0.2-0.4
중영양	0.01-0.03	0.3-0.65
중부영양	0.03-0.1	0.5-1.5
부영양	>0.1	>1.5

Carlson(1977)은 투명도(Secchi Disk, SD)를 기본으로 적용하여, 여기에 투명도(SD)와 Chl-a와의 상관관계, Chl-a와 TP와의 상관관계를 연결지어 SD, Chl, TP를 사용하여 부영양화도를 정량적으로 나타낼 수 있는 부영양화도지수를 개발하였다. 호소의 수질상태를 판정하기 위해서 세 가지 TSI의 산술평균값을 사용한다.

LQI는 김범철(2008)에 의해 개발된 지수로 약 500여개 우리나라 호소의 실측 COD, TP, Chl-a농도의 분포를 바탕으로 0~100 사이의 값을 갖는다. LQI는 3가지 수질항목별로 별도의 지수(LQI(COD), LQI(TP), LQI(Chl-a))가 있으며, 이들을 종합한 LQI는 LQI(COD)에 50%의 가중치를 주고, LQI(TP)와 LQI(Chla)에는 각각 25%을 가중치를 주어 합하면 된다.

K-WQI는 최지용(1996)에 의해 전문가에 의한 델파이 조사방법으로 개발된 종합수질지수이다. 10개의 수질항목별로 별도의 지수를 산정할 수 있는 부지수 함수가 있으며, 수질항목별 가중치를 적용하여 합한 값이 K-WQI이다. 2008년에

K-WQI의 일부 문제를 보완한 K-CWQI를 개발하였으며, K-CWQI는 K-WQI와 달리 8개의 수질항목을 사용한다. K-WQI와 K-CWQI는 다른 지수와 달리 지수가 높을수록 수질이 양호한 상태를 의미한다.

농업용저수지의 수질상태를 평가하기 위해 호소수질등급과 같은 단일항목 지표보다는 TSI, LQI, K-WQI와 같은 종합수질지료가 더 적합할 것으로 판단된다.

2. 수질지수 개발방법 검토 및 적용가능성 분석

앞서 설명한 수질지수의 농업용저수지 적용가능성을 분석하기 위해 종합수질지수 형태의 TSI, LQI, K-WQI, K-CWQI에 대해 (표 5-7)과 같이 자세히 검토하였다.

(표 5-7) 종합수질지수 산정방법 분석

	TSI(1977)	LQI(2006~)	K-CWQI(2006)
지수 산정식	$TSI = \frac{TSI_{SD} + TSI_{Chla} + TSI_{TP}}{3}$	$LQI = 0.5LQI_{COD} + 0.25LQI_{TP} + 0.25LQI_{Chla}$	$K-CWQI = \sum_{i=1}^8 I_i \times w_i$
부지수 합수	$TSI_{SD} = 10 \times \left(6 - \frac{\ln(SD)}{\ln 2} \right)$ $TSI_{TP} = 10 \times \left(6 - \frac{\ln(48/TP)}{\ln 2} \right)$ $TSI_{Chla} = 10 \times \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln(Chla)}{\ln 2} \right)$	$LQI_{COD} = 5.8 + 64.4 \log(COD)$ $LQI_{Chla} = 12.2 + 38.6 \log(Chla)$ $LQI_{TP} = 114.6 + 43.3 \log(TP)$	<p><i>pH</i></p> $< 11 : -3.6797pH^2 + 48.115pH - 53.83$ $> 11 : 280.92e^{-0.2027pH}$ <p><i>COD</i></p> $< 2 : -5BOD + 100$ $> 2 : -30.648 \ln COD + 112.27$ $SS : 98.518e^{-0.030255SS}$ $DO : 31.655 \ln DO + 21.942$ $TP : -20.034 \ln TP + 0.3435$ $TN : -24.264 \ln TN + 49.697$ <p><i>Chla</i></p> $< 70 : -19.375 \ln Chla + 120.52$ $> 70 : -56.073 \ln Chla + 278.23$ <p><i>FC</i></p> $< 1000 : -6.942 \ln FC + 107.59$ $> 1000 : -36.304 \ln FC + 310.72$
수질 항목	SD, TP, Chl-a	COD, TP, Chl-a	pH, COD, SS, DO, TP, TN, Chl-a, F-Coli
지수 범위	0~100	0~100	100~0
대상	호소	호소	하천, 호소 별도
개발 방법	SD기준	농도분포를 바탕으로 27percentile을 40, 75percentile을 60으로 지정	전문가에 의한 델파이조사로부터 수질항목별 부지수 합수 및 가중치 결정

가. TSI(Trophic State Index, 1977)

부영양호와 빈영양호를 나누는 기준들이 다양하고 서로 다르기 때문에 어떤 호수를 부영양호로 판정하여야 할지 빈영양호로 판정하여야 할지를 결정하기 어렵다. 따라서 부영양화를 비교하기 위해서는 객관적인 지수로 나타내는 것이 필요하다. 이러한 취지에서 Carlson(1977)은 투명도를 기본으로 적용하며, 여기에 투명도(SD)와 Chl-a 농도(Chl)와의 상관관계, Chl과 TP와의 상관관계를 연결지어 SD, Chl, TP를 사용하여 부영양화도를 정량적으로 나타낼 수 있는 부영양화도지수를 개발하였다.

수중에 무기부유물이 적은 호수에서는 부유물의 대부분이 식물플랑크톤이며 투명도는 식물플랑크톤의 현존량에 의해 좌우된다는 전제하에 투명도를 기본으로 부영양화도를 평가하고자하였다. 투명도가 1/2로 감소할 때 식물플랑크톤 현존량은 약2배 증가한다. Carlson은 지금까지 보고된 최대 투명도인 41m보다 크고 이에 가장 가까운 정수의 멱수를 가진 2의 배수 64m (= 26)를 부영양화도 지수 0으로 정하였고 투명도가 1/2로 감소할 때마다 지수가 10씩 증가하도록 하였다. 따라서 투명도가 2m 일 때 TSI는 50으로 정의되고 투명도가 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4m로 감소함에 따라 부영양화도 지수는 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 으로 증가한다. 즉 다음과 같은 투명도를 기본으로 하는 부영양화도 지수 TSI(SD)를 제창하였다.

$$TSI(SD) = 10 * \left(6 - \frac{\ln(SD)}{\ln 2} \right) \quad (\text{식5-10})$$

여기에 Chl과 TP의 상관관계를 첨가하여 TSI(Chl)과 TSI(TP)도 제안하였다. 미국의 많은 호수에서 조사된 투명도와 Chl-a농도와의 경험적인 관계식

$$SD = 7.69(Chl. a)^{-0.68} \quad \text{또는} \quad \ln(SD) = 2.04 - 0.68 \ln(Chl. a)$$

을 (식5-10)에 대입하여 TSI를 SD의 함수에서 Chl.a의 함수로 변형시켜 TSI(Chl)을 만들었다.

$$TSI(Chl.a) = 10^* \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln(Chl.a)}{\ln 2} \right) \quad (\text{식5-11})$$

여기에 이번에는 Chl-a 농도와 TP농도사이의 경험적인 관계식

$$\ln(Chl.a) = 1.449 \ln(TP) - 2.442 \quad (\text{식5-12})$$

를 (식5-11)에 대입하여 TSI를 TP의 함수로 변형시켰다.

$$TSI(TP) = 10^* \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right) \quad (\text{식5-13})$$

그 결과 SD, Chl, TP의 세 가지 변수를 사용하는 부영양화도지수를 제창하였으며 일반적으로 이 세 가지 TSI의 평균치를 제시한다. 부영양호와 빈영양호의 경계는 TSI 50-55 에 해당한다.

우리나라의 주요 호수를 대상으로 투명도와 Chl-a, TP의 상관관계를 분석한 결과는 외국의 경우와 유사하다. 그러나 일부 호수에서는 무기부유물질(부유토사)로 인하여 투명도가 크게 저하되는 예도 있으며 체류시간이 짧은 호수에서는 여름 홍수기에 TP에 비하여 SD와 Chl-a 농도가 낮은 것을 볼 수 있다. 투명도와 Chl-a, TP의 관계는 다음과 같은 회귀식으로 나타났다.

$$SD = 4.90(Chl.a)^{-0.45} \quad (r^2 = 0.62) \quad (\text{식5-14})$$

$$Chl.a = 0.26 TP^{1.01} \quad (r^2 = 0.62) \quad (\text{식5-15})$$

$$SD = 16.2 TP^{-0.65} \quad (r^2 = 0.77) \quad (\text{식5-16})$$

한편 유럽의 호수에서는 $SD = 9.33(Chl.a)^{-0.51}$ 의 관계식을 얻었다(OECD). Aizaki 등(1981)은 Chl-a 를 기본기준으로 하고 일본 호수에서의 상관관계식을 적용함으로써 수정된 지수를 제안하였다. 우리나라 호수의 지표 간 상관관계가 외국과 다르다면 우리나라의 상관관계를 적용하여 Aizaki 등이 일본의 호수에서 얻은 상관관계를 적용한 것과 같이 TSI를 한국의 지수로 수정할 수도 있다. 부영양화도지수의 중심이 되는 지표는 지수마다 다르며 지표간의 상관관계도 지역의 자연환경에 따라 다르다.

나. LQI(Lake Water Quality Index)

우리나라 자연환경 특성을 고려하여 외부기원 유기물을 특성을 고려하여 COD, 내부생성 유기물로 식물플랑크톤의 현존량을 대신하는 Chl-a, 그리고 부영양화의 중요한 원인이 되는 인자 TP 세 가지를 호수 수질 평가 항목으로 선정하였다. 한국에 분포하는 500여개의 호수를 대상으로 계절적 변동의 median이 가지는 분포 확률을 조사하여 평가 항목에 대하여 25th percentile, 75th percentile을 산출하였다. 지수의 분산을 결정하기 위하여 25th percentile을 지수 40으로 75th percentile을 지수 60으로 정하였다. 이는 전국 500여개 호수 수질자료의 median이 지수 50을 가지게 되며 지수 40과 60사이에 우리나라 호수의 50%가 포함된다는 것을 의미한다. 각 지표항목의 분포를 log변환하여 선형화하고 각 부영양화지수와 농도의 관계식을 구하였다. 각 계산식은 다음과 같다.

$$\text{LQI (COD)} = 5.8 + 64.4 \log(\text{COD mg/L}) \quad (\text{식5-17})$$

$$\text{LQI (Chl.a)} = 12.2 + 38.6 \log(\text{Chl.a mg/m}^3) \quad (\text{식5-18})$$

$$\text{LQI (T-P)} = 114.6 + 43.3 \log(\text{T-P mg/L}) \quad (\text{식5-19})$$

위의 세 가지 LQI를 종합하여 나타낼 경우에는 외부기원과 내부기원에 각각 50 %의 가중치를 주어 평균 LQI를 계산한다. 내부생성유기물의 지표는 조류의 밀도지표인 Chl.a이며 TP는 조류의 밀도를 좌우하는 지표이므로 이 두 가지에 각각 25 %의 가중치를 주어 다음 계산식과 같이 계산하여 사용한다. T-P 항목 외에 투명도와 탁도도 보조자료로 사용할 수 있다. 조사 기관에 따라서 투명도를 측정하기도 하고 탁도를 측정하기도 하므로 사용가능한 지표를 선택하여 계산에 사용한다.

$$\text{평균 LQI} = 0.5 \text{LQI(COD)} + 0.25 \text{LQI(Chl.a)} + 0.25 \text{LQI(TP)} \quad (\text{식5-20})$$

이외에도 투명도와 탁도도 부영양화를 지표하는 보조 자료로서 사용할 수 있다. 조사 기관에 따라 투명도를 측정하기도 하고 탁도를 측정하기도 하므로 가용한 조사항목에 따라 다음 두 가지 지표 가운데에서 선택하여 사용할 수 있다.

$$LQI (SD) = 56 - 49.6 \log(SD \text{ m}) \quad (\text{식5-21})$$

$$LQI (TUR) = 29.7 + 28.1 \log(TUR \text{ NTU}) \quad (\text{식5-22})$$

LQI에 의한 호수의 수질 상태는 30이하는 빈영양, 50이하는 중영양, 70이하는 부영양, 그리고 70이상은 과부영양 상태로 평가한다. 한국에 분포하는 농업용 저수지 500 개와 중-대형 호수 자료 84개, 그리고 직접 현장에서 측정한 22개 호수자료에 대하여 LQI를 이용하여 한국 호수의 영양분포를 평가하였다. 그 결과, 56%가 빈-중영양상태, 44%가 부-과부영양상태로 평가되었다. 이는 한국 호수의 특징을 고려하여 개발된 평가 지표 LQI가 한국의 전반적인 호수의 영양상태를 평가하는데 적합하다는 것을 나타낸다.

다. K-CWQI

1996년에 개발된 K-WQI를 모태로, 기존 K-WQI가 지녔던 문제점과 한계를 보완하고, 10여 년간 변화한 국내 실정을 반영하여 새로 도입될 환경정책기본법 개정안 하에 실용화될 수 있도록 종합수질지표를 개발하였다. K-CWQI는 항목의 선정, 부지수 함수 작성, 항목별 가중치 설정, 항목의 종합화를 거쳐 개발되었다.

(1) 항목의 선정

항목 선정은 수질환경기준에 근거하여 하천·호소별, 각 수체의 하위항목, 농도에 대한 등급까지 수질환경기준 개정안의 틀 안에서 결정함으로써 향후 행정 적용시 혼선을 줄일 수 있도록 하였다. 호소의 경우 전문가 설문조사 결과를 바탕으로 96%의 전문가가 호소 항목으로 적합하다는 의견을 제시한 pH, COD, SS, DO, TP, TN, Chl-a, 분원성대장균군을 기준 항목으로 채택하고 있다.

(2) 부지수 함수 작성

전문가 설문을 통해 우리나라의 수질환경기준과 우리나라 국민의 점수에 대한 일반적 사고 수준을 참고로 하여 작성한 배점 구분표를 각 전문가에게 제시하여 검증은 검증은 받았다. 점수구분은 누구나 잘 이해할 수 있는 범위를 제

시하기 위해 60점 이상은 보통, 40점 이하는 나쁨으로 구분하였다. 또한 “매우나쁨”은 예외적으로 20~40점의 범위를 갖게 설정하여 아무리 수질이 나빠도 20점 미만으로는 떨어지지 않는 안정장치를 갖도록 하였다.

각 수질항목별 부지수함수를 결정하기 위해 선형식, semi-log식, log-log식을 부지수 함수의 기초식으로 하여 전문가들이 산정한 수질농도별 평균점수를 각 식에 접합시켰을 때 상관성이 가장 높은 함수를 선택하였다. 또한 기존에 개발된 K-WQI에서 부지수함수값은 일정 기준을 넘어서면 하한값 없이 바로 ‘0’으로 떨어져 종합수질지표 자체값을 ‘0’으로 만드는 문제가 있었다. K-CWQI는 이를 보완하여 각 항목의 부지수함수의 최소값을 ‘20’으로 고정하여 그 항목에서 수질이 아무리 낮더라도 최소한 20점의 점수는 확보할 수 있는 안전장치를 마련하였다. K-CWQI에서 사용되는 부지수함수는 다음과 같다.

(표 5-8) K-CWQI 부지수함수

항목	부지수함수	R ²
pH	$< 11 : M(pH) = -3.6797pH^2 + 48.115pH - 53.83$ $> 11 : M(pH) = 280.92e^{-0.2027pH}$	0.9993 0.9966
COD	$< 2 : M(COD) = -5BOD + 100$ $> 2 : M(COD) = -30.648\ln COD + 112.27$	1.0000 0.9937
SS	$M(SS) = 98.518e^{-0.0302SS}$	0.9954
DO	$M(DO) = 31.655\ln DO + 21.942$	0.9891
TP	$M(TP) = -20.034\ln TP + 0.3435$	0.9870
TN	$M(TN) = -24.264\ln TN + 49.697$	0.9932
Chl-a	$< 70 : M(chla) = -19.375\ln Chla + 120.52$ $> 70 : M(chla) = -56.073\ln Chla + 278.23$	0.9853 1.0000
분원성대장균군	$< 1000 : M(FC) = -6.942\ln FC + 107.59$ $> 1000 : M(FC) = -36.304\ln FC + 310.72$	0.9789 0.9999

(3) 항목별 가중치 설정

항목별 중요도를 정량화하기 위해 계층분석과정(AHP)를 이용하여 8개 항목 상호간의 중요도를 비교하여 설정하였다. 호소의 항목별 가중치는 다음과 같다.

(표 5-9) K-CWQI 항목별 평균 가중치

항목	pH	COD	SS	DO	TP	TN	Chl-a	FC
가중치	0.05	0.25	0.07	0.09	0.19	0.13	0.13	0.08

(4) 항목의 종합화

K-XWQI의 부지수 함수를 K-WQI와 동일한 감소형 지수로 선정하였으며, 가중된 곱의 형태(weighted product)를 종합화식으로 선택하였고, 구체적인 식은 다음과 같다.

$$K-CWQI = \prod_{i=1}^8 (I_i \times w_i) \quad (\text{식5-23})$$

여기서 I_i : 각 항목의 부지수함수 계산값

w_i : 2차에 걸친 설문결과 평균가중치

(5) K-CWQI 점수 구간별 특성

K-CWQI의 결과를 기존의 호소수질등급과 비교하고 각 점수 구간별 특성을 정리하면 다음과 같다.

(표 5-10) K-CWQI 점수 구간별 특성 및 용도

등급		K-CWQI	특성 및 용도
매우 좋음	Ia	100~90	-용존산소가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계 -간단한 정수처리 후 생활용수 이용 가능
좋음	Ib	89~80	-용존산소가 많은 편이며, 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계
약간 좋음	II	79~70	-약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계 -일반적 정수처리 후 생활용수 이용 가능 -수영용수 이용 가능
보통	III	69~60	-용존산소를 소모하는 오염물질이 보통수준에 달하는 일반 생태계 -고도의 정수처리 후 생활용수 이용 가능 -일반적 정수처리 후 공업용수 이용 가능
약간 나쁨	IV	59~50	-상당량의 용존산소를 소모하는 오염물질이 있어 나쁜 영향을 받는 생태계 -고도의 정수처리 후 공업용수 이용 가능 -농업용수 이용 가능 -낚시 가능
나쁨	V	49~40	-과량의 용존산소를 소모하는 오염물질이 있어 물고기가 드물게 관찰되는 빈곤한 생태계 -산책 등 국민의 일상생활에 불쾌감을 유발하지 않는 한계 -특수한 정수처리 후 공업용수 이용 가능
매우 나쁨	VI	39~20	-용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살 수 없음

국내 호소 수질평가에 이용되고 있는 3가지 수질지수(TSI, LQI(TSIko), K-CWQI(K-WQI)) 중 TSI는 농업용저수지 수질측정망 조사 항목으로 투명도(SD)가 포함되어 있지 않아 적용할 수 없으며, K-WQI는 DOs, NH₃-N, NO₃-N, TC(총대장균군)가 포함되어 있지 않고, K-CWQI는 FC(분원성대장균군)가 포함되어 있지 않아 적용할 수 없다. 반면에 LQI는 COD, T-P, Chl-a의 농도만을 요구하여 농업용저수지 수질측정망 조사자료 만으로 충분히 적용이 가능하다.

3. 농업용저수지 수질지수 개발

가. 농업용저수지 수질지수(LQIar) 개발

LQI 개발 방법이 명확하고 쉬워 농업용저수지 수질측정망 조사자료 만을 이용해 별도의 농업용저수지 수질지수를 개발할 수 있을 것으로 판단되어, 농업용저수지 수질을 평가하기 위한 별도의 농업용저수지 수질지수를 개발하였다.

지금까지 수집된 농업용저수지 수질조사 자료를 종합한 결과 1996년부터 2011년까지 총 7373개의 수질자료가 수집되었다. 연도별로 조사된 지점수가 차이가 발생하여, 수집된 기간별로 그룹을 정하여 각 그룹별로 확률분포를 비교하였다. 전체 기간(1996~2011) 동안 수집된 자료를 1그룹, 수질측정망이 지정되어 본격적으로 운영되었던 2001~2011 동안 수집된 자료를 2그룹, 측정지점수가 동일한 2001~2008 동안 수집된 자료를 3그룹, 가장 최근인 2011년에 수집된 자료를 4그룹으로 지정하여 각 그룹별 25 percentile과 75 percentile의 농도를 구하였다. 기존의 LQI와 비교하기 위해 LQI 개발에 사용되었던 25 percentile과 75 percentile도 구하였다. 각 그룹별 항목별 25 percentile과 75 percentile 농도는 (표 5-11)과 같다.

(표 5-11) 수질항목별 25th percentile과 75th percentile 농도

	기간	자료수	COD (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
25th percentile	1996~2011	7373	3.80	0.017	5.50
	2001~2011	6368	3.70	0.016	5.20
	2001~2008	3892	3.70	0.015	5.40
	2011	825	3.70	0.015	5.40
	LQI	500	3.73	0.020	5.38
75th percentile	1996~2011	7373	7.30	0.059	20.30
	2001~2011	6368	7.20	0.058	18.80
	2001~2008	3892	7.20	0.056	21.20
	2011	825	7.20	0.056	21.20
	LQI	500	7.23	0.060	20.38

(표 5-11)에서 일부 항목을 제외하고는 각 그룹별 25th percentile과 75th percentile 농도가 비슷한 범위의 값을 나타내었고, LQI와도 비슷한 범위를 나타냈다. 본 연구에서 농업용저수지 수질지수 개발에 농업용저수지 수질측정망이 운영되어 조사되기 시작했던 2001년부터 2011년까지 수집된 6,368개의 수질측정 자료를 이용하여 농업용저수지 수질지수를 개발하였다. LQI 지수 개발방법과 유사하게 2001년부터 2011년까지 실측된 연평균 COD, T-P, Chl-a 농도의 확률분포로부터 25th percentile에 해당되는 COD 3.70 mg/L, T-P 0.016 mg/L, Chl-a 5.20 mg/m³에서 지수 '40', 75th percentile에 해당되는 COD 7.20 mg/L, T-P 0.058 mg/L, Chl-a 18.80 mg/m³에서 지수 '60'이 되도록 하였다. 또한 낮은 농도에서 음의 값이 발생하는 문제를 해결하기 위해 2001년부터 2011년까지 실측된 연평균 COD, T-P, Chl-a의 농도 중 최저농도를 바탕으로 COD 1.0 mg/L, T-P 0.001 mg/L, Chl-a 0.4 mg/m³에서 지수가 '0'이 되도록 하였고, 실측된 최고농도를 바탕으로 COD 28.0 mg/L, T-P 1.000 mg/L, Chl-a 250 mg/m³에서 지수가 '100'이 되도록 하였다. 각 지표항목의 분포를 log변환하여 선형화하고 지수와 농도의 관계식을 구하였다. 각 계산식은 다음과 같다.

$$LQI_{ar}(\text{COD}) = 0.3769 + 69.096 \log(\text{COD mg/L}) \quad (\text{식5-17})$$

$$LQI_{ar}(\text{T-P}) = 100.39 + 33.413 \log(\text{T-P mg/L}) \quad (\text{식5-18})$$

$$LQI_{ar}(\text{Chl.a}) = 14.319 + 35.769 \log(\text{Chl-a mg/m}^3) \quad (\text{식5-19})$$

위의 세 가지 LQI_{ar} 를 종합하여 나타낼 경우에는 LQI와 동일하게 COD에 50%의 가중치를 주고, T-P와 Chl-a에 각각 25%의 가중치를 주어 다음 계산식과 같이 계산하여 사용한다.

$$LQI_{ar} = 0.50 LQI_{ar}(\text{COD}) + 0.25 LQI_{ar}(\text{T-P}) + 0.25 LQI_{ar}(\text{Chl-a}) \quad (\text{식5-20})$$

LQI와 LQI_{ar} 은 0부터 100까지 매우 넓은 범위의 지수값을 갖기 때문에 패턴 인식기법의 인공지능기법을 이용한 잠재수질지수 산정에 어려움이 있다. 그러므로 LQI와 LQI_{ar} 의 등급수를 1/10로 줄이기 위해 일단위에서 반올림하여 0, 10, 20, ..., 100으로 나타나도록 변경한 지수를 $LQI10$ 과 $LQI10_{ar}$ 로 하였다.

나. 개발된 농업용저수지 수질지수(LQI_{ar}) 적용성 평가

개발된 농업용저수지 수질지수(LQI_{ar})의 적용성을 평가하기 위해 부지수함수 도출에 이용한 COD, T-P, Chl-a의 최소, 최대, 25 percentile, 75 percentile 농도에 대한 LQI와 LQI_{ar}를 산정하였으며, 그 결과는 (표 5-12)와 같다. (표 5-12)에서 본 연구에서 개발한 농업용저수지 수질지수(LQI_{ar}) 당초 계획과 같이 최소, 최고 농도에서 각각 0과 100의 지수값을 나타내었고, 25 percentile과 75 percentile 농도에서 각각 40과 60의 지수값을 나타내었다. LQI 역시 25 percentile과 75 percentile에서 약간의 차이가 있기는 하지만, LQI_{ar}과 유사한 값을 나타내었다. 반면에 최저농도에서 COD, T-P, Chl-a의 LQI 값은 각각 6, -15, -3을 나타내었고, 최고농도에서는 각각 99, 115, 105를 나타내었다. 그러므로 농업용저수지 수질측정망 실측자료로부터 개발한 농업용저수지 수질지수(LQI_{ar})가 농업용저수지의 수질농도 분포를 잘 반영하여 지수가 산정되는 것으로 나타났다.

(표 5-12) 확률분포별 LQI와 LQI_{ar}

		COD	T-P	Chl-a
최소	농도 (mg/L, mg/m ³)	1.00	0.001	0.4
	LQI	6	-15	-3
	LQI _{ar}	0	0	0
25 percentile	농도 (mg/L, mg/m ³)	3.70	0.016	5.2
	LQI	42	37	40
	LQI _{ar}	40	40	40
75 percentile	농도 (mg/L, mg/m ³)	7.20	0.058	18.80
	LQI	61	61	61
	LQI _{ar}	60	59	60
최대	농도 (mg/L, mg/m ³)	28.0	1.000	250
	LQI	99	115	105
	LQI _{ar}	100	100	100

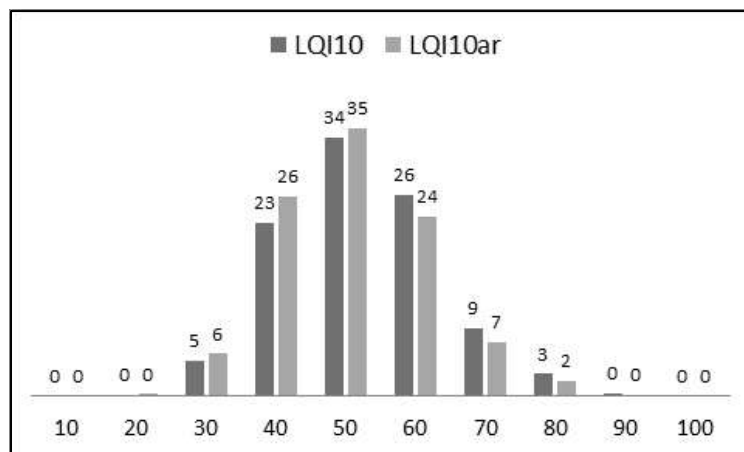
농업용저수지 수질지수를 기존의 호소 생활환경기준과 비교하기 위해 호소 생활환경기준의 등급별 COD, T-P, Chl-a 농도를 이용해 LQI, LQI_{ar}을 산정한 결

과는 (표 5-13)과 같다. 농업용저수지의 수질기준인 IV등급의 LQI와 LQI_{ar}은 각각 69와 66로 산정되었다. Ia와 Ib는 LQI와 LQI_{ar}이 동일한 지수값을 나타내는 반면, 등급이 낮아질수록 차이가 커져서 V등급에서는 LQI가 LQI_{ar}보다 약 4높은 지수값을 나타내었다. 그러므로 저농도와 고농도를 제외한 구간에서는 LQI와 LQI_{ar}이 비슷한 지수값을 나타내었다.

(표 5-13) 호소수질등급별 농업용저수지 수질지수

	Ia	Ib	II	III	IV	V	VI
COD, T-P, Chla 농도	<2 <0.01 <5	<3 <0.02 <9	<4 <0.03 <14	<5 <0.05 <20	<8 <0.1 <35	<10 <0.15 <70	>10 >0.15 >70
LQI	<31	<42	<50	<57	<69	<78	>78
LQI _{ar}	<31	<42	<49	<55	<66	<74	>74

2011년에 실측한 농업용저수지 825개소에 대해 LQI₁₀와 LQI_{10ar}을 산정한 결과 <그림 5-9>와 같은 분포를 나타내었다. LQI_{10ar}은 대부분 30~80사이 존재하였으며, LQI_{10ar} 50, 40, 60 순으로 많은 분포를 나타내었다.



<그림 5-9> LQI 및 LQI_{ar} 분포

LQI는 0부터 100사이의 값을 갖는 지수로 범위가 매우 넓어 10개 이하의 등급수를 갖도록 재분류하여 사용할 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 LQIar은 일단위에서 반올림하여 11개 등급으로 재분류한 LQI10ar로 사용할 수 있으며, 이를 다시 기존의 수질등급과 유사한 Ia(매우 좋음) ~ VI(매우나쁨)로 재분류할 수 있다. 또한 (표 5-14)와 같이 A(0~30), B(40), C(50), D(60), F(70~100)의 5단계로 분류하거나, 우수(0~30), 보통(40~50), 문제(60), 과락(70~100)의 4단계로 재분류할 수 있다. 마지막으로 영양상태를 나타내는 빈영양(0~30), 중영양(40~50), 부영양(60), 과영양(70~100)의 4단계로 재분류하여 사용할 수 있다.

(표 5-14) LQIar 재분류 및 2011년 측정망대상저수지 분포 비율

LQI _{ar}	LQI _{10ar}	수질등급	재분류				
			1안	2안	3안	4안	
0 ⋮ 4	0 (0%)	Ia	Ia (0%)	매우 좋음 (0%)	A (6%)	우수 (6%)	빈영양 (0%)
5 ⋮ 14	10 (0%)						
15 ⋮ 24	20 (0%)	Ib	Ib (6%)	중음 (6%)	A (6%)	우수 (6%)	빈영양 (0%)
25 ⋮ 34	30 (6%)						
35 ⋮ 44	40 (26%)	II	II (26%)	약간좋음 (26%)	B (26%)	보통 (61%)	중영양 (61%)
45 ⋮ 54	50 (35%)	III	III (35%)	약간보통 (35%)	C (35%)		
55 ⋮ 64	60 (24%)	IV	IV (24%)	약간나쁨 (24%)	D (24%)	문제 (24%)	부영양 (24%)
65 ⋮ 74	70 (7%)	V	V (7%)	나쁨 (7%)	D (24%)	문제 (24%)	부영양 (24%)
75 ⋮ 84	80 (2%)	VI	VI (2%)	매우나쁨 (2%)			
85 ⋮ 94	90 (0%)				F (9%)	과락 (9%)	과영양 (9%)
95 ⋮ 100	100 (0%)						

3절 잠재수질지수 개발

1. 잠재수질지수 개발을 위한 인자 검토 및 DB구축

가. 유역 및 저수지 제원

잠재수질지수 산정을 위해 이용 가능한 유역 및 저수지 제원 자료는 농업용 저수지 수질측정망조사를 통해 수집된 유역 및 저수지 제원자료 중 저수지 수질에 영향을 미칠 가능성이 있는 인자를 선택하였다. 선택된 유역 및 저수지 제원자료는 유역 및 저수지 제원과 저수지 수질과의 상관분석을 통해 상관성이 높다고 판단되는 인자인 유역면적(ha), 만수면적(ha), 유효저수량(천톤), 유효수심(m, 유효저수량/만수면적), 수해면적이다.

나. 오염부하량

농업용저수지 수질측정망 조사를 통해 매년 인구수, 축산 사육두수(한우, 젓소, 돼지), 산업체 방류량, 토지이용면적(논, 밭, 산림, 기타)을 수집한 후 발생원별 발생부하량을 산정하고 있다. 본 연구에서 오염부하량자료로 생활계, 축산계, 점원(생활계+축산계+산업계) 및 전체(점원+토지계)의 BOD, T-N, T-P발생부하량 자료를 이용하였다.

일반적으로 발생부하량보다 배출부하량이 저수지 수질에 더 직접적인 영향을 미치지만 다음과 같은 이유에 의해 발생부하량을 사용하였다. 1)수질측정망을 통해 발생부하량만 산정되고 있어 배출부하량을 이용할 수 없었다. 2)GIS기법을 이용해 산정한 저수지 유역 내 포함되는 리별 점유율과 리별로 산정된 배출부하량을 이용해 농업용저수지 유역의 배출부하량을 산정할 수는 있으나, 산정된 리별 배출부하량이 리별로 균일하게 분포한다고 가정하여 배출부하량에 리별 점유율을 곱하여 산정된 배출부하량은 저수지 하류에 큰 오염원이 있는 저수지는 발생부하량보다 더 큰 오류를 갖고 있어 사용할 수 없었다. 3)비록 2009년 배출부하량자료를 이용해 잠재수질지수를 개발하더라도 매년 수질측정망 대상저수지의 배출부하량자료가 갱신되지 않기 때문에 사용할 수 없는 문제가 있다.

다. 기상인자

비록 농업용저수지의 유역 및 저수지 특성인자가 동일하더라도 기상인자에 의해 매년 다른 저수지 수질을 나타내기 때문에 농업용저수지 잠재수질지수 개

발에 기상인자를 추가하였다. 기상인자 중 농업용저수지 수질에 영향을 미치는 인자로 연평균 강우량을 선정하였다. 저수지별 연평균 강우량 자료는 개별 저수지 관할 측후소의 연평균 강우량을 기상청으로부터 제공받아 저수지별 연도별 정리하였다. 또한, 동일한 강우량에 대해서 저수지별로 어떤 저수지는 갈수년이 될 수 있고 어떤 저수지는 풍수년이 될 수 있는 문제가 있을 수 있기 때문에 개별 저수지 관할측후소의 30년 평균 연평균강우량과의 비를 잠재수질지수 개발에 이용하였다. 특정 연도의 비가 1보다 크면 30년 평균 연평균강우량보다 더 많은 비가 내린 해이고, 1보다 작으면 비가 적게 내린 해를 의미한다.

라. 수질 지수

본 연구에서 개발할 잠재수질지수는 기존에 개발된 수질관련 지표 및 지수를 인공지능기법을 이용해 산정하는 것으로 농업용저수지의 평가에 사용될 수 있는 다양한 지수를 고려하였다.

COD기준 호소수질등급은 농업용저수지 수질관리에 많이 이용되고 있는 지수이지만, COD만을 고려하여 산정된 지수이다. 이와 같은 형태로 잠재수질지수를 개발할 경우 기존 수질등급에 익숙한 관리자에게 편할 수는 있지만, 지수 형태가 동일하여 혼동될 가능성이 있다. COD기준의 호소수질등급이 COD농도만을 이용했다는 문제점을 극복하기 위해 COD, T-N, T-P, Chl-a 수질등급의 산술평균값 형태로 잠재수질지수를 개발할 수 있기는 하지만, 4개의 개별지수를 산술평균하여 사용하는 방법이 아직 이론적 근거가 미흡하다.

최근 우리나라 호소에 적합하도록 환경부 차원에서 개발된 LQI는 다양한 수질항목을 고려하여 산정되었고 장기간의 연구를 통해 이론적 근거가 명확하지만, 수질등급이 0~100까지 매우 많아 패턴인식기법을 이용하는 ECM으로는 산정될 수 없는 지수이다. 이에 본 연구에서는 기존의 LQI와 본 연구에서 개발한 LQI_{ar} 을 일단위에서 반올림하여 11단계(0~10)로 등급수를 축소한 LQI_{10} 과 $LQI_{10_{ar}}$ 을 이용하여 잠재수질지수를 개발하였다.

Vollenweider 영양상태지수는 농업용저수지에서 많이 이용되고 있지만, 약 90%가 중영양과 중부영양으로 분류되어 변별력이 없는 문제가 있다.

본 연구에서는 이상의 5개 수질지수 외에 COD농도의 정수값을 이용한 지수를 추가로 고려하였다. COD농도의 정수값 지수는 COD농도에 익숙한 수질관리 담당자에게 매우 유용하기는 하지만 COD농도만을 고려하여 농업용저수지의 다른 수질항목이 고려되지 않은 문제가 있다.

본 연구에서는 위에서 검토한 6가지 수질관련지수를 모두 적용하여 각각의 지수를 인공지능기법을 이용해 제원 및 부하량자료로부터 추정하였다.

(표 5-15) 잠재수질지수 개발에 사용되는 지수

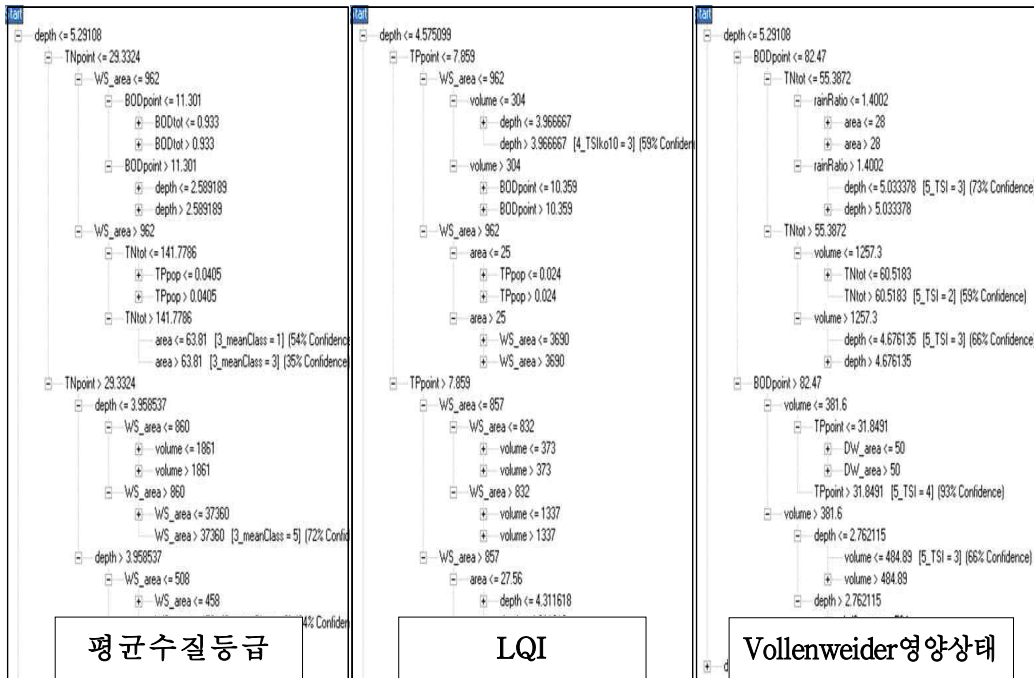
잠재수질지수형태	설명	장점	단점
호소수질등급 (COD기준)	7단계(Ia~VI)	기존 수질등급과 유사하여 지수에 따른 수질상태 파악 용이	기존 수질등급과 혼동됨. COD만 고려됨
평균 호소수질등급	COD, T-N, T-P, Chl-a 수질등급 산술평균	COD뿐만 아니라 다른 항목 고려 가능	방법이 이론적 근거 부족
LQI10	LQI를 11단계 (0~100)로 변형	우리나라 호소에 적합하도록 새로 개발된 지수 다른 항목 고려가능 이론적 근거가 명확함	국내사용이 많지 않음
LQI10 _{ar}	LQI _{ar} 을 11단계 (0~100)로 변형	농업용저수지만의 자료를 이용해 LQI와 동일한 방법으로 개발한 지수	본 연구에서 개발한 지수로 처음 사용
Vollenweider 영양상태	5단계 (극빈영양~부영양)	이론적 근거 명확 많이 사용되는 지수	단계수(5단계)가 적음
COD농도 정수값 (COD _{index})	COD농도의 정수값 (0~30)	COD농도 기준에 익숙한 수질관리 담당자는 지수에 따른 수질상태 파악 용이	저수지의 COD농도 범위에 대한 사전 지식이 부족한 사용자에게 불편. COD만 고려됨

마. DB구축

저수지 수질에 영향을 미치는 저수지 제원(유역면적, 만수면적, 유효저수량, 유효수심, 수해면적), 연도별 COD, T-N, T-P의 발생부하량(생활계, 축산계, 점원, 전체) 및 연도별 연평균 강우량과 30년 평균 대비 비율, 앞에서 선정한 6가지 수질관련지수(COD기준 호소수질등급, 4가지항목 평균 호소수질등급, LQI10, LQI10_{ar}, Vollenweider영양상태, COD농도의 정수값인 COD_{index})를 MS-Access를 이용해 DB를 구축하였다. 1993년부터 수집된 측정망 자료 중 일부 결측자료를 제외한 DB로 구축된 자료 수는 7373개이다.

2. 잠재수질지수 산정을 위한 fuzzy rule 도출

잠재수질지수 개발을 위해 구축한 저수지 제원, 오염부하량, 기상자료와 수질관련 지수(7가지) 사이의 관계를 1차년도에 개발한 ECM을 이용해 학습(training)을 거쳐 이들 사이의 관계로부터 수질관련 지수를 산정할 수 있는 fuzzy rule을 도출하였다. 7개의 지수별로 별도의 fuzzy rule을 도출하였으며, 이중 대표적인 3개의 fuzzy rule은 다음과 같다.



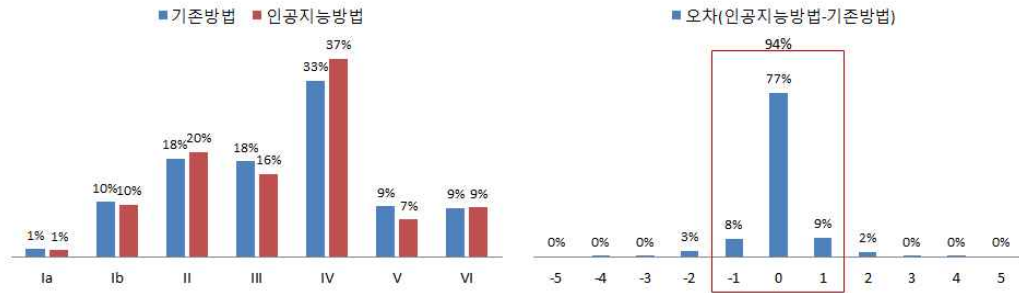
<그림 5-10> ECM에 의해 도출된 fuzzy rule

3. 산정된 잠재수질지수 분석

도출된 fuzzy rule을 구축된 7373개의 수질측정망 제원, 오염부하량, 기상자료, 수질지수를 이용해 잠재수질지수를 산정하여 실측된 수질로부터 산정된 수질지수와 그 결과를 비교·분석하였다.

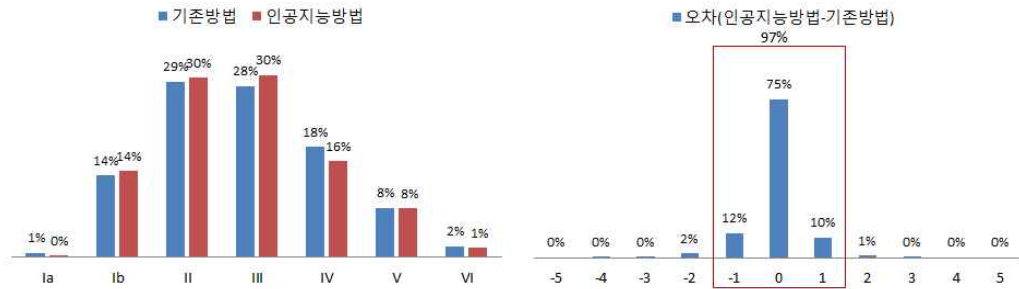
COD기준 잠재호소수질등급은 Ia~VI 등급 모두 수질농도로부터 산정한 COD기준 호소수질등급과 4%포인트 이내의 차이를 나타내었으며, 전체적인 등급 분포도 호소수질등급과 매우 유사하게 추정되었다. 전체 7,373개의 데이터 중 77%인 5,677개가 저수지 수질농도를 이용해 산정한 COD기준 호소수질등급

과 인공지능기법을 이용해 유역제원 및 부하량자료로부터 추정된 COD기준 잠재호소수질등급과 일치하는 것으로 나타났으며, 9%는 잠재호소수질등급이 1등급 높게 8%는 1등급 낮게 추정되었다. 동일한 저수지에서 매년 약간의 수질등급이 변하는 것을 고려해 1등급 차이나는 부분까지 추정이 잘된 것으로 가정할 경우 전체 94%가 저수지 수질농도로부터 산정한 COD기준 호소수질등급과 유역제원 및 부하량 자료로부터 추정된 COD기준 잠재호소수질등급과 유사하게 추정되었다.



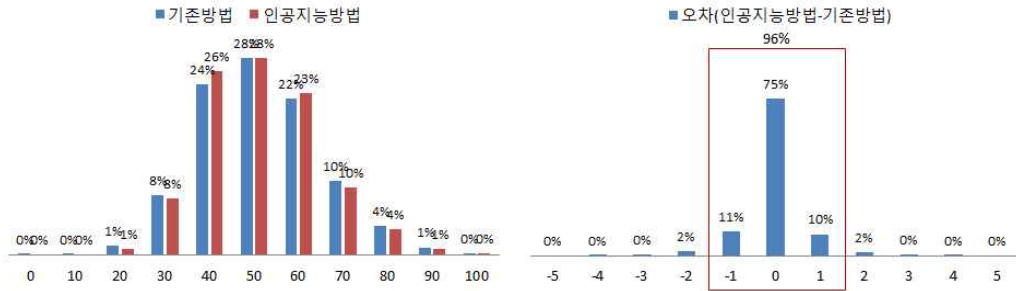
<그림 5-11> COD기준 호소수질등급 및 잠재호소수질등급

유역제원 및 부하량자료로부터 추정된 잠재평균호소수질등급은 COD, T-N, T-P, Chl-a기준 호소수질등급을 산술평균한 평균호소수질등급과의 등급별 오차는 2%포인트 이내로 매우 적게 나타났으며, 등급별 분포도 평균호소수질등급과 매우 유사하게 나타났다. 전체적으로 75%는 정확하게 추정하였으며, 10%는 평균호소수질등급보다 높게 12%는 낮게 추정되었다. 1등급 차이나는 부분까지 추정이 잘된 것으로 가정할 경우 전체 97%가 평균호소수질등급과 유사하게 모의되었다.



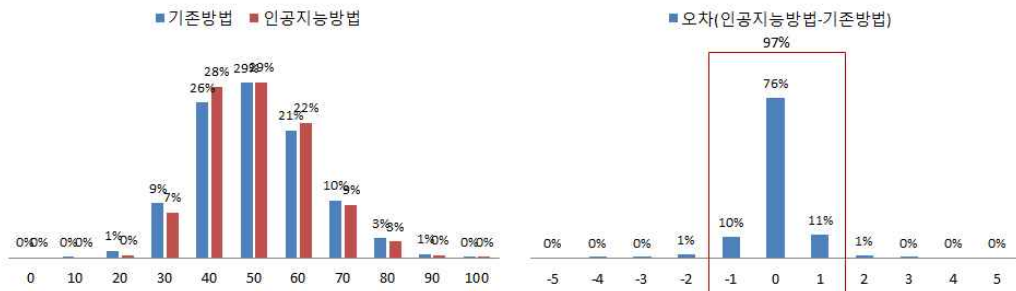
<그림 5-12> 평균호소수질등급 및 잠재평균호소수질등급

LQI10지수는 호소수질등급보다 등급수가 더 많음에도 불구하고 저수지 수질로부터 산정한 등급별 LQI10지수값과 저수지제원 및 부하량자료로부터 추정된 잠재LQI10지수값 사이의 오차가 1% 포인트 이내로 매우 정확하게 추정되었다. 또한, 전체의 75%가 LQI10지수값과 잠재LQI10지수값이 정확하게 일치하는 것으로 나타났다.



<그림 5-13> LQI10 및 잠재LQI10

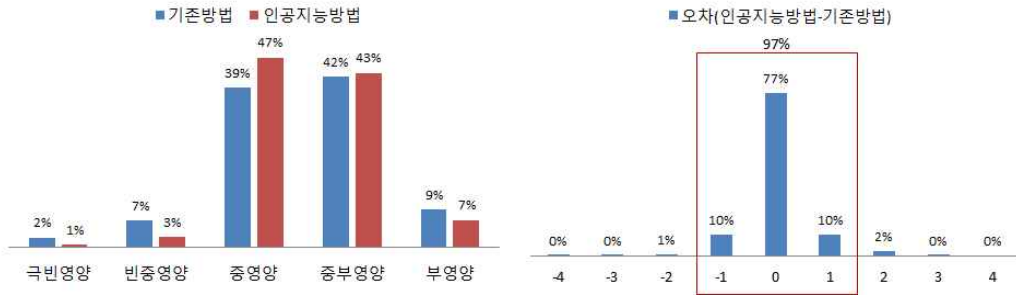
농업용저수지 수질측정망 자료로부터 도출한 농업용저수지 수질지수 LQI10ar은 LQI10과 유사한 경향을 나타내었다. 저수지 수질로부터 산정한 등급별 LQI10ar지수값과 저수지제원 및 부하량자료로부터 추정된 잠재LQI10ar지수값 사이의 오차가 2% 포인트 이내로 매우 정확하게 추정되었으며, 전체의 76%가 LQI10ar지수값과 잠재LQI10ar지수값이 정확하게 일치하는 것으로 나타났다.



<그림 5-14> LQI10ar 및 잠재LQI10ar

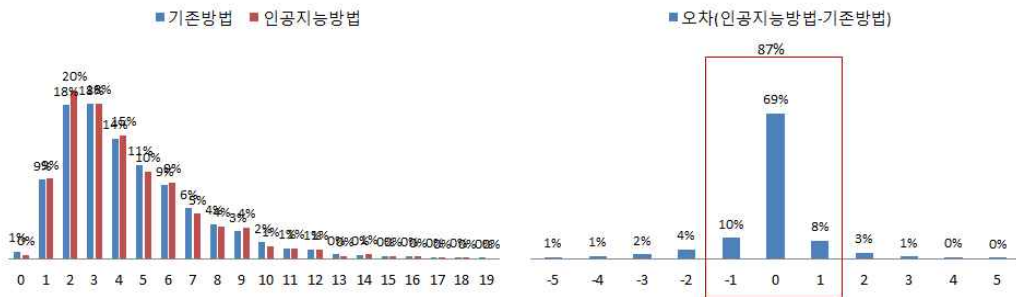
Vollenweider영양상태는 등급수가 5등급으로 적음에도 불구하고 빈중영양은 4% 포인트 적게, 중영양은 8% 포인트 많이 추정되었다. Vollenweider영양상태는 주로 T-P농도만을 기준으로 산정되기 때문에 유역제원 및 발생부하량이 저수

지 T-P의 농도에 미치는 영향이 다른 항목보다 적기 때문으로 판단되지만, 정확히 모의된 비율이 전체의 77%로 다른 지수보다 기존 지수와 더 유사하게 추정되었다.



<그림 5-15> Vollenweider영양상태 및 잠재Vollenweider영양상태

COD농도 정수값 지수(CODindex)는 다른 지수보다 등급수가 2~3배 이상 많음에도 불구하고 등급별 오차는 2% 포인트 이내로 적게 나타남. 전체적으로 기존방법과 인공지능방법의 차이는 정확하게 추정한 것이 69%로 다른 지수보다 적게 나타남. 기존방법과 1등급 차이 나는 것까지 모두 고려할 경우 전체의 87%가 기존방법과 유사하게 모의되었다.



<그림 5-16> CODindex 및 잠재CODindex

4. 잠재수질지수 적용성 평가

6개 잠재수질지수의 적용성을 평가한 결과는 (표 5-16)과 같다. COD기준 잠재호소수질등급은 저수지수질로부터 산정한 COD기준 호소수질등급과 유사하게 추정되었지만, COD만이 고려되어 농업용저수지의 종합평가가 불가능하였다. 4가지 호소수질등급을 평균한 잠재평균호소수질등급은 종합적인 저수지 수질평가가 가능했고, COD기준 잠재호소수질등급보다 더 기존 지수와 유사하게

추정되었다. 하지만, 일반적으로 4개의 호소수질등급을 평균하여 사용하지는 않기 때문에 이에 대한 이론적 추가 연구가 필요하다.

LQI10과 LQI10ar은 대부분 비슷한 경향을 나타내었으며, 호소수질등급보다 등급수가 11등급으로 더 많음에도 불구하고 LQI10ar과 잠재LQI10ar 사이의 오차가 더 적게 나타났다.. 본 연구에서 사용된 LQI10형태의 지수는 등급수가 11개로 재분류 과정을 거쳐 우수(0~30), 보통(40, 50), 문제(60), 과락(70~100) 또는 A(0~30), B(40), C(50), D(60), F(70~100)와 같은 형태로 등급을 재분류 할 수 있는 장점이 있다. 저수지 COD농도의 정수값을 지수로하는 CODindex는 단계가 0~25사이로 매우 많음에도 불구하고 전체적으로 CODindex와 잠재CODindex 사이의 차이가 크지 않고 매우 유사하게 나타났다. CODindex는 3차년도 수질관리모델 개발 시 일부 변형하여 사용이 가능할 것으로 판단된다.

6개 수질지수 중 LQIar을 11등급(0, 10, ..., 90, 100)으로 축소시킨 잠재LQI10ar가 다른 지수에 비해 다양한 수질항목이 고려되고 등급수가 많으며 장기간 연구를 통해 개발된 방법으로 농업용저수지 실측자료를 이용해 개발된 지수이기 때문에 농업용저수지 수질관리를 위한 지수로 가장 적합한 것으로 판단된다.

(표 5-16) 잠재수질지수 적용평 평가 결과

잠재수질지수	적용성 분석 결과
COD기준 호소수질등급	-정확도 높게 모의 됨 -COD만 고려되어 저수지의 종합평가 불가
평균 호소수질등급	-종합적 저수지 수질평가 가능 -COD만을 이용한 경우보다 정확도 더 높음 -이론적 추가 연구 필요함
LQI10	-합리적으로 종합적 저수지 수질평가 가능함 -정확도 높게 모의되고, 단계가 10단계로 적절함 -재분류 가능:
LQI10ar	우수(>90), 보통(70~80), 문제(50~60), 과락(40이하) A(>90), B(80), C(70), D(60), F(<50)
Vollenweider 영양상태	-단계가 5단계로 적고, T-P와 T-N만 고려됨 -86%가 중영양과 부영양으로 변별력 부족
COD농도 정수값 (CODindex)	-단계가 많음에도 불구하고 정확도 높게 모의됨 -COD만 고려되어 저수지의 종합평가 불가

4절 잠재수질지수 활용방안 연구

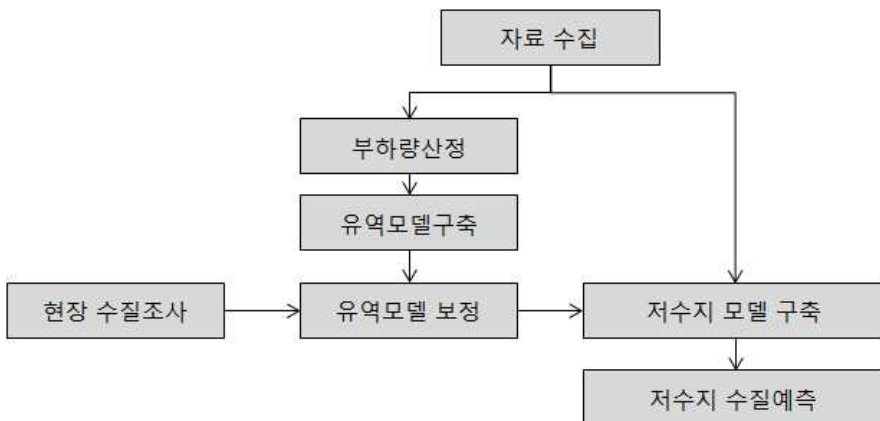
1. 신규 조성 저수지 수질 예측

본 연구에서 개발 중인 잠재수질지수의 활용방안으로 신규저수지 조성에 따라 예상되는 저수지 수질 상태를 추정하는데 사용이 가능하다. 신규저수지 조성시 예상되는 저수지 수질상태를 기존 모델링을 이용한 방법과 본 연구에서 개발한 인공지능기법을 이용한 추정법을 비교·분석하였다.

기존에 대관령 식수전용댐 개발사업(2010)과 대룡지구 농촌용수개발사업 계획 사업(2012)에서 신규 조성예정 저수지의 수질을 유역모델과 저수지모델을 연계하여 예측한 결과가 있어, 대관령지구와 대룡지구에 개발 중인 잠재수질지수에 적용하여 그 값을 비교하였다.

가. 수질모델링기법을 이용한 수질지수 산정

일반적으로 신규 조성 저수지의 수질은 <그림 5-17>과 같은 과정으로 수질을 예측한다. 유역의 제원, 토지이용, 오염원자료, GIS자료, 과거 수질 및 유량조사 자료 등과 같은 자료를 수집한 후 토지계를 제외한 계별 발생오염원 및 배출부하량을 산정한다. 산정된 부하량과 GIS자료를 바탕으로 유역모델(HSPF)을 구축한 후 현장에서 조사한 유량 및 수질자료를 바탕으로 유역모델(HSPF)을 보정한다. 수집된 자료와 보정된 유역모델 결과를 바탕으로 저수지모델을 구축하여 저수지 조성 후 수질을 예측한다. 저수지 규모 및 사업성격에 따라 다르기는 하지만, 현장조사를 포함하여 최소 2개월 이상의 시간이 소요된다.

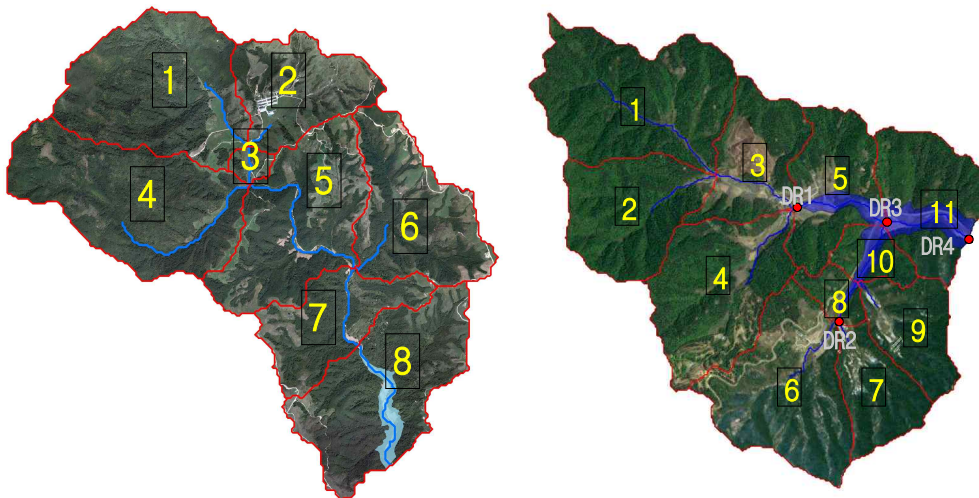


<그림 5-17> 신규저수지 수질예측 과정

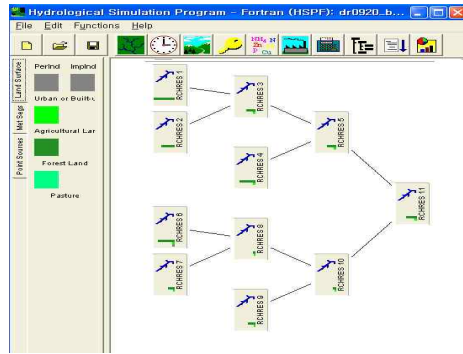
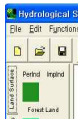
신규 조성예정인 대관령지구와 대룡지구 저수지의 제원 및 유역의 부하량은 (표 5-17)과 같다. 대관령지구는 유효저수량 2,846천톤, 수심 13.1m, 유역면적 1,530ha, 만수면적 21.8ha 규모의 저수지로 점오염원으로 축산계만 존재하는 상대적으로 오염원이 적은 지구이다. 대룡지구는 유효저수량 1,457천톤, 수심 9.7ha, 유역면적 420ha, 만수면적 15ha 규모의 저수지로 점오염원으로 약간의 생활계와 축산계 오염원이 존재한다.

(표 5-17) 대관령지구 및 대룡지구의 제원 및 오염부하량

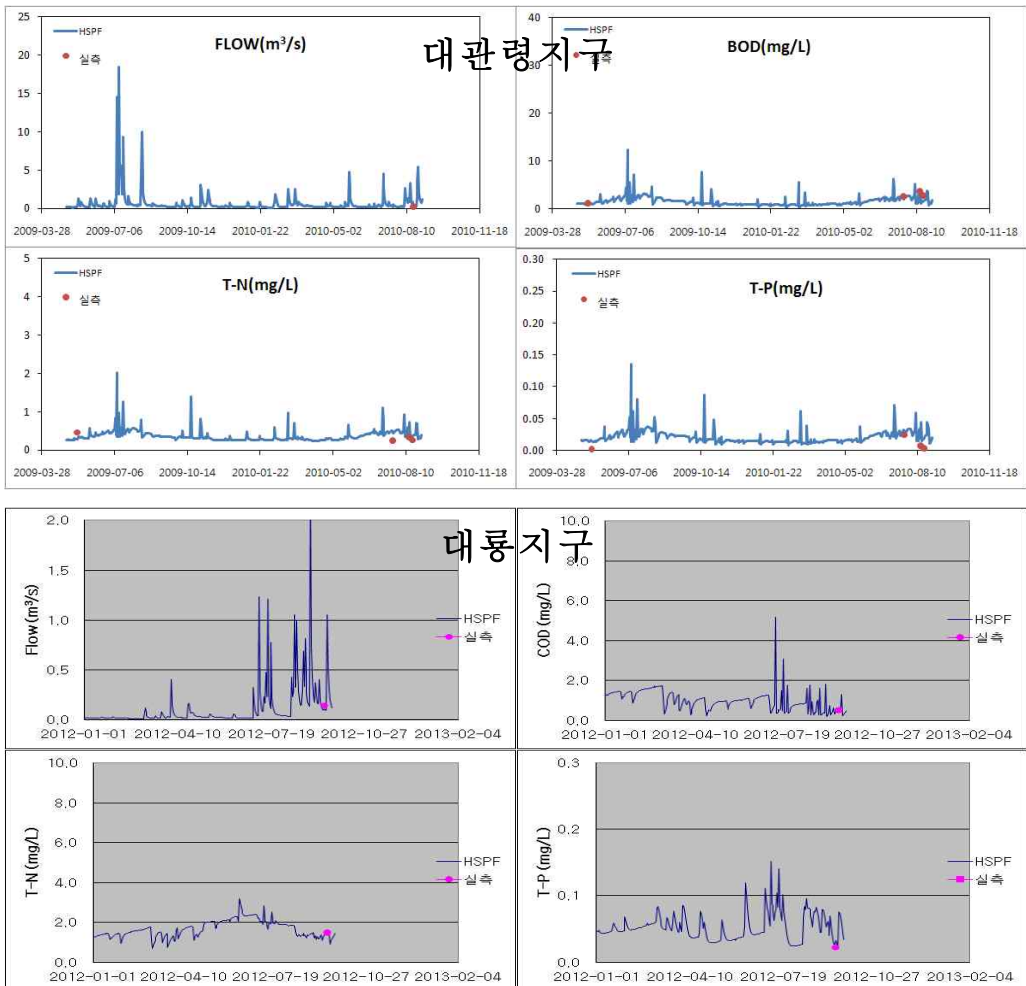
	유효저수량 (천톤)	유효수심 (m)	유역면적 (ha)	만수면적 (ha)	수해면적 (ha)	BOD발생부하량(kg/일)			
						생활	축산	점	총
대관령	2,846	13.1	1530	21.8	70	0	161	161	176
대룡	1,457	9.7	420	15	214	2	12	14	21
	T-N발생부하량(kg/일)				T-P발생부하량(kg/일)				
	생활	축산	점	총	생활	축산	점	총	
대관령	0	47	47	64	0	16	16	17	
대룡	1	3	3	14	0	1	1	2	



<그림 5-18> 대관령지구 및 대룡지구 유역 및 소유역 분할도

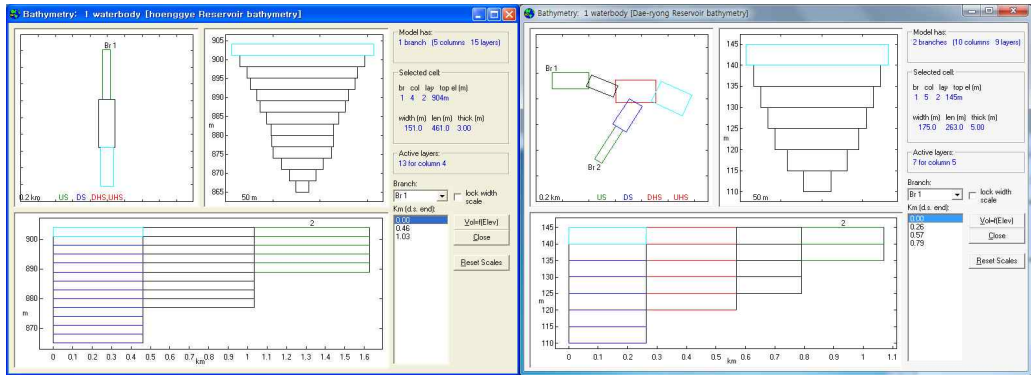


<그림 5-19> 대관령지구 및 대룡지구 HSPF모식도



<그림 5-20> 대관령지구 및 대룡지구 HSPF모델 보정

유역모델 구축을 위해 <그림 5-18>과 같은 대관령지구 및 대룡지구의 유역을 각각 8개와 11개의 소유역으로 분할하였다. GIS자료로부터 소유역별 정보를 추출한 후 기상자료, 배출부하량 등의 자료를 이용해 <그림 5-19>와 같이 유역모델을 구축하였다. 구축된 유역모델(HSPF)을 현장에서 조사한 실측 유량 및 수질을 이용해 보정한 결과는 <그림 5-20>과 같다.



<그림 5-21> 대관령지구 및 대룡지구 CE-QUAL-W2 모식도

(표 5-18) 대관령지구 및 대룡지구 모델링 결과

	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	수질등급 (COD기준)	Vollenweider 영양상태
대관령	4.09	0.39	0.023	3.49	III	중영양
대룡	3.24	0.38	0.028	10.23	II	중영양

유역모델결과와 수집된 자료를 바탕으로 저수지모델(CE-QUAL-W2)를 구축한 결과는 <그림 5-21>과 같으며, 구축된 저수지모델을 이용해 조성 후 저수지 수질을 예측한 결과는 (표 5-18)과 같다. 기존의 모델링방법으로 대관령지구의 COD, T-N, T-P, Chl-a의 농도는 각각 4.09 mg/L, 0.39 mg/L, 0.023 mg/L, 3.49 mg/m³로 예측되었으며, 대룡지구는 3.24 mg/L, 0.38 mg/L, 0.028 mg/L, 10.23 mg/m³로 예측되었다.

나. 인공지능기법을 이용한 잠재수질지수 추정

잠재수질지수 산정을 위해 도출한 fuzzy rule과 (표 5-17)의 제원 및 오염부하량 자료를 이용해 신규 저수지의 잠재수질지수를 추정하였다. 추정된 잠재수질지수를 수질모델을 통해 예측된 수질을 이용해 산정된 수질지수와 비교·분석하였다. 전체적으로 인공지능기법을 이용해 유역제원 및 오염부하량 자료로부터 추정한 잠재수질지수와 모델링 결과를 바탕으로 산정한 수질지수가 대관령지구의 COD기준 수질등급을 제외하고는 모두 동일하게 나타났다. 대관령지구의 COD기준 호소수질등급이 차이나는 원인은 모델을 통해 예측한 대관령지구의 COD농도가 4.09 mg/L로 III등급과 II등급의 경계에 있어 차이가 발생한 것으로 판단된다.

수질모델링을 이용한 수질예측은 다양한 시나리오분석이 가능하고 수질항목별 자세한 농도를 예측할 수 있는 장점이 있지만, 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 그러므로 신규저수지 예정지를 검토하는 단계에서 정확한 수질농도가 아닌 호소수질등급과 같은 대략적인 수질 파악을 목적으로 하는 경우에는 저수지 제원 및 오염부하량 자료로부터 짧은 시간 내에 쉽게 대략적인 수질지수를 추정할 수 있는 잠재수질지수를 이용하는 것이 가능하다.

(표 5-19) 저수지 제원 및 오염부하량 자료로부터 추정한 잠재수질지수

		수질등급 (COD기준)	평균 수질등급	LQI10	LQI10 _{ar}	Vollenweider 영양상태	COD _{index}
기존 수질지수	대관령	III	II	4	4	중영양	4
	대룡	II	II	4	4	중영양	3
잠재 수질지수	대관령	II	II	4	4	중영양	4
	대룡	II	II	4	4	중영양	3

2. 기타 활용방안

본 연구에서 개발된 잠재수질지수는 저수지 제원 및 오염부하량 자료로부터 수질지수를 추정할 수 있는 장점이 있기 때문에 유역 및 저수지 환경변화에 따른 저수지 수질변화를 추정하는데 사용될 수 있다.

인구수, 가축, 공장 등과 같은 오염원 변화에 따른 수질 변화를 추정하기 위해 오염원변화 전 후의 오염발생부하량을 산정한 후 저수지제원자료와 함께 잠

재수질지수 산정을 위한 fuzzy rule에 입력하면 각각의 잠재수질지수가 산정된다. 오염원변화 전·후의 잠재수질지수를 비교하면 오염원 변화에 따른 저수지 수질영향을 쉽게 빠르게 분석할 수 있다. 또한 농업용저수지 유역 내에 신규 공장이 설립될 경우 저수지 수질영향을 분석하는 경우에도 위와 동일한 방법으로 공장 설립 전 후의 부하량을 산정한 후 저수지 제원자료와 함께 fuzzy rule에 입력하여 공장 설립 전·후의 잠재수질지수를 산정한 후 설립 전·후의 잠재수질지수 비교를 통해 수질영향을 분석할 수 있다.

본 연구에서 개발된 잠재수질지수는 수질개선사업 적용 대상 저수지 선별에도 사용될 수 있다. 동일한 규모의 수질개선시설을 설치하여 동일한 부하량을 제거하더라도 유역면적, 유역의 오염부하량과 같은 유역특성과 유효저수량, 수심, 만수면적 등과 같은 저수지특성에 의해 서로 다른 수질개선효과가 나타날 수 있다. 그러므로 후보 저수지에 대해 수질개선사업에 의해 삭감된 부하량을 고려한 부하량을 이용해 fuzzy rule을 통해 잠재수질지수를 산정하여 잠재수질지수의 변화폭이 큰 저수지를 선정하면 된다.

본 연구에서 개발된 잠재수질지수는 유역과 저수지 특성을 이용해 개발한 지수로 계획지수에 해당되며, 일반 종합수질지수보다 유역관리를 위해 더 유용하게 활용될 수 있다. 계획지수 형태의 잠재수질지수는 농업용저수지의 효율적 수질관리를 위한 목표로 개발되는 “custom-designed”지수로 저수지 수질의 효율적 관리를 위한 비용배분까지 이용할 수 있어 활용성이 매우 크다. 농업용뿐만 아니라 각종 용수시설 개발적지 조사 및 최적 저수지 수질관리방안 도출에도 사용될 수 있다. 또한 잠재수질지수는 잠재오염지수 및 환경평가시스템 등으로도 활용성이 많다.

본 연구에서 개발된 잠재수질지수는 종합수질지수로 저수지 수질상태를 잘 반영할 수 있기 때문에 초기에는 한국농어촌공사 자체적으로 농업용저수지 수질관리를 위한 지수로 활용할 수 있다. 또한 각종 수질관리계획을 수립하는데 활용성이 클 것이라 기대된다. 유역에 공장이나 축산단지 등 오염원이 입지할 경우 잠재수질지수를 산정하여 그 영향을 판단하는데 좋은 도구가 될 것이다. 이렇게 활용도를 높인 후 장기적으로는 계획지수형태의 잠재수질지수를 보다 강력한 수단으로 활용이 가능하다. 즉, 일정 지수값 이하의 경우에는 추가 오염원 입지를 금지하거나, 유역특성 및 저수지 특성상 일정 지수값 이상으로 관리가 어려운 경우에는 저수지 건설을 원천적으로 금지하도록 하는 지료로 활용될 수 있다.

6장 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구

6장 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구

1절 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구

1. 서론

환경 분야에서 사용되고 있는 대부분의 모델은 물질수지, 물리·화학적 법칙을 기반으로 개발되었으며, 모델링 과정은 주로 모델 구축 및 보정에 집중된다. 환경 분야에 있어서 이러한 모델링 방법은 환경시스템과 관련된 모든 과정을 묘사하는데 한계가 있으며, 모델 보정을 위한 실측 자료가 부족하고 많은 노력에 비해 정확도 및 정밀도가 낮은 문제가 발생하고 있다.

유전자 프로그래밍(Genetic programming, GP)기법을 기반으로 하는 자동 모델 유도 시스템(automatic model induction system)은 실측된 자료와 가장 근사하게 나타낼 수 있는 모델 식을 자동으로 도출해 준다(Hong, 2003). Hong과 Bhamidimarri(2003)은 실규모 활성슬러지 하수처리장의 비선형 다변량 공정모델을 유도하는데 유전자 프로그래밍(GP) 기반의 자동 공정모델 유도 시스템을 개발하였고, 이렇게 개발된 모델은 일반적인 수치모델보다 훨씬 높은 정확도를 나타냈다.

이처럼 일부 분야에서는 전통적인 수치모델보다 데이터기반의 모델링 방법이 훨씬 더 높은 정확도를 나타내기도 한다. 그러므로 환경 분야에서 전통적인 수치모델링 기법 외에 데이터기반의 모델링 방법을 도입하여 병행 사용하거나 또는 두 방법을 서로 연계하여 적용하는 방법도 고려할 가치가 있다고 생각한다.

본 연구는 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위해 기존에 많이 사용되고 있는 수치모델이 아닌 수집된 자료로부터 수질을 예측하는 데이터기반의 모델링(data based modeling) 방법을 선택하였다. 여러 데이터기반의 모델링 방법 중 수질관리모델을 개발할 수 있는 인공지능기법으로 유전자프로그래밍(genetic programming)기법과 인공신경망 기법을 선택하였다. 유전자프로그래밍기법과 인공신경망기법을 이용해 수질측정망 자료로부터 다양한 수질모델 도출이 가능한지 평가하기 위해 현장에서 실측한 강우기조사자료(시간별 강우량 및 강우유출수 농도)를 이용해 강우량으로부터 강우유출수 농도를 모의할 수 있는 수질모델을 도출하고 그 결과를 분석하였다.

2. 유전자 프로그래밍(GP) 기본 이론

가. 유전자 프로그래밍(genetic programming, GP)

유전자 프로그래밍은 사용자가 명시적으로 프로그래밍을 하는 것이 아니라 컴퓨터로 하여금 주어진 문제를 해결하는 프로그램을 자동적으로 작성하도록 하기 위해 고안된 기술이다. 프로그램을 함수와 변수로 구성된 일종의 구조체로 간주하고 미리 정의된 문법에 어긋나지 않도록 이들을 구성한다. 일반적으로 <그림 6-1>과 같이 root가 하나인 트리의 형태로 프로그램을 구성하며, 이것이 유전자 프로그래밍에서 개체의 유전자형이 된다.

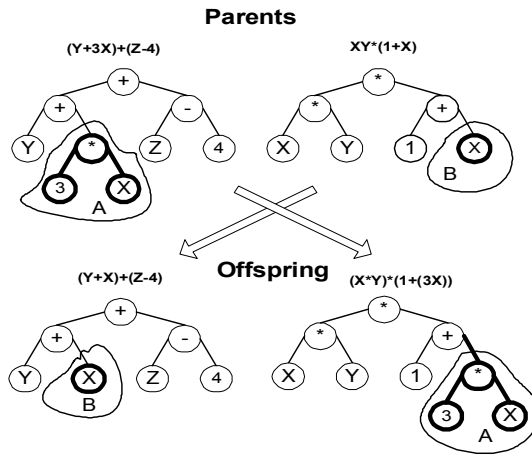
$$\begin{array}{c} (1.5+X)+Z-Y \\ + \\ + \quad - \\ 1.5 \quad X \quad Z \quad Y \end{array}$$

<그림 6-1> 유전자 프로그래밍의 유전자형

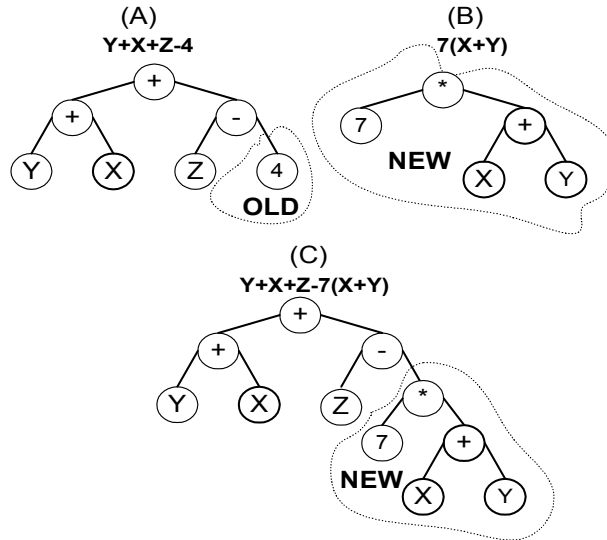
유전자 프로그래밍은 전통적인 유전자 알고리즘의 확장으로, 집단의 개체를 프로그램으로 정의하였다. 기본적인 동작과 특성은 유전자 알고리즘과 유사하지만, 개체의 표현형이 다르기 때문에 약간의 차이점이 있다. 유전자 프로그래밍의 해영역은 함수와 변수의 조합으로 발생할 수 있는 모든 가능한 프로그램이기 때문에 매우 광범위하다. 함수는 산술연산, 논리연산 및 사용자정의 연산 등 매우 다양하며, 이들 중 문제에 따라 적절히 선택하여 사용한다.

다른 진화 연산 기법과 같이 유전자 프로그래밍은 다수의 개체로 구성된 집단을 기반으로 진화를 수행하며, 세대마다 기존 집단의 우수한 개체들에 유전 연산을 적용하여 새로운 개체를 획득한다. 우수한 유전 형질을 가지는 개체는 살아남고 그렇지 못한 개체는 도태되는 적자생존 원리를 바탕으로 최적의 해를 탐색한다. 이러한 유전자 프로그래밍에서 진화 연산 과정은 복잡한 시스템에서 측정된 자료에 가장 적합한 수학적 모델을 자동적으로 만들어 주는데 효과적으로 사용된다.

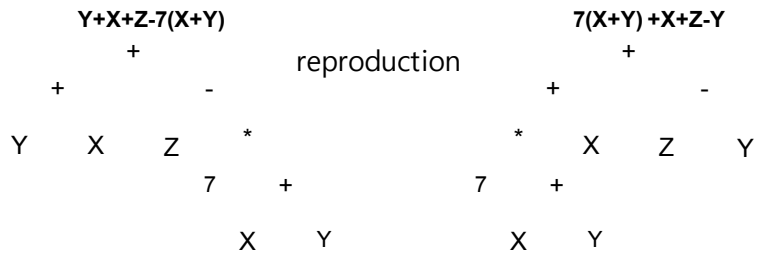
하나의 개체는 한 개 또는 여러 개의 염색체로 구성되며 염색체를 변형하는 연산자들을 유전 연산자라 한다. 유전연산자로는 교차(crossover), 돌연변이(mutation), 복제(reproduction) 연산자가 있다. <그림 6-2~4>는 유전자 프로그래밍에서 사용되는 유전 연산을 보여준다.



<그림 6-2> 교차 연산의 원리



<그림 6-3> 돌연변이 연산의 원리



<그림 6-4> 복제 연산의 원리

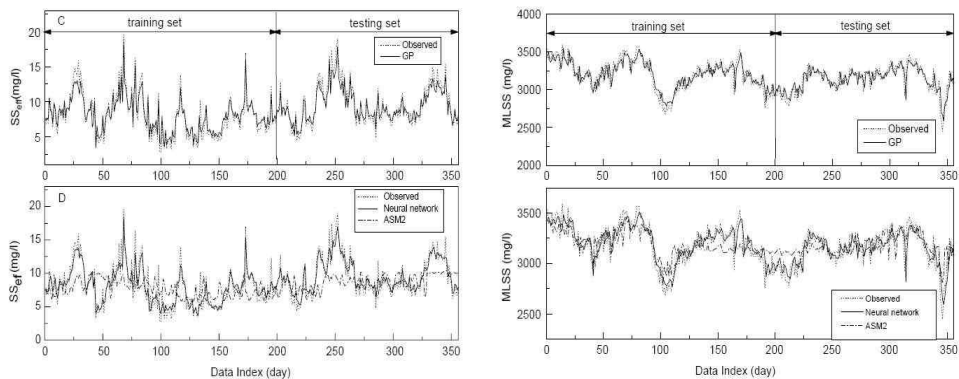
GP에서 진화적인 탐색 과정은 복잡한 시스템에서 관측된 자료와 가장 높은 적합도를 보이는 수학적 모델을 자동으로 발견하는데 매우 좋은 능력을 갖고 있다(Hong and Bhamidimarri, 2003; Hong *et al.*, 2005).

이 기술은 특정한 문법을 가지는 프로그램으로 해결될 수 있는 모든 문제에 적용될 수 있으며, 문제영역에 의존적이지 않기 때문에 보다 다양한 분야에 사용될 수 있다. 최근에는 최적화문제나 어셈블리 코드의 진화, 진화하드웨어, 캐릭터행동진화 등의 문제에 많이 도입되고 있다.

GP기법의 장점 덕분에 몇몇 공학적인 문제를 해결하기 위한 비선형 다변량 모델을 도출하는데 성공적으로 적용되고 있다(McKay *et al.*, 1997; Willis *et al.*, 1997; Hong, 2001; Whigham and Recknagel, 2001; Hong, 2003; Hong and Bhamidimarri, 2003; Hong *et al.*, 2005).

나. 환경공학분야 유전자 프로그래밍 적용 사례

유전자 프로그래밍 기법의 하수처리공정에의 적용 사례는 Hong 등(2003)이 뉴질랜드의 Paraparumu 하수 처리장의 유출수 SS와 반응조 내의 MLSS 농도를 예측한 것이다. 이 연구에서는 유전자 프로그래밍 기법뿐만이 아니라 대표적인 mechanistic 모델인 ASM2와 인공 신경망 모델 기법을 이용하여 예측한 값과 실제 측정값의 농도 차이를 비교하였다. 그 결과 인공지능 기법인 인공 신경망 모델과 유전자 프로그램 모델 기법을 통한 예측 값은 실제 측정값과 상당히 비슷한 것으로 나타났으나, ASM2 모델을 통한 예측 값은 측정값과 어느 정도 차이가 있었다(표 6-1).



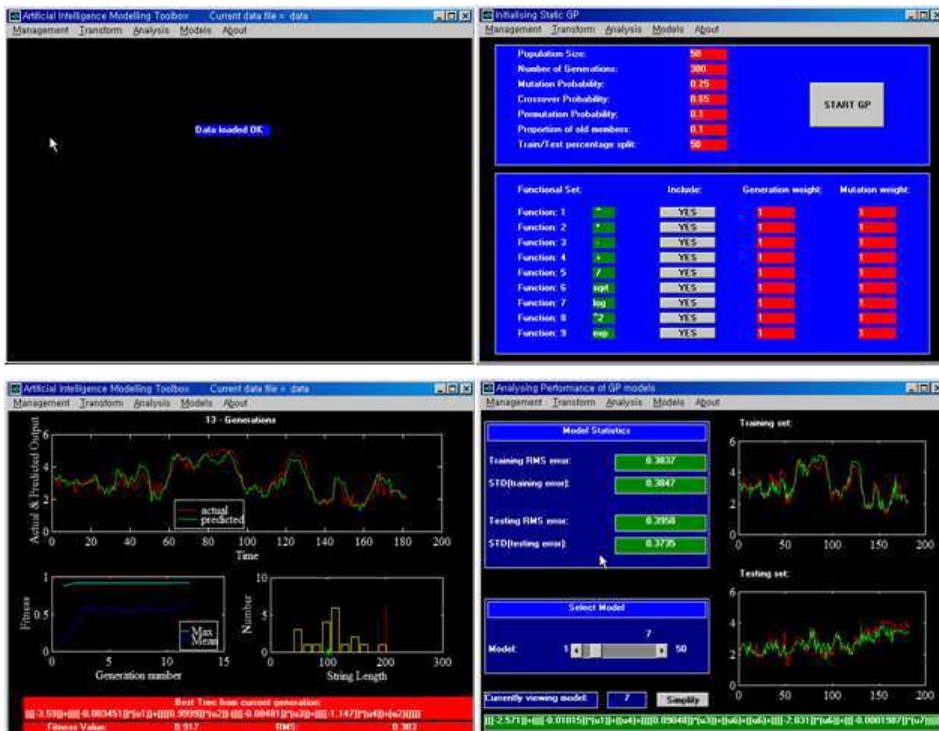
<그림 6-5> 유전자 프로그래밍을 이용한 SS 및 MLSS농도 예측 결과

(표 6-1) 세 종류의 모델 기법의 예측 성능 비교

Models	SS _{eff}		MLSS	
	RMSE _{tst}	R ²	RMSE _{tst}	R ²
GP	1.57	0.814	94.8	0.852
Neural network	1.68	0.808	102.3	0.839
ASM2	3.23	0.26	247	0.41

다. 유전자 프로그래밍 기법 적용을 위한 프로그램

본 과제에서는 유전자 프로그래밍 기법 적용을 위해 상용 프로그램 툴인 'Matlab'을 이용하여 Timothy Hong이 개발한 프로그램을 사용하였고, 본 연구에 적합하도록 일부 수정하였다. 이 프로그램은 컴퓨터 프로그래밍에 대한 지식이 없어도 사용 가능하게 제작하였다.



<그림 6-6> 유전자 프로그램 모델을 위해 사용한 프로그램

본 연구에서 사용한 유전자 프로그래밍의 기본 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 초기화: 임의로 초기 개체군(N개)을 생성한다. 세대 $K=0$
- (2) 유전자 루프(Genetic loop): 세대 $K=K_{max}$ 가 될 때까지 반복 실행한다.
 - (a) 개체군에서 각각의 모델을 실행한다.
 - (b) 현재 세대의 개체군에서 각각의 모델에 대한 목적함수를 구한다.
 - (c) 현재의 개체군에서 교차, 돌연변이, 복제 연산에 의해 새로운 개체군을 생성한다.
 - (i) 교차연산, 돌연변이, 복제 연산의 확률을 정한다.
 - (ii) 교차연산, 돌연변이, 복제 연산을 이용하여 새로운 개체군을 생성한다.
 - (iii) 모두 N개의 개체군이 발생할 때까지 (i)과 (ii) 과정을 반복한다.
 - (iv) parent 개체군의 old 모델은 생성된 새 모델로 대체된다.
 - (d) 다음 세대($K+1$)로 진행한다.

(표 6-2)는 본 연구에서 사용한 유전자 프로그래밍의 파라미터와 사용가능한 함수를 나타낸다. 사용 가능한 함수로는 기본 산술 연산자인 $+$, $-$, \times , \div 함수들과 \wedge (승;power), $\sqrt{\quad}$ (루트;root), 로그(log), 지수(exponential) 함수들이 사용되었다. 본 연구에서 세대 수는 모두 50이며, 각 세대는 500개(개체 수)의 후보 모델을 포함하고 있다. 교차, 돌연변이, 복제 연산의 확률은 각각 65, 25, 10%로 하였다. 이는 전 세대에 생성된 좋은 모델들이 버려지는 것을 막기 위해 10%의 복제 연산을 허용하였다.

(표 6-2) 사용한 파라미터와 사용 가능한 함수

파라미터	값
개체 수	500
세대 수	50
교차 확률(%)	65
돌연변이 확률(%)	25
복제 확률(%)	10
사용가능한 함수	\wedge , \times , $-$, $+$, \div , $\sqrt{\quad}$, Log, e

3. 인공신경망 모형(ANN)

가. 기본이론

인간의 뇌는 처리의 최소단위인 뉴런(neuron)이라는 기본소자를 이용하여 정보를 처리한다. 뉴런이라는 신경세포는 세포체(cell body), 수상돌기(dendrites), 그리고 축삭돌기(axon)로 구성된다. 그리고 뉴런간의 정보전달은 시냅스(synapse)라는 것을 통하여 전달하고 있다. 뉴런의 동작원리는 단순하지만 수많은 신경세포들이 연결망을 이루어 인간의 복잡한 모든 행동을 통제하고 조절하고 있는 것이다. 신경망모형은 이러한 신경세포의 정보처리 과정을 수학적으로 모델링한 것으로서 입력과 출력을 가지는 자동적인 학습기계라고 말할 수 있다. 즉, 인공신경망은 인간 두뇌의 구조와 기능을 모방하여 신경세포가 갖는 처리와 특징을 각각 입력과 출력 그리고 정보처리부분과 기억장소를 가진 매우 간단한 컴퓨터와 동일한 구조를 가지고 연결강도를 이용하여 정보를 출력하여 주는 것이다.

인공신경망모형은 McCulloch와 Pitts(1943)가 단순한 형태의 뉴런(neuron)을 제안하면서 탄생하였다. 이들의 뉴런은 다른 뉴런으로부터의 입력에 대한 가중합을 계산하고 그 값이 임의의 임계값을 경계로 하여 0과 1을 출력하도록 한 단순한 논리를 구현한 형태이다. Donald Hebb(1949)는 두 뉴런 사이의 연결강도(weight)를 조절할 수 있는 학습규칙을 최초로 발표하였다. 이후 Frank Rosenblatt(1958)는 퍼셉트론(perceptron)이란 최초의 신경망 모형을 발표하면서 많은 연구가 뒤따르게 되었다. 퍼셉트론 모형은 입력층과 출력층으로 구성되며 어떠한 형태의 패턴이 입력층에 주어지면, 신경망내의 연결강도들을 스스로 조정하면서 학습할 수 있도록 한 것이다.

퍼셉트론이 제안된 후에 신경망모형은 큰 기대를 모았다. 그러나 Marvin Minsky와 Seymour Papert(1969)가 저서 “Perceptron”에서 단일층 신경망의 이론적 한계를 지적하였다. 이들은 퍼셉트론 모형을 수학적으로 분석하여, 이 모형이 간단한 XOR(exclusive-OR) 함수도 모의하지 못하며 선형분리 문제밖에 해결할 수 없는 한계점을 명확히 밝히면서 신경망에 관한 연구는 약 20여 년간의 상당히 오랜 암흑기를 거치게 된다. Rosenblatt이 제안한 단순 퍼셉트론(simple perceptron)의 한계는 은닉층이 없다는 것이다. 따라서 입력층, 출력층의 단순 퍼셉트론에 하나 이상의 은닉층을 가지는 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron)과 같은 새로운 모형이 제시되었다. 그러나 이를 학습시킬 수 있는 알고리즘이 개발되지 않아 지속적인 발전은 이루어지지 않았다.

그 후 Hopfield(1982)는 순환신경망 구조와 연상 메모리를 가지는 Hopfield 모델을 발표하였고, Kohonen(1982)는 비교사학습(unsupervised learning)의 일종인 SOFM(self organizing feature map)을 개발하여 다층 퍼셉트론의 학습을 가능하게 하는 델타규칙의 일원화를 개발하였는데, 그것이 바로 유명한 역전파학습(back propagation) 알고리즘이다. 역전파학습 알고리즘은 입력값에 의해서 얻어진 출력값과 목표값과의 오차를 역으로 전파시켜 연결강도를 조절해 나가는 방법이다. 역전파 알고리즘이 발표된 이후 신경망이론에 대한 연구가 활발하게 이루어지기 시작하였으며, RBF(radial-basis function networks) 등과 같은 신경망 모형이 우후죽순처럼 등장하게 된다. 이처럼 발전되어 온 신경망 모형이 현재 응용되어지고 있는 분야는 매우 다양하며 거의 모든 공학분야, 의학분야, 심지어 경영학 분야에도 이용되고 있으며, 최근 수자원 및 영상처리 분야에도 활발하게 적용되고 있다.

나. 인공 신경망의 특징 및 기능

신경망은 단순한 기능을 가진 무수히 많은 신경세포 또는 처리소자(processing element)들이 병렬 연결된 연산구조로 되어 있다. 그 특징은 다음과 같다.

- (1) 각 신경세포는 다른 신경세포들과 완전히 독립된 기능을 갖는다. 즉, 신경세포의 출력은 자신과 연결된 연결강도를 통하여 직접 전달되는 정보에만 의존할 뿐, 다른 정보들과는 무관하다. 이와 같은 특징으로 인하여 병렬처리가 가능하므로 연산속도가 매우 빠르다.
- (2) 신경망은 무수히 많은 연결강도를 가지고 있다. 따라서 정보의 분산표현 및 처리가 가능하다. 또, 중복성(redundancy)이 크므로 fault-tolerant 할 뿐만 아니라 일부의 정보로부터 전체를 얻을 수 있는 연산기억(associative memory) 특성을 갖는다.
- (3) 학습이나 훈련을 통해 연결강도를 조정함으로써 새로운 정보를 추가하거나 변경할 수 있는 적응특성을 가지고 있다.

신경망은 알고리즘을 프로그램 명령어에 의해 순차적으로 처리하는 von Neumann방식의 컴퓨터로는 해결하기가 곤란한 다음과 같은 문제들에 적합하다고 알려져 있다.

- (1) 패턴분류(pattern classification) : 입력패턴들을 그 특성에 따라 분류한다.

이때, 분류된 집단(class)이나 군(cluster)은 그것을 대표하는 고유한 패턴으로 식별될 수 있다.

(2) 패턴완성(pattern completion) : 불완전한 패턴으로부터 완전한 패턴을 생성한다. 잡음제거 문제도 여기에 속한다.

(3) 함수근사(function approximation) : 입력패턴에 대응하는 출력패턴을 생성한다. 이때, 입력과 출력 사이의 대응관계는 임의의 함수 또는 mapping이 가능하다. 패턴접합 문제도 넓은 의미에서 여기에 속한다고 볼 수 있다.

이러한 문제들의 공통적인 특징은 다음과 같다. 첫째, 주어진 문제를 수학적 표현으로 정의하기가 곤란하기 때문에 알고리즘에 따라 해를 구하기는 어렵지만, 사람은 그 해법에 관한 노하우를 가지고 있다는 것이다. 둘째, 주어진 문제의 입력패턴과 출력패턴의 예를 충분히 많이 생성해 낼 수 있어서 이들로부터 입력과 출력 사이의 일반적인 관계를 추출하는 것이 가능하다. 이를 위해서는 처리해야 할 정보의 양이 매우 많다. 따라서 정보를 순차적으로 처리하는 컴퓨터로는 해를 구하는 과정이 매우 비효율적이고 시간도 많이 걸린다. 그러므로 병렬구조를 가지고 많은 양의 데이터를 사용하여 학습하는 신경망이 이와 같은 문제들을 해결하는데 적합할 것이다. 신경망 또는 신경회로 컴퓨터는 실제로 패턴인식, 음성인식, 음성합성, 자동번역, 최적화, 적응제어, 수치 예측 등 많은 분야에 응용되고 있다.

다. 인공신경망의 구성요소

생물학적 신경망이 단순한 신경세포들의 대단위 병렬연결로 이루어져 있듯이, 신경망도 단순한 기능을 수행할 수 있는 신경세포들의 수많은 병렬연결로 이루어져 있다. 기능면에 있어서도 생물학적 신경망과 마찬가지로 병렬분산 처리를 할 수 있을 뿐만 아니라, 학습이나 훈련을 통해서 연결강도를 조정하여 정보를 추가하거나 변경할 수 있는 적응특성을 가지고 있다. 이와 같이 거시적 차원에서 볼 때, 신경망은 생물학적 신경망의 구조와 기능을 닮았다고 할 수 있다. 그러나 신경세포들의 구체적인 기능, 연결선을 통한 신호의 전달체계, 연결강도의 조정 메커니즘 등과 같은 미시적 차원의 구조와 기능은 생물학적 신경망과 많은 차이가 있거나, 전혀 다를 수도 있다. 신경망을 구성하는 기본적인 요소로는 다음과 같은 세 가지를 꼽을 수 있다.

- (1) 신경세포(neuron) 또는 처리소자(processing element)
- (2) 연결강도(connection weight)
- (3) 학습규칙(learning rule) 또는 훈련 알고리즘(training algorithm)

라. 인공신경망의 종류

신경망은 구조와 학습, 연산에 사용된 연산 원리에 따라 여러 가지로 분류되며, 일반적으로 사용되는 신경회로망의 형태는 (표 6-3)과 같다. 신경망 모형은 입력자료가 이진수의 형태이거나 연속적인 값을 가지는 실수 형태로 구분된다. 신경망 모형에서의 학습은 임의의 초기 값에서 시작하여 지속적인 개선을 통하여 적절한 연결강도를 구하는 과정이다. 이러한 학습방법에 따라 신경망 모형은 교사학습(supervised learning)과 비교사학습(unsupervised learning) 모형으로 나눌 수 있다. 교사학습은 입력자료에 의한 출력 값과 비교할 수 있는 목표 값(target value)이 존재하며, 그 오차를 이용해 학습을 수행하여 그 결과를 출력하는 것이고, 비교사학습은 목표 값이 없으며 입력자료와 신호만이 제공되므로 자기조직화에 의해 학습하게 되고 그 결과를 출력한다.

(표 6-3) 신경회로망의 종류

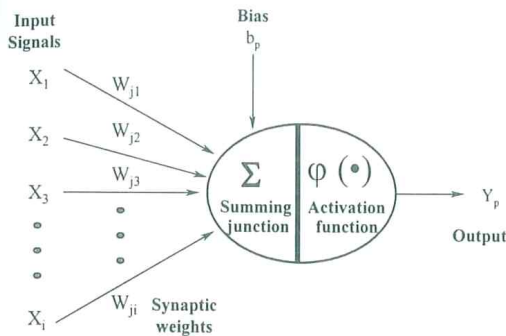
Input type	Learning type	Model
Binary	Supervised	- Hopfield network - Boltzmann machine - Hamming network
	Unsupervised	- ART(Adaptive Resonance Theory)
Real	Supervised	- Simple perceptron - Multilayer perceptron
	Unsupervised	- Kohonen self organizing

마. 연산 방법

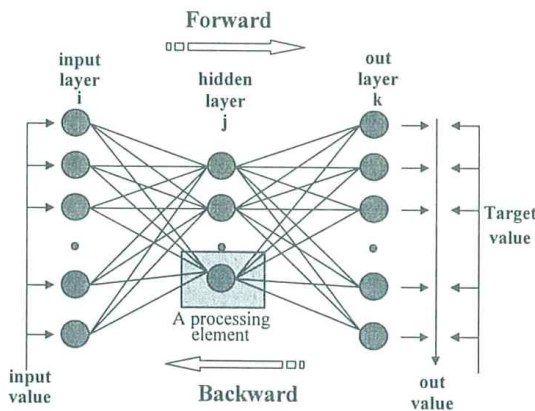
인공신경망 모형의 기본적인 연산과정은 <그림 6-7>에서 보는 바와 같이, 뉴런의 연산은 입력자료(input signal)의 벡터 X_i 와 연결강도(synaptic weights)의 벡터 W_{ji} 에 의한 곱의 형태로 나타내며, 이들로부터 결합함수(summing junction)

Σ 를 계산하는 과정으로 이루어진다. 이 결합함수로부터 선형 또는 비선형적인 특성을 가지게 하는 활성화함수(activation function)를 통해 출력의 과정으로 연산이 수행되는 것이다.

다층 퍼셉트론은 은닉층이 없이 단지 입력층과 출력층으로만 구성된 단순 퍼셉트론의 한계를 보완하기 위해 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 은닉층을 둔 것이다. <그림 6-8>은 은닉층이 하나인 전형적인 다층 퍼셉트론의 구조를 보여주고 있다. 다층 순방향 신경망(feed-forward neural networks)은 교사학습으로써, 실측치와 모의치를 최소자승법에 의해 가중함수를 최소화하는 것이다.



<그림 6-7> 인공신경망의 처리 요소



<그림 6-8> 전형적인 3층 구조의 인공신경망

2절 인공지능기법 적용성 평가

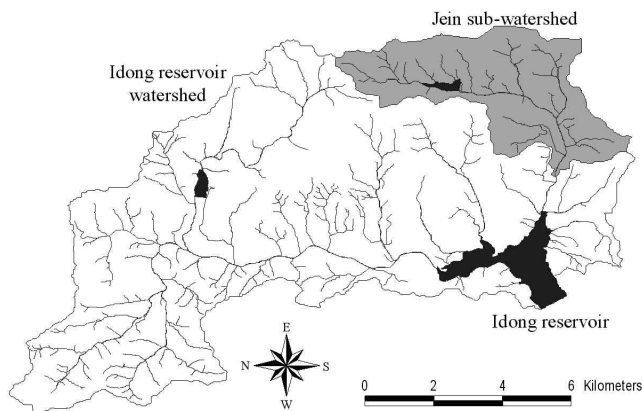
1. 적용성 평가 개요

본 연구는 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위해 기존에 많이 사용되고 있는 수치모델이 아닌 수집된 자료로부터 수질을 예측하는 데이터기반의 모델링(data based modeling) 방법을 선택하였다. 여러 데이터기반의 모델링 방법 중 수질관리모델을 개발할 수 있는 인공지능기법으로 유전자프로그래밍(genetic programming)기법과 인공신경망 기법을 선택하였다. 선택된 유전자프로그래밍 기법과 인공신경망기법을 이용해 수질측정망 자료로부터 다양한 수질모델 도출이 가능한지를 평가하였다. 현장에서 실측한 강우기조사자료(시간별 강우량 및 강우유출수 농도)를 이용해 강우량 자료로부터 강우유출수 농도 및 부하량을 모의할 수 있는 수질모델을 도출하고 그 결과를 분석하였다.

2. 적용성 평가 방법

가. 적용 지역 및 모니터링 자료

적용지역으로는 경기도 용인시 처인구 이동면에 위치한 이동저수지의 유입하천 중 강우시 유입하천의 유량 및 수질을 2회(2006년, 2009년) 일주기조사를 실시한 LDM10 지점을 선정하였다. LDM10 지점의 유역면적은 1636.2 ha로 대부분 산지와 농지로 구성된 전형적인 농촌유역이다.



<그림 6-9> 재인교 유역

LDM10 지점에서 2006년 8월 26일부터 8월 28일까지 총 46.6mm의 강우가 내렸으며, 강우가 내리기 직전부터 완료 후까지 총 28회에 걸쳐 유량 및 수질을 조사하였다. 또한 2009년 7월 25일에 총 55.3mm의 강우가 내렸으며, 1시간 간격으로 총 14회 유량 및 수질을 조사하였다.

나. 상관분석

통계패키지 프로그램인 SPSS를 이용해 실측한 유량 및 수질자료에 대해 분산분석을 실시하여 강우, 누적강우, 유량, 수질 및 부하량간의 상관관계를 분석하였다. COD, T-N, T-P 농도 모두 누적강우량, 유량과 높은 상관관계를 나타냈고, COD와 T-P는 강우량과 높은 상관관계를 나타내었다. COD, T-N, T-P 부하량은 모두 누적강우량 및 유량과 높은 상관관계를 나타내었고, 강우와는 상관관계가 낮았다.

(표 6-4) 강우, 유량 및 수질간의 상관관계

	rainfall	cumrainfall	flowrate	COD	TN	TP
rainfall	1					
cumrainfall	0.148	1				
flowrate	0.077	0.432	1			
COD	0.370	0.362	0.66	1		
TN	0.008	-0.683	-0.34	-0.219	1	
TP	0.263	0.327	0.58	0.929	-0.170	1

(표 6-5) 강우, 유량 및 부하량간의 상관관계

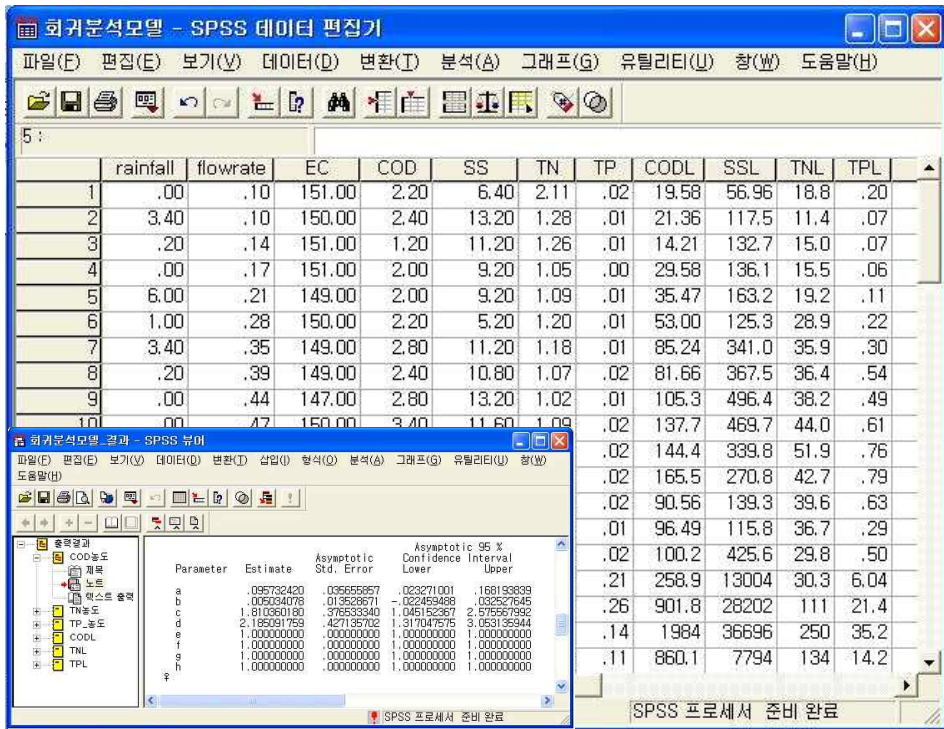
	rainfall	cumrainfall	flowrate	CODL	TNL	TPL
rainfall	1					
cumrainfall	0.148	1				
flowrate	0.077	0.432	1			
CODL	0.155	0.400	0.98	1		
TNL	0.123	0.368	0.98	0.985	1	
TPL	0.141	0.373	0.94	0.960	0.928	1

다. 인공지능기법을 이용한 데이터 기반의 모델링

일반적으로 강우에 의한 유출유량은 쉽게 측정 및 모의가 가능한 반면, 수질농도는 매우 어려운 것이 현실이다. 기존의 수치해석 모델은 강우에 의해 유출되는 유량 및 농도를 모의하기 위해 매우 많은 입력자료 및 시간을 필요로 하기 때문에 수질을 모의하는데 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 수치유역모델과 병행하여 이용할 수 있는 데이터기반의 모델링 방법을 이용해 수질을 모의하고자 한다. 사용된 모델링 기법은 다중선형회귀분석모델(Multiple Linear Regression Model, MLR), 인공신경망(ANN), GP이다.

(1) 다중선형회귀분석모델

실측한 강우, 유량, 수질 및 부하량 자료를 이용해 COD, T-N, T-P의 수질 및 부하량을 모의할 수 있는 회귀식을 SPSS의 다중선형회귀분석을 이용해 도출하였다.

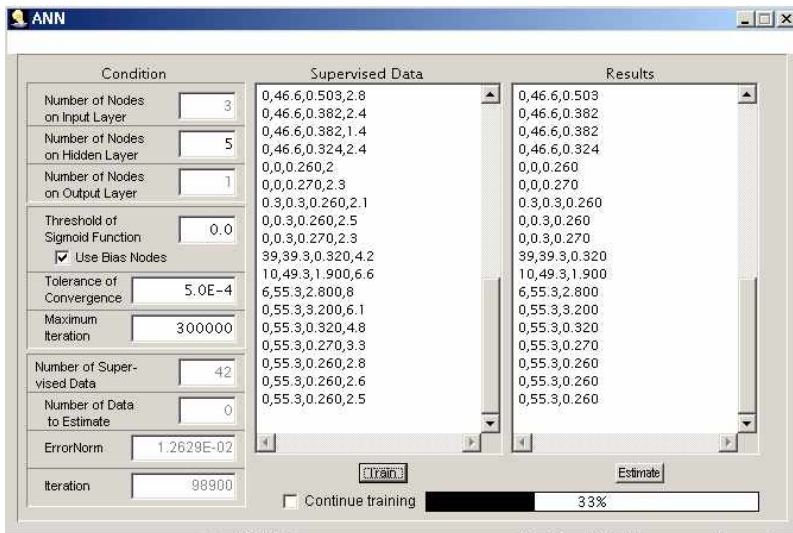


<그림 6-10> SPSS를 이용한 다중선형회귀분석

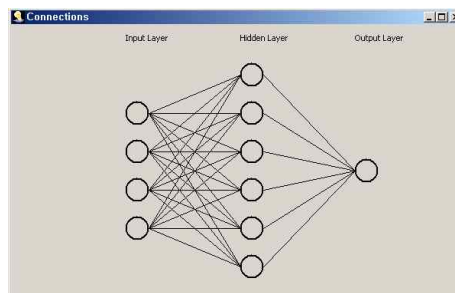
다중선형 회귀분석에서 종속변수로 COD, T-N, T-P의 농도 및 부하량을 입력하였고, 모형 표현식은 다중선형식으로 $y = a*\text{강우량} + b*\text{누적강우량} + c*\text{유량} + d$ 을 사용하여 모수 a, b, c, d를 추정하였다.

(2) 인공신경망(ANN)

인공신경망은 아래 그림과 같이 별도로 개발된 프로그램을 사용하여 분석하였다. 입력층으로 3개(강우량, 누적강우량, 유량)를 사용하였고, 은닉층으로 5개, 출력층으로 1개(수질농도 또는 부하량)를 사용하였다. 기타 인공신경망 설정 정보는 <그림 6-11>과 같다.



<그림 6-11> 인공신경망 모형의 실행화면



<그림 6-12> 사용한 인공신경망의 3층 구조

(3) GP(Genetic Programming)

GP는 최종적으로 식을 도출시켜 준다는 면에서 회귀분석모델과 비슷하지만, 회귀분석에서는 사용자가 미리 식을 작성한 후 상수만을 추정하는 반면에, GP는 실측자료를 이용해 전체 식을 도출해 준다. 회귀분석에서는 사용자가 미리 식을 입력해야하기 때문에 정확한 식을 모를 경우 실측값과 유사한 회귀식을 도출하는데 한계가 있는 반면에, GP는 실측값이 충분한 경우 전체 식을 도출해 주기 때문에 훨씬 사용이 편한 장점이 있다. GP 분석을 위해 <그림 6-13>과 같이 Matlab을 이용해 작성된 프로그램을 이용하였으며, GP분석을 위한 파라메타는 (표 6-6)과 같이 설정하였다.



<그림 6-13> Matlab을 이용해 작성된 GP프로그램

(표 6-6) GP 분석을 위한 파라메타 설정

parameter	Value
Population size	3000
Max. depth of model tree	4
Generation No.	50
Crossover probability(%)	80
Mutation probability(%)	10
Optimization algorithm	Evolutionary
Fitness measure	Minimize RMSE

3. 적용성 평가 결과

가. 농도 모의

다중선형회귀분석(Multiple Linear Regression analysis, MLR)과 GP를 이용해 경과시간(eT), 강우량(R), 누적강우량(cR)로부터 농도를 추정한 식은 (표 6-7)과 같고, 경과시간(eT), 강우량(R), 누적강우량(cR), 하천유량(Q)로부터 농도를 추정한 식은 (표 6-8)과 같다.

재인 소유역에서 강우 유출수의 COD, SS, T-N, T-P 농도를 추정하기 위한 3가지 방법별 (MLR, ANN, GP)의 RMSE와 R^2 는 (표 6-9)과 같다. (표 6-9)는 전체적으로 GP와 ANN의 결과가 매우 유사하게 나타났다. ANN결과는 TP농도 모의에서 GP보다 약간 우수하게 나타났다. COD와 SS의 농도를 추정하기 위한 방법 중 GP가 ANN보다 더 우수한 모의 결과를 나타내었다. MLR은 ANN과 GP에 비해 간단한 구조를 갖고 있기 때문에 더 ANN, GP보다 더 나쁜 결과를 나타냈다.

본 연구에서 COD, SS, T-N, T-P를 모의하는데 하천 유량이 미치는 영향을 분석하였다. (표 6-9)에서 하천 유량을 포함하여 COD, SS, T-N, T-P의 농도를 추정하기 위한 식을 도출한 경우가 하천 유량을 포함하지 않은 경우보다 RMSE 및 R^2 값이 크게 개선되지 않았다. 이는 농업용저수지에서 강우유출수의 농도는 하천유량보다는 강우와 관련된 자료(강우, 누적강우)와 더 크게 영향을 받는 것을 의미한다. 그러므로 농업용저수지 유역에서 강우유출수의 농도는 강우와 관련된 자료(강우, 누적강우, 경과시간)만을 이용해도 추정될 수 있다.

<그림 6-14~15>는 MLR, ANN, GP에 의해 추정된 강우유출수의 농도를 실측값과 비교하여 나타내었다. GP와 ANN의 결과는 실측된 COD, SS, T-N, T-P와 매우 우수하였다. ANN은 낮은 SS의 농도에서 음의 값을 나타내었다. 반면에, MLR과 GP는 COD, SS, T-N, T-P 모의에 있어서 항상 양의값을 나타내었다.

(표 6-7) 유량을 포함하지 않은 농도 추정식

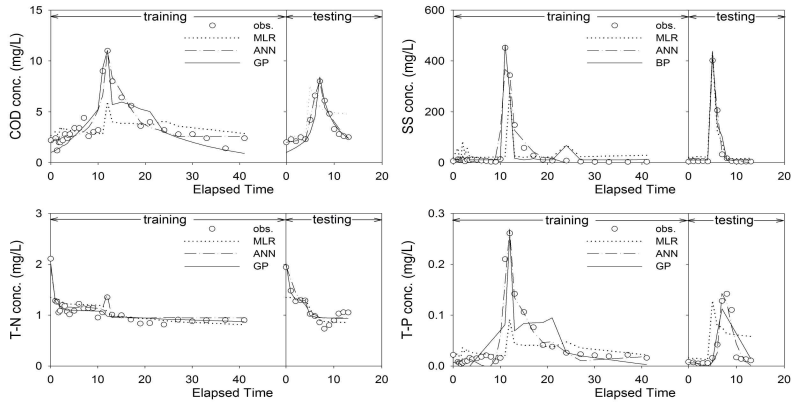
농도 추정		Equation
COD	MLR	$2.662 - 0.052 \times eT + 0.082 \times R + 0.05 \times cR$
	GP	$\left(\frac{0.0001 \times cR + 1.842 \times (Q - 0.9459)(Q - 0.3336)}{(Q - 0.9459) \times (Q - 0.3336) \times 0.9963^R} \right) \times \left(\frac{3.266}{1.277^Q} \right)^Q$
SS	MLR	$20.67 + 0.381 \times eT + 10.692 \times R - 0.16 \times cR$
	GP	$0.231 \times Q \times (54.26 + (R + R^{2.325})) + R \times 0.0568^R \times (1378 + Q^{-0.8949 \times eT})$
T-N	MLR	$1.347 - 0.004 \times eT + 0.003 \times R - 0.008 \times cR$
	GP	$2.024 - 6.76 \times 10^{-7} \times cR^Q - 0.5485 \times eT^{0.08235} - 0.1698 \times cR^{0.1994}$
T-P	MLR	$0.016 - 0.001 \times eT + 0.002 \times R + 0.001 \times cR$
	GP	$-0.0002599 \times cR \times eT + 0.00382 \times Q \times eT + 0.01013 \times eT + 4.7 \times 10^{-18} \times R^{eT} - 0.002344 \times cR + 0.00006421 \times cR^2$

eT : 경과시간, R : 강우량, cR : 누적강우량

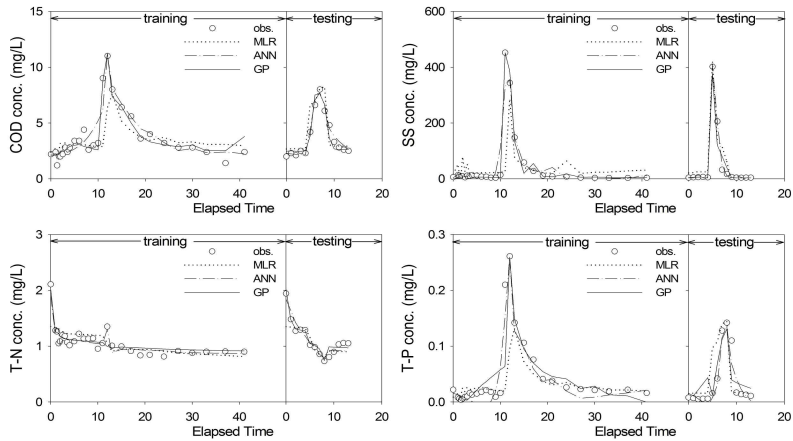
(표 6-8) 유량을 포함한 농도 추정식

농도 추정		Equation
COD	MLR	$2.189 - 0.001 \times eT + 0.095 \times R + 0.005 \times cR + 1.806 \times Q$
	GP	$\left(\frac{0.0001 \times cR + 1.842 \times (Q - 0.9459)(Q - 0.3336)}{(Q - 0.9459) \times (Q - 0.3336) \times 0.9963^R} \right) \times \left(\frac{3.266}{1.277^Q} \right)^Q$
SS	MLR	$13.868 + 1.118 \times eT + 10.878 \times R - 0.8 \times cR + 25.97 \times Q$
	GP	$0.231 \times Q \times (54.26 + (R + R^{2.325})) + R \times 0.0568^R \times (1378 + Q^{-0.8949 \times eT})$
T-N	MLR	$1.357 - 0.005 \times eT + 0.003 \times R - 0.007 \times cR - 0.039 \times Q$
	GP	$2.024 - 6.76 \times 10^{-7} \times cR^Q - 0.5485 \times eT^{0.08235} - 0.1698 \times cR^{0.1994}$
T-P	MLR	$0.004 + 0.002 \times R + 0.000008848 \times cR + 0.044 \times Q$
	GP	$-0.0002599 \times cR \times eT + 0.00382 \times Q \times eT + 0.01013 \times eT + 4.7 \times 10^{-18} \times R^{eT} - 0.002344 \times cR + 0.00006421 \times cR^2$

eT : 경과시간, R : 강우량, cR : 누적강우량, Q : 하천 유량



<그림 6-14> 농도 모의 결과(유량 미포함)



<그림 6-15> 농도 모의 결과(유량 포함)

(표 6-9) 농도 모의결과의 RMSE 및 R²

		without-flow			with-flow		
		MLR	ANN	GP	MLR	ANN	GP
COD	RMSE	1.84	0.70	0.96	1.45	0.74	0.55
	R ²	0.27	0.90	0.84	0.54	0.88	0.93
SS	RMSE	74.63	26.08	30.47	72.84	27.72	19.22
	R ²	0.50	0.94	0.92	0.52	0.93	0.97
T-N	RMSE	0.19	0.10	0.10	0.19	0.09	0.09
	R ²	0.49	0.89	0.87	0.50	0.88	0.88
T-P	RMSE	0.05	0.01	0.03	0.05	0.02	0.03
	R ²	0.16	0.94	0.69	0.38	0.93	0.73

나. 부하량 모의

강우유출수의 COD, SS, T-N, T-P의 부하량을 예측하기 위해 MLR, ANN, GP외에 국내에서 많이 이용되는 LQ식(Pollutant rating curve, PRC)을 추가하였다. MLR, GP, LQ식 방법에 의해 도출된 식은 (표 6-10~11)과 같다. 강우유출수의 COD, SS, T-N, T-P부하량을 모의하기 위한 4가지 방법(MLR, ANN, GP, PRC)별 모델 효율은 (표 6-12)와 같다. 하천유량과 강우자료가 사용될 경우 SS를 제외하고는 GP와 ANN에 의한 결과가 MLR과 PRC에 의한 결과보다 훨씬 실측값과 유사하게 나타났다. 강우량 관련 자료만을 이용한 경우에는 ANN에 의한 결과가 GP와 MLR에 의한 결과보다 실측값과 유사하게 모의되었다. 하천유량을 포함한 경우는 포함하지 않은 경우보다 실측값과 더 유사하게 모의되었다. 이는 강우유출수의 부하량을 추정하는데 하천유량이 매우 중요한 입력인자임을 의미한다. 4가지 방법에 의해 추정된 COD, SS, T-N, T-P부하량과 실측값은 <그림 6-16~17>에 나타내었다. MLR과 PRC는 GP, ANN에 비해 SS부하량을 더 작게 모의하였다.

농업용저수지 수질관리에 있어서 강우에 의해 유출된 총부하량이 중요하기 때문에 각 방법별 총부하량을 비교하였다. GP와 ANN은 실측된 총부하량과 유사하게 모의되었다. 비록 PRC방법은 하천유량만을 사용하지만, PRC방법에 의해 모의된 부하량은 SS를 제외하고 MLR, GP, ANN에 의해 모의된 결과와 비슷한 범위를 나타내었다.

(표 6-10) 유량을 포함하지 않은 부하량 추정식

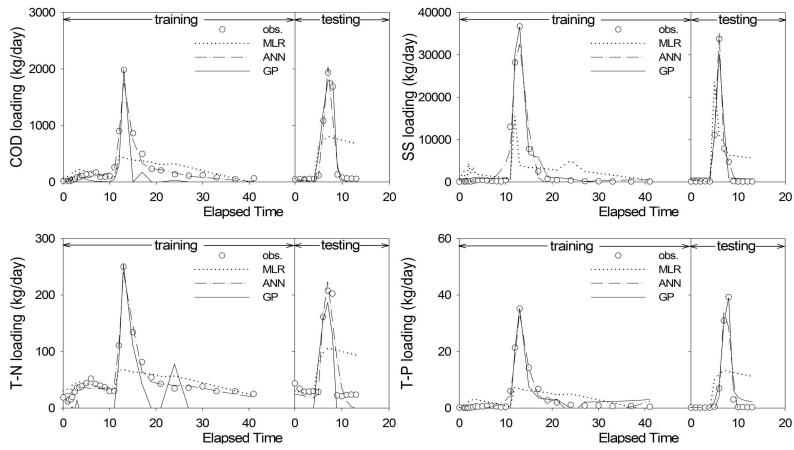
농도 추정		Equation
COD	MLR	$60.946 - 20.035 \times eT + 0.837 \times R + 15.894 \times cR$
	GP	$12.64 \times R + 0.6896^R \times \left(\left(\frac{0.3507 \times eT + 17.93}{10.11 + eT} \right)^{cR} + \frac{109.2 \times R}{0.6265 - R} \right)$
SS	MLR	$589.146 - 146.537 \times eT + 482.641 \times R + 125.125 \times cR$
	GP	$\left(0.8 + \frac{0.8224 \times cR \times R + 4.13}{cR - 38.86} \right) \times (1359 - R \times eT - 24.7 \times R - cR \times eT)$
T-N	MLR	$30.239 - 2.049 \times eT - 0.071 \times R + 1.63 \times cR$
	GP	$\frac{cR \times (0.007822 - R) \times (R - 9.98 \times cR + 66.17)}{1.101^{cR} + 144.6 \times R + eT^2 - 270.2}$
T-P	MLR	$0.245 - 0.346 \times eT + 0.013 \times R + 0.279 \times cR$
	GP	$\frac{eT \times cR + 0.0499 \times eT \times R \times cR \times (36.74 - cR)}{(-eT + cR + 0.5333 \times cR) \times eT - 603}$

eT : 경과시간, R : 강우량, cR : 누적강우량

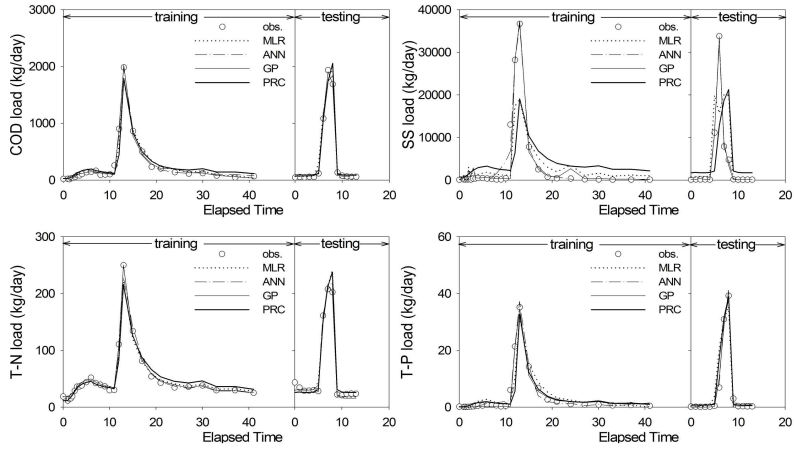
(표 6-11) 유량을 포함한 부하량 추정식

농도 추정		Equation
COD	MLR	$-113.42 - 1.144 \times eT + 5.603 \times R - 0.509 \times cR + 665.747 \times Q$
	GP	$(-1.038 \times eT + 1.984 \times R + 32.77) \times eT \times Q^2 - 117.1 \times Q^2 + 276.7 \times Q$
	PRC	$474.57 \times Q^{1.26}$
SS	MLR	$-1381.865 + 66.998 \times eT + 536.515 \times R - 60.299 \times cR + 7525.517 \times Q$
	GP	$(1230 + 3735 \times Q - cR \times Q \times (69.39 + Q)) \times (R + Q) \times Q$
	PRC	$6643.9 \times Q^1$
T-N	MLR	$10.306 + 0.11 \times eT + 0.474 \times R - 0.245 \times cR + 76.106 \times Q$
	GP	$Q \times (115.1 - cR + 0.01786 \times Q \times eT \times (6.898 \times R + eT))$
	PRC	$85.079 \times Q^{0.884}$
T-P	MLR	$-2.985 + 0.004 \times eT + 0.101 \times R - 0.025 \times cR + 12.331 \times Q$
	GP	$\frac{(Q + Q^{-251.53 \times Q^{21.89}} + 0.3272 \times cR \times Q) \times eT \times Q}{eT + 30}$
	PRC	$6.081 \times Q^{1.596}$

eT : 경과시간, R : 강우량, cR : 누적강우량, Q : 하천 유량



<그림 6-16> 부하량 모의 결과(유량 미포함)



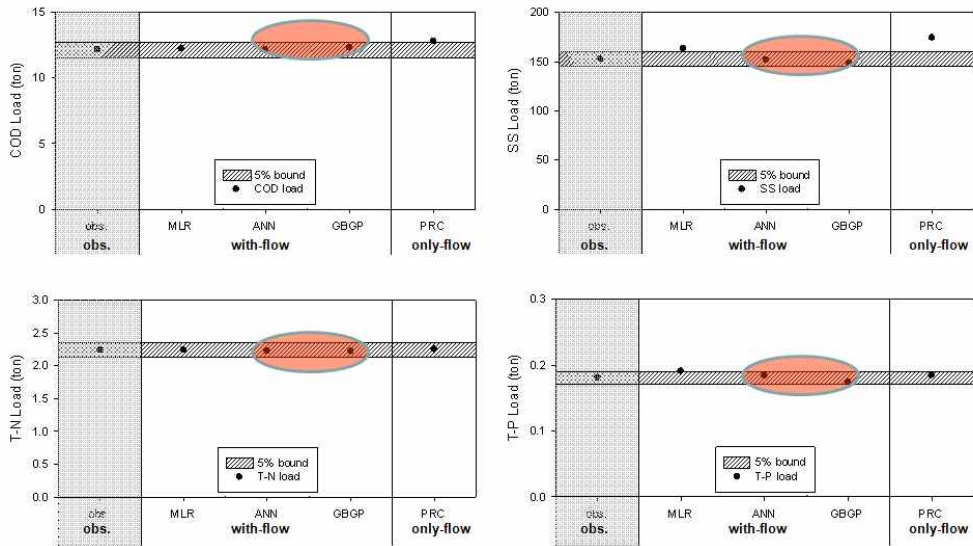
<그림 6-17> 부하량 모의 결과(유량 포함)

(표 6-12) 부하량 모의결과의 RMSE 및 R²

		without-flow			with-flow			only flow
		MLR	ANN	GP	MLR	ANN	GP	PRC
COD	RMSE	427	125	204	95	55	36	111
	R ²	0.26	0.95	0.87	0.96	0.99	0.99	0.95
SS	RMSE	7497	1701	2427	5839	1376	2091	6917
	R ²	0.26	0.96	0.92	0.55	0.98	0.94	0.37
T-N	RMSE	49	16	35	10	7	4	11
	R ²	0.22	0.92	0.87	0.97	0.99	0.99	0.96
T-P	RMSE	8	3	2	3	1	1	3
	R ²	0.22	0.93	0.95	0.88	0.99	0.98	0.89

(표 6-13) 강우시 유출된 총부하량 모의 결과

	obs. (ton)	without-flow			with-flow			only flow
		MLR	ANN	GP	MLR	ANN	GP	PRC
COD	12.15	12.18	10.66	8.78	12.25	12.16	12.32	12.80
SS	152.7	152.7	153.6	157.6	163.44	151.5	148.7	174.3
T-N	2.240	2.240	2.166	2.137	2.240	2.226	2.220	2.251
T-P	0.181	0.184	0.166	0.183	0.191	0.184	0.174	0.185



<그림 6-18> 강우시 유출된 총부하량

4. 적용성 평가 결론

본 연구는 농업용저수지 수질관리모델 개발을 위해 기존에 많이 사용되고 있는 수치모델이 아닌 수집된 자료로부터 수질을 예측하는 데이터기반의 모델링(data based modeling) 방법을 선택하였다. 여러 데이터기반의 모델링 방법 중 인공지능기법을 이용해 수질관리모델을 개발할 수 있는 유전자프로그래밍(genetic programming)기법과 인공신경망(ANN)기법을 선택하였다.

선택된 인공지능기법으로부터 다양한 수질모델 도출이 가능한지 평가하기 위해 현장에서 실측한 강우기조사자료(시간별 강우량 및 강우유출수 농도)를 이용해 강우량으로부터 강우유출수 농도 및 부하량을 모의할 수 있는 수질모델

을 도출하였다. 도출된 모델의 정확도를 평가하기 위해 데이터기반의 모델링기법 중 가장 대표적이면서 사용이 용이한 다중선형회귀모형(MLR)을 같이 적용하여 그 결과를 비교·분석하였다.

경기도 용인시에 위치한 이동저수지 유역 내 2개 지점에서 2007년 6월과 2009년 8월에 2시간 간격으로 일주기조사를 실시해 얻은 유량 및 수질자료를 이용해 3개의 모델링 방법 적용하였다. 2시간 강우량, 누적강우량, 유량자료를 입력자료로 이용해 강우유출수의 COD, T-N, T-P의 농도를 모의하였다. 식을 지정한 후 상수만을 추정하는 MLR보다 인공지능기법의 하나인 ANN과 GP기법을 이용한 결과가 실측값과 더 유사하게 모의되었다. ANN과 GP기법 모두 실측값과 유사한 모의값을 얻을 수 있지만, 도출된 식을 바탕으로 추가 모델링을 실시할 수 있는 GP기법을 이용하는 것이 훨씬 유용하였다. 유역정보와 강우량 자료를 이용해 간단한 유역모델로 강우유출수의 유량을 모의한 후 모의된 유량을 GP를 이용해 도출된 식에 대입하여 쉽게 강우유출수의 농도 및 부하량을 모의할 수 있었다.

이상에서와 같이 본 연구에서 적용한 GP기법은 수집된 자료로부터 수질을 예측할 수 있는 모델을 정상적으로 도출할 수 있었다. 적용한 GP를 이용해 농업용저수지 수질측정망의 저수지 제원 및 유역 오염부하량자료로부터 수질을 예측할 수 있는 모델을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

7장 요약 및 결론

7장 요약 및 결론

본 연구에서는 장기간 수집된 농업용저수지 수질측정망자료를 인공지능기법을 활용하여 저수지의 수질을 효율적으로 관리할 수 있는 농업용저수지 잠재수질지수 및 수질관리모형을 개발하여 수질관리 담당 실무자들에게 제공함으로써 농업용저수지 수질관리 및 수질개선사업을 활성화하여 농촌생활환경개선에 기여하고자 한다. 2차년도 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1절 농업용저수지 유역과 저수지 수질특성 분석

‘유역의 발생부하량 및 제원’, ‘유입하천 유량 및 수질’과 ‘저수지 수질’과의 상관관계를 분석하기 위해 경기도내 측정망대상저수지(55개소) 중 접근이 용이한 31개소에 대해 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질을 현장 조사하였다.

유입하천의 유량 및 수질과 저수지 수질과는 매우 높은 상관관계를 나타낸 반면, ‘유역의 발생부하량 및 제원’과 ‘유입하천 유량 및 수질’, ‘유역의 발생부하량 및 제원’과 ‘저수지 수질’사이에는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

2절 수질측정망 자료 DB구축 및 수질관리시스템 개발

1차년도에 구축하였던 데이터베이스에 2011년 농업용저수지 수질측정망 자료를 추가하여 DB를 갱신하였으며, 개별 저수지의 유역특성을 분석할 수 있도록 유역경계, 동리경계, 하천도 GIS자료를 구축하였다.

수질측정망결과를 관리조직별(도본부, 지사, 개별저수지), 연도별로 여러 형태의 분석자료 및 통계값을 제공하기 위해 Adobe Flash를 이용해 수질측정망 자료분석시스템을 개발하였으며, 적용성 분석을 통해 자료분석시스템의 문제점을 보완하였다. 또한 수질측정망자료의 공간적인 분포를 쉽게 나타내기 위해 인터넷지도를 함께 공간정보자료를 제공하는 수질측정망 자료관리시스템을 개발하였으며, 자료분석시스템, 자료관리시스템, 수질모의시스템이 통합된 수질측정망 수질관리시스템의 형태를 개발하였다.

3절 농업용저수지 잠재수질지수 개발

농업용저수지의 수질상태를 평가하기 위해 3가지 형태의 종합수질지수

(TSI, LQI, K-WQI)를 검토한 결과 장기간 연구를 통해 다양한 수질항목을 고려할 수 있도록 개발된 LQI가 적합하다고 판단되어, 농업용저수지 수질측정망자료를 이용해 LQI개발방법과 동일한 방법으로 농업용저수지 수질지수 LQIar을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 잠재수질지수는 기존의 수질관련 지수와 달리 저수지 수질에 미치는 인자(실측 수질자료 제외)만을 이용해 산정할 수 있는 지수임. 잠재수질지수를 개발할 경우 유역의 오염부하량, 토지이용 등 유역환경변화에 따른 수질변화 분석이 가능하여 간단한 수준의 수질모의가 가능하다.

저수지 수질에 영향을 미치는 인자로 저수지 제원(유역면적, 만수면적, 유효저수량, 유효수심, 수해면적), 연도별 COD, T-N, T-P의 발생부하량(생활계, 축산계, 점원, 전체) 및 연도별 연평균 강우량과 30년 평균 대비 비율을 선정하였다.

구축한 수질측정망DB와 기존에 개발된 수질관련 지수(COD기준 호소수질등급, 4가지항목 평균 호소수질등급, LQI10, LQI10ar, Vollenweider영양상태, COD농도의 정수값인 CODindex)를 이용해 ECM을 학습시킨 후 기존의 수질관련 지수를 산정할 수 있는 fuzzy rule을 도출하였다.

도출된 fuzzy rule을 이용해 6가지 잠재수질지수를 산정하고 그 결과를 비교·분석한 결과 기존방법을 이용한 결과와 매우 유사하게 나타남. 그중 LQI를 10등급으로 변형시킨 지수(LQI10ar)가 잠재수질지수 형태로 적합한 것으로 나타났다.

4절 수질관리모델 개발을 위한 인공지능 기법 연구

수질관리모델을 개발하는데 사용할 수 있는 인공지능기법으로 유전자프로그래밍(Genetic Programming)기법을 선정하였다. 실측한 자료로부터 수질을 예측할 수 있는 모델을 정상적으로 도출할 있는지 평가한 결과 정확도 높은 모델함수식을 도출하였다.

3차년도에 GP를 이용해 저수지제원 및 부하량으로부터 수질을 예측할 수 있는 모델 도출이 가능할 것으로 판단된다.

연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

연구목표	연구목표 달성 실적	달성도	대외 기여도
농업용저수지 유역 및 수질특성 분석	-31개 저수지 현장조사 -실측자료와 측정망자료를 활용한 상관관계 분석	100%	100% 기초자료 제공
농업용저수지 수질측정망자료 수집 및 DB구축	-저수지 제원, 오염원, 수질 관련 자료 수집 -수집된 자료를 MS-Access, MySQL을 이용해 DB구축	100%	100% 구축된 DB 실무자 제공
농업용저수지 수질측정망 수질관리시스템 개발	-수질측정망 자료분석시스템 개발 -공간적인 분석을 위해 인터넷 지도를 기반으로 한 자료관리시스템 개발 -자료분석시스템과 자료관리시스템이 포함된 수질관리시스템 개발	100%	100% 개발된 시스템을 수자원관리처에 제공
농업용저수지 잠재수질지수 개발	-인공지능기법을 이용한 잠재수질지수 개발 및 적용성 평가	100%	100% 실무부서에 제공하여 저수지 수지평가에 활용
농업용저수지 잠재수질지수 및 수질관리모델 개발을 위한 인공지능기법 연구	-잠재수질지수를 개발할 수 있는 인공지능기법(ECM) 선정 및 개발 -수질관리모델을 개발할 수 있는 인공지능기법(GP) 선정 및 적용성 평가	100%	100% 최신의 인공지능기법 제공

연구개발결과의 활용계획

(1) 활용하고자 하는 사업명(또는 정책명)

- 본사 농업용저수지 신규 개발사업 타당성 분석
- 농업용수 수질개선사업 타당성 분석
- 지방자치단체 농업용저수지 유역 내 신규 오염원 입지 인허가

(2) 활용 주관부서(공사 부서)

- 농림수산식품부 농업기반과
- 한국농어촌공사 수자원관리처, 지역본부, 농어촌연구원
- 시도 및 지방자치단체 농업용저수지 담당자

(3) 사업(또는 정책) 반영내역 및 계획

- 실무부서에 제공하여 농업용저수지 관리를 위한 도구 활용
- 전국 농업용저수지 수질관리를 위한 신규 관리정책 수립
- 수질개선사업 설계를 위한 시나리오분석 및 설계에 활용

(4) 사업부서 교육 및 기술지원 내역 및 계획 등 기타활용 방안

- 본사 및 지역본부 등의 실무자를 대상으로 한 교육 및 매뉴얼 배포를 통한 실용화
- 연구결과의 전문학술지 게재 및 학술발표를 통한 홍보

참고문헌

참고문헌

- 권순국 (1998) 우리나라 비점원 수질오염관리의 문제점과 개선방안. 한국환경 공학회지
- 한국농어촌공사 (2010) 농업용수 수질관리 매뉴얼
- 한국농어촌공사 (2011) 통합수자원관리시스템 구축을 위한 마스터플랜 수립 최종보고서.
- 농림수산식품부 (2010) 농업용수 수질측정망조사 보고서. 한국농어촌공사
- 농어촌연구원 (2010) 농업용저수지 유형별 수질예측모델 적용방안 연구. 한국 농어촌공사 농어촌연구원
- 문병로 (2008) 쉽게 배우는 유전 알고리즘 : 진화적 접근법
- 최영길 (1995) 담수의 부영양화. pp.168-210
- 최지용 (1996) 종합수질지표의 개발. KETRI 기본과제 연구보고서.
- David G. Smith (1989) A New Form of Water Quality Index for Rivers and Streams, Wat. Sci. Tech. 21(2):123-127
- Denis Couillard and Yves Lefebvre (1986) Indice de qualité de l'eau pour détecter l'impact de la pollution diffuse urbaine, Can. J. Civ. Eng., 13
- Dojlido J., J. Raniszewski and J. Woyciechowska (1994) Water Quality Index - Application for Rivers in Vistula River Basin in Poland, Wat. Sci. Tech. 30(10):57-64
- EPA (1994) Illinois Assessment Methodology, Illinois'. 305(b) Report
- EPA (1994) Ohio Assessment Methodology, Ohio. 305(b) Report
- EPA (1996) Guideline for Preparation of the State Water Quality Assessments. 305(b) Reports
- Erondu E. S. and E. C. Nduka (1993) A Model for Determining the Water Quality Index(WQI) for the New Calabar River at Aluu-Port Harcourt, Nigeria, Inter. J. Environmental Studies, Vol. 44, pp. 131-134
- Evdokimov S. A (1990) Generalized Surface Water Quality Indices, Scientific-Research Institute of Economics and Organization of Material and Technical Supply. No. 2: 109-114, March-April
- H. Barbosa (1997) A coevolution genetic algorithm for a game approach to structural optimization. International congerence on Genetic

- Algorithms. pp.545-552
- House, M. A., D. H. Newsome (1989) Water Quality Indices for the Management of Surface Water Quality, *Wat. Sci. Tech.* 21:1137-1148
- House, M. A., J. B. Ellis (1987) The development of Water Quality Indices for Operational Management, *Wat. Sci. Tech.* Vol.19. No.9
- M. Candido, S. Khator, R. Barcia (1998) A genetic algorithm based procedure for more realistic job shop scheduling. *International Journal or Production Research* 36(12):3437-57
- Michael Negnevitsky (2009) *Artificial Intelligence* 2nd Edition
- Mohammed Y. Al-Ani, Samahat M. Al-nakib (1987) Water Quality Index Applied to the Classification and Zoning of Al-Jaysh Canal, Baghdad-Iraq, *Environ. Sci. Health*, A22(4):305-319
- Hong, B. C. Paik (2007) Evolutionary Multivariate Dynamic Process Model Induction for a Biological Nutrient Removal process. *Journal of Environmental Engineering* 133:12(1126)
- T. Hong, P. A. White (2005) Automatic rainfall recharge model induction by evolutionary computational ineffligence. *Water Resources Research* 41, W08422
- T. Hong, R. Bhamidimarri (2007) Online Nonlinear Sequential Bayesian Estimation of a Biological Sequencing Batch Reactor for BOD and Ammonia Removal.
- Timothy Hong *et al.* (2003) Analysis of municipal wastewater treatment plant using a neural network-based pattern analysis. *Water Research* 37:1608-1618
- US. EPA (1976) *Water Quality Criteria*

분야별 공동연구 참여자 명단

구분	전공	성명	직위	업무 분야	경력
주관연구기관 한국농어촌공사 농어촌연구원	생물학	김미옥	수석연구원 (물환경팀장)	연구지도 및 연구방향 제시	박사 수료
	지역건설 환경공학	함중화	주임연구원 (연구총괄)	연구 총괄 시스템 및 지표개 발	박사
	농공학	김형중	주임연구원	측정망자료수집 및 DB구축	박사
	환경과학	김동환	연구원	현장조사 및 상관관계 분석	석사
위촉연구원 London South Bank University	환경공학	Timothy Hong	교수	인공지능기법 개발	박사

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

■ 발 행 처

인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델 개발	
발행일	2012. 12
발행인	정 해 창
발행처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055
※ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	