발 간 등 록 번 호
11-1541000-001117-01

http://rri.ekr.or.kr

인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델 개발(Ⅰ)

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

2011. 12.

농림수산식품부
Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries
한국농어촌공사
ISO 9001 / ISO 14001 인증

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델 개발” 과제의 1차년도 보고서로 제출합니다.

2011 년 12 월 일

주관연구기관명 : 한국농어촌공사
농어촌연구원
연 구 책 임 자 : 함종화(총괄)
연 구 원 : 홍대벽(1-1,1-2,1-3,1-4)
김형중(3-1,3-2)
김동환(2-1,2-2)

위 촉 연 구 원 : Timothy Hong(5-1,5-2)

요 약 문

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

2. 연구기간 : 2011년 3월 ~ 2011년 12월 (3년 중 1차년)

3. 연구개요

3.1 연구배경 및 필요성

○ 현재 많은 종류의 저수지 수질예측모델이 제시되어 있으나 입력변수가 다양하고 많기 때문에 전문적 지식을 충분히 갖추고 있지 않은 일선 실무자들은 모델 구동에 어려움이 있음

○ 복잡한 수질예측모델에 대한 지식 및 경험이 있더라도, 대부분의 농업용저수지의 경우 실측자료 부족으로 모델 구동을 위한 입력자료를 생성할 수 없음

○ 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 비효율적임

○ 전국 농업용저수지에 수질개선을 위한 전체적인 마스터플랜 수립과 같은 정책결정을 위해 간단한 모델을 이용해 빠르게 수질예측을 할 수 있는 정책결정 지원용 수질모델이 필요함

○ 이러한 모델을 통해 전국단위의 합리적인 수질개선정책 수립이 가능하고 수질개선을 위한 다양한 기법들이 모델을 통해 합리적으로 평가되어 다양한 수질개선대책들이 개발·적용 될 수 있음

○ 농업용저수지 둑 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 가능해짐

○ 국민들의 의식수준 변화로 농업용저수지 신규 개발을 포함한 대규모 개발사업에 앞서 합리적인 방법으로 수질을 예측함으로써, 개발사업이 수질에 큰 영향을 미치지 않음을 증명해야만 개발에 동의하고 있음

○ 본 연구에서는 장기간 수집된 농업용저수지 수질측정망자료를 인공지능기법을 활용하여 저수지의 수질을 효율적으로 관리할 수 있는 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델을 개발하여 수질관리 담당 실무자들에게 제공함으로써 농업용저수지 수질관리 및 수질개선사업을 활성화하여 농촌생활환경개선에 기여하고자 함

3.2 목 적

○ 농업용저수지 측정망자료 DB 구축 및 분석시스템 개발

○ 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델 개발(2~3차년도)

○ 개발된 수질 지표 및 관리모델의 사용자 매뉴얼 작성, 배포(3차년도)

3.3 연구범위 및 내용

1) 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석

○ 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석을 위한 대상저수지를 선정

○ 측정망자료를 이용해 선정된 저수지의 유역 및 저수지 특성 분석

○ 저수지 및 유입하천 유량 및 수질조사

○ 측정망자료와 현장 조사자료를 활용한 유역, 유입하천, 저수지 상관관계 분석

2) 농업용저수지 측정망 자료 DB구축 및 분석시스템 개발

○ 공사 내 존재하는 측정망 관련 자료 수집

- 저수지제원, 오염부하량, 수질자료 등

○ 수집된 측정망 자료 분석

○ MS-Access와 MySQL을 이용한 측정망 DB구축

○ 구축된 측정망자료를 검색 및 분석할 수 있는 웹기반의 측정망 자료 분석시스템 개발

3) 농업용저수지 수질지표 및 관리모델 개발

○ 외국의 수질지표 개발 사례 조사 분석

○ 측정망 자료 중 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출

○ 인공지능 기법을 이용한 농업용저수지 수질지표 개발기법 개발

○ 다양한 인공지능기법을 이용한 수질지표 개발(2차년도)

○ 개발된 수질지표를 추정할 수 있는 관리모델 개발(3차년도)

-GBGP기반의 evolutionary model induction system을 이용

○ 개발된 모델에 사용할 수 있는 다양한 시나리오 분석기능 개발(3차년도)

3.4 연구 진행 방법

3.5 기대효과 및 실용화 계획

1) 기대성과

○ 농업용저수지 수질관리를 위한 간단한 수질예측기법 제공

○ 농업용저수지의 수질을 쉽고 빠르게 예측 가능

○ 인공지능기법을 이용한 수질예측기술 개발을 통한 세계적수준의 연구결과 도출

○ 농업용 저수지 수질개선사업 활성화에 따른 농어촌용수 수질보전기술의 발전

○ 농업용수 수질개선계획 수립업무의 효율성 제고

○ 수질개선사업 활성화를 통한 농업용수 수질보전 및 쾌적한 농어촌지역 유지

○ 수질개선사업관련 산업의 발달에도 기여할 것으로 기대됨

2) 실용화계획

○ 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획

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

○ 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

4. 연구결과

□ 농업용저수지 유역과 저수지 수질 특성 분석

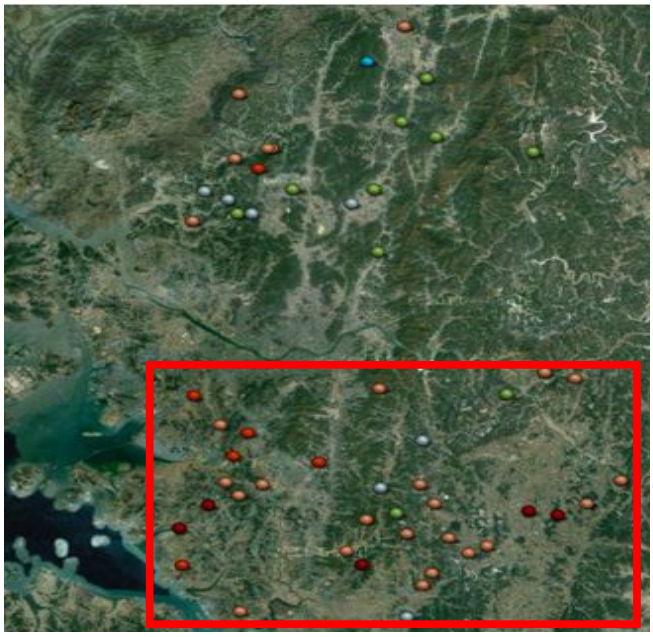
- 대상저수지 선정 및 조사방법

  ○ 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 26개소 선정.

  ○ 조사방법 : 강우에 의한 영향 및 저수지별 조사시기에 따른 영향을 배제하기 위해 단기간 내에 현장조사 실시 (2011년 6월 20 ~22일).

  ○ 조사항목 : 유입하천의 수질 및 유량, 저수지 수질.



- 대상저수지 유역 및 저수지 특성 분석

  ○ 분석방법 : 대상저수지의 수질측정망자료를 이용해 유역면적, 토지이용면적, 발생부하량, 저수지 유효저수량, 만수면적, 유효수심, 2010년 연평균 COD, T-N, T-P 농도 및 수질등급.

  ○ 유역특성 : 26개 대상저수지의 유역면적, 발생부하량은 저수지별로 큰 차이가 있었음.

	유역면적(ha)	발생부하량(kg/day)		
		BOD	T-N	T-P
min	170	3	4	0.3
median	743	96	61	6.5
max	9300	5222	1462	162.8
mean	1515	455	190	23.2

○ 저수지특성 : 26개 대상저수지의 저수량, 만수면적은 유역특성과 같이 큰 차이를 나타낸 반면, 유효수심 및 저수지 평균 수질은 상대적으로 큰 차이가 나지 않음. 대상저수지의 2010년 평균 COD농도는 7.4 mg/L로 4등급을 나타냄.

	저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	유효수심 (m)	'10 평균수질(mg/L)			수질 등급('10)
				COD	T-N	T-P	
min	145	5	1.2	4.3	0.93	0.011	3
median	1119	37	3.8	6.7	1.51	0.036	4
max	20906	305	9.4	12.2	4.27	0.113	6
mean	3063	57	4.6	7.4	1.82	0.044	4

- **유입하천 및 저수지 수질조사 결과**

○ 하천 유량 및 수질 특성 : 저수지별 유입하천의 유량은 큰 차이를 나타냄 (25 ~ 44,499 ㎥/day). COD는 평균 7.2 mg/L를 나타냈으며, 동방저수지의 유입하천이 17.6 mg/L로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 두창저수지의 유입하천이 1.7 mg/L로 가장 낮은 농도를 나타냄. 평균 Chl-a는 5.2 mg/㎥로 낮은 값을 나타냈으나, 물왕저수지의 유입하천에서 39.1 mg/㎥로 가장 높은 값을 나타냄.

	유량 (㎥/day)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/㎥)
min	25	1.7	1.1	0.8	1.3	0.085	0.6
median	1865	6.2	4.2	3.3	3.1	0.140	3.2
max	44,499	17.6	14.9	41.4	10.1	1.307	39.1
mean	7,672	7.2	5.0	6.8	3.5	0.242	5.2

○ 저수지 수질특성 : 2010년 4회 실측한 수질측정망자료와 비교하면, COD,

T-N, T-P 모두 상대적으로 높은 농도를 나타냄. 이는 본 연구에서 현장조사를 실시한 시점이 모내기 직후로 논에 시비한 비료성분이 저수지로 유입되어 저수지 수질이 높게 나타남.

	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m³)	COD기준 수질등급
min	3.6	2.8	1.6	1.07	0.074	2.4	2
median	8.8	4.5	7.8	2.23	0.111	27.6	5
max	32.0	11.9	27.6	4.05	0.352	387.3	6
mean	10.7	5.4	8.8	2.32	0.127	48.2	5

- **유역, 하천, 저수지의 상관관계 분석**

○ 하천과 저수지 상관관계 : 하천의 유량 및 수질과 저수지 수질의 상관관계를 분석한 결과 저수지의 COD농도는 유입하천의 COD, TOC, T-N, T-P, Chl-a와 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 저수지의 Chl-a는 유입하천의 COD, TOC, TP와 높은 상관관계를 나타냄.

○ 하지만 저수지의 T-N의 농도는 유입하천의 모든 수질항목과 상관관계가 없는 것으로 나타났으며, 유입하천의 유량은 저수지의 Cl^-를 제외한 모든 항목에서 상관관계가 없는 것으로 나타남.

○ 전체적으로 T-N을 제외하고 저수지 수질은 유입하천의 수질과 높은 상관관계를 나타냄.

		유입하천							
		유량	COD	TOC	SS	Chl-a	T-N	T-P	Cl^-
저수지	COD	-0.02	**0.54****	**0.59****	0.26	0.29	**0.51****	**0.70****	**0.39***
	TOC	-0.08	**0.40***	**0.51****	-0.01	0.07	**0.56****	0.34	0.27
	SS	0.29	0.23	0.18	**0.69****	**0.67****	0.08	0.16	**0.43***
	Chl-a	0.00	**0.54****	**0.56****	0.28	0.30	0.38	**0.87****	0.36
	T-N	0.30	-0.31	-0.25	0.17	0.17	0.12	-0.21	-0.15
	T-P	-0.06	**0.66****	**0.71****	**0.43***	**0.48***	0.29	**0.82****	0.31
	Cl^-	**0.65****	0.38	**0.42***	0.38	0.33	0.22	0.29	**0.89****
	수질등급	0.03	**0.48***	**0.48***	0.35	0.34	**0.45***	**0.40***	**0.43***

○ 유역과 유입하천 상관관계 : 유역면적, 부하량과 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 부하량(BOD, T-N, T-P)과 상관관계가 있는 것으로 나타남. 그 이외의 항목에 대해서는 상관관계가 없는 것으로 나타남.

○ 하천의 T-N농도를 제외하고는 유역의 발생부하량(BOD, T-N, T-P)과 상관관계가 없는 것으로 나타남. 그 원인으로는 배출부하량이 아닌 발생부하량을 이용한 점과 조사일이 모내기 전후로 논에 뿌려졌던 비료성분이 하천으로 유입되면서 발생부하량과 상관관계가 상대적으로 낮게 나타났을 가능성이 있으며, 정확한 원인 분석을 위해 다른 시기에 추가 조사가 필요함.

		유역 측정망자료			
		유역면적	발생부하량		
			BOD	T-N	T-P
하천	유량	**0.48***	**0.57****	**0.63****	**0.63****
	COD	-0.09	-0.04	-0.03	-0.01
	TOC	-0.09	-0.02	-0.01	0.02
	SS	0.03	0.02	0.04	0.03
	T-N	-0.11	**0.58****	**0.48***	**0.46***
	T-P	-0.12	-0.01	-0.03	-0.03
	Chl-a	0.07	-0.03	0.01	0.02
	Cl	-0.02	0.16	0.16	0.15

○ 유역과 저수지 상관관계 : 유역의 발생부하량(BOD, T-N, T-P)은 저수지의 T-N농도와 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 저수지의 유효수심은 저수지의 COD, TOC, Chl-a, T-P, Cl^-, 수질등급과 음의 상관관계가 있는 것으로 나타남. 즉, 유효수심이 깊을수록 COD, TOC, Chl-a, T-P, Cl^-의 농도가 낮게 나타남.

○ 특히, 유역의 발생부하량과 저수지 수질과는 상관관계가 없는 것으로 나타나, 향후 수질측정망조사 시 발생부하량보다는 배출부하량을 조사하는 것이 적합할 것으로 판단됨.

'11년 현장조사자료		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	발생부하량			저수량	만수 면적	유효 수심
			BOD	T-N	T-P			
저수지 실측자료	COD	-0.25	-0.06	-0.09	-0.06	-0.29	-0.18	**-0.51****
	TOC	-0.27	-0.05	-0.08	-0.03	-0.29	-0.22	**-0.47***
	SS	0.21	0.06	0.10	0.10	0.16	0.23	-0.13
	Chl-a	-0.18	-0.07	-0.08	-0.07	-0.21	-0.10	**-0.46***
	T-N	0.33	**0.54****	**0.54****	**0.51****	0.32	0.33	0.30
	T-P	-0.13	-0.08	-0.09	-0.09	-0.17	-0.05	**-0.46***
	Cl^-	-0.09	0.13	0.12	0.12	-0.15	-0.01	**-0.50****
	수질등급	-0.28	-0.02	-0.06	-0.06	-0.33	-0.22	**-0.53****

○ 유역과 저수지 상관관계 (2010 측정망자료 이용) : 2010년 수질측정망자료 중 호소수질측정망을 제외한 812개소의 자료를 이용해 유역 및 저수지 제원과 저수지수질과의 상관관계를 분석한 결과 2011년 26개소의 실측자료만을 이용한 분석결과보다도 더 낮은 상관관계를 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.

'10년 측정망자료		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	발생부하량			저수량	만수 면적	유효 수심
			BOD	T-N	T-P			
저수지 실측자료	COD	-0.06	0.12	0.09	0.12	-0.08	0.05	**-0.50****
	TOC	-0.16	-0.06	-0.10	-0.07	-0.19	-0.10	**-0.43***
	Chl-a	-0.04	0.15	0.12	0.16	-0.06	0.03	-0.39
	T-N	0.07	0.27	0.25	0.26	0.01	0.06	-0.25
	T-P	0.02	0.22	0.19	0.23	-0.01	0.11	-0.38
	수질등급	-0.04	0.12	0.09	0.12	-0.07	0.07	**-0.51****

□ 농업용저수지 수질측정망 자료 수집 및 DB 구축

- 시설제원 및 조사지점 자료 수집

○2010년 저수지 통계연보 중 활용가능자료 : 통계코드, 시설명, 관리자(공사, 시군), 유역면적, 만수면적, 총저수량, 유효저수량.

○2010년 저수지 통계연보 중 기타자료 : 표준코드, 시설구분, 수원공구분, 관리구분, 지구명, 주소코드, 주소, 착공일자, 준공일자, 재원내역, 수혜면적, 한발빈도, 인가면적, 제당(구조, 높이, 길이), 여수토연장, 방수로연장, 홍수/갈수량.

○수질측정망 조사지점의 GPS자료(825개소) : 조사지점 위경도 및 세계측지계 좌표 및 설명.

○한국농어촌공사 관리 농업용저수지 위경도 좌표.

- 유역오염원 조사자료(연1회 조사) 수집

○연도별 오염원수 : 인구수, 축산두수(한우, 젖소, 돼지), 산업(유량), 양식(면적), 토지이용면적(논, 밭, 임야, 기타).

○연도별 BOD, T-N, T-P 발생부하량 : 생활계, 축산계(한우, 젖소, 돼지), 산업계, 양식계, 토지계(논, 밭, 임야, 기타), 총발생부하량.

○기타 : 연도별 주오염원, 통계코드, 주소코드, 시도, 시설명.

○추가자료 준비 중 : 환경부의 협조를 받아 환경부에서 구축된 배출부하량을 포함한 오염원자료를 제공받기위해 한국농어촌공사 수자원관리처에서 진행 중.

- 저수지 수질조사자료(연1~4회 조사) 및 기타자료 수집

○수질측정자료 : 조사일자(연월일), 수온, pH, EC, DO, BOD, COD, T-N, T-P, SS, Cl, Chl-a, TOC(2010년부터), 중금속(Cu, Pb, Cd, As, Hg; 연1회 조사), 수질등급.

○기타자료 : 일별 저수율자료, 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 자료분석시스템을 개발하기 위해 별도로 MySQL을 이용해 web DB를 구축함.

□ 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템 개발

- **공사내 수질측정망 관련 시스템 분석**

RIMS(농업기반시설관리시스템, 2000~2008)

○ 목적 : 공사관리 저수지, 용배수로에 대한 유지관리 종합정보 구축.

○ 제공자료 : 농업기반시설, 농업용수, 목적외사용, 재해관리, 통계연보, GIS자료.

○ 수질관련 기능 및 제공자료 : 각 지역본부에서 실측된 수질자료 입력, 저수지별 실측된 수질을 표로 제공, 수질항목별 연간 변화 그래프로 제공, 시설보고서를 연1회 pdf형태로 제공.

RAWRIS (농촌용수종합정보시스템, 2009~2010)

○ 개요 : 물관리정보통합시스템의 일부(환경부(수질), 국토부(수량), 농식품부(농촌용수))로 농촌용수 관련정보(수량, 수질, 지하수, 시설물자료)를 생성, 가공, 분석함.

○ 제공자료 : 수리시설물, 어도, 농촌용수관리 (저수량, 수위, 수질, 지하수), 재해관리(가뭄, 홍수), ArcGIS기반의 GIS시스템.

○ 특징 : Google지도와 GIS연계 처리, 수질DB는 RIMS자료 이용.

RIMS와 RAWRIS 단점

○ 단순히 개별저수지 수질자료를 표 및 그래프 형태로 제공(단순검색).

○ 관리기관(지역본부, 지사) 및 시·도별 통계자료가 제공되지 않음, 관리기관 및 시·도별 비교분석이 용이하지 않음, 전국 농업용저수지의 수질현황이 쉽게 파악되지 않음.

○ 개별저수지의 제원, 수질측정자료만 제공, 오염원자료(오염원수, 처리시설), 측정망변화, 기상자료가 제공되지 않음, 수질측정망 조사결과에 대한 종합적 분석자료 없음.

농업용수 수질측정망조사 보고서(연1회 발행)

○ RIMS와 RAWRIS와 달리 다양한 조사자료와 분석자료 제공.

○ 단점 : 보고서 내용이 DB화 되어있지 않고 보고서로만 제공되어, 이용자가 관심 있는 내용에 대한 직접적인 검색 및 분석이 불가능함.

○ 공사 내 측정망관련 시스템분석 결과 : 다양한 수질관련 조사자료와 분석자료가 제공되는 수질관리자를 위한 수질관리시스템이 필요.

- **수질측정망 자료분석시스템 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.

○ 개발과정 : 시스템 설계 및 구성 → 웹상의 화면 구성 및 개발 → DB와 시스템 연계.

- **수질측정망 자료분석시스템 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.

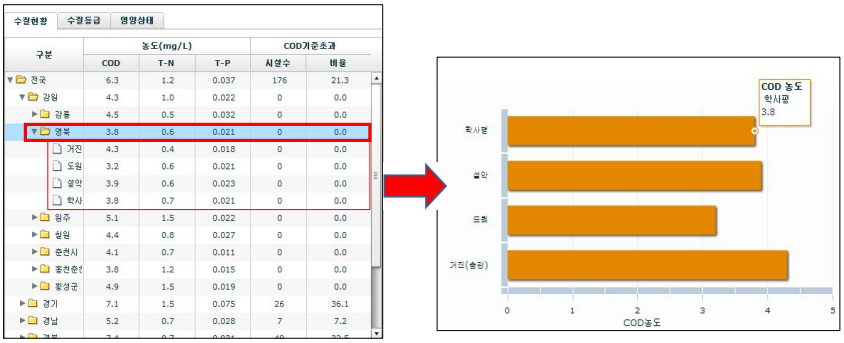
구분	농도(mg/L)			COD기준초과	
	COD	T-N	T-P	시설수	비율
▼ 전국	6.3	1.2	0.037	176	21.3
▶ 강원	4.3	1.0	0.022	0	0.0
▼ 경기	7.1	1.5	0.075	26	36.1
▶ 가평군	4.0	1.3	0.007	0	0.0
▶ 강화	8.0	1.0	0.035	8	66.7
▶ 강화군	5.7	1.4	0.019	0	0.0
▼ 안성	6.7	1.2	0.079	2	18.2
덕산	5.3	1.1	0.034	0	0.0
고삼	4.3	2.8	0.442	0	0.0

○지역별옵션 선택 시 연도별로 측정망자료를 tree구조로 제공함.

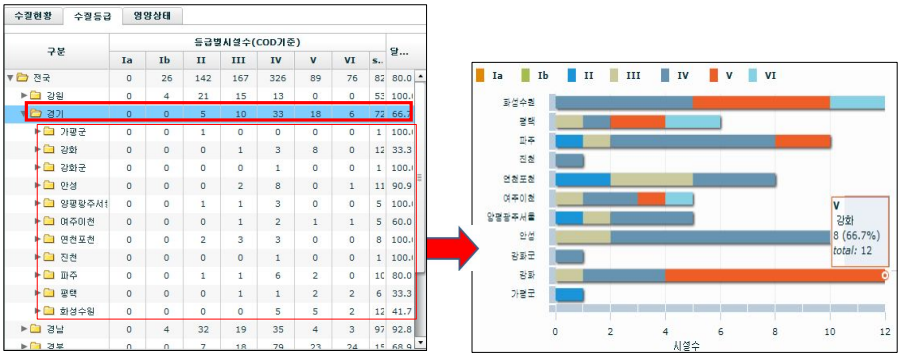
○연도별옵션 선택 시 지역별 측정자료를 연도순으로 제공함

○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 빠르게 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. 아래의 예에서 강화지사에서 관리하고 있는 12개 저수지 중 8개 저수지가 수질등급 5등급을 유지하고 있는 것을 알 수 있음.



- **개발된 수질측정망 자료분석시스템 구성**

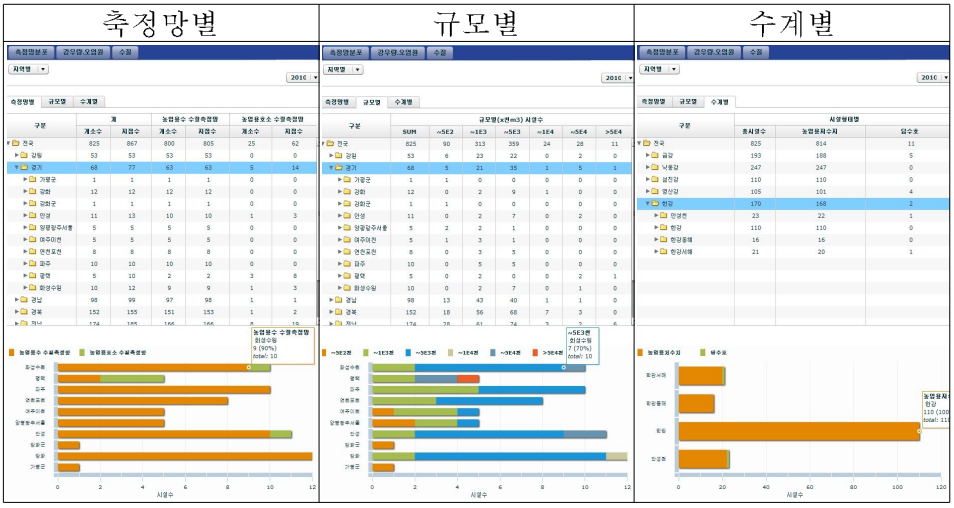
○농업용수 수질측정망자료 분석이 잘 되어 있는 '농업용수 수질측정망조사 보고서'를 이용하여 제공되는 분석자료를 유형별로 분류하여 다음과 같이 수질측정망 자료분석시스템의 메뉴를 구성함.

○측정망분포 (지역별, 연도별)

·측정망별 : 저수지측정망 및 호소측정망 개소수 및 시설수

·규모별 : 저수지규모별 시설수 (<500,<1000,<5000,<10,000,<50,000,>50,000)

·수계별 : 수계별 농업용저수지 및 담수호 시설수

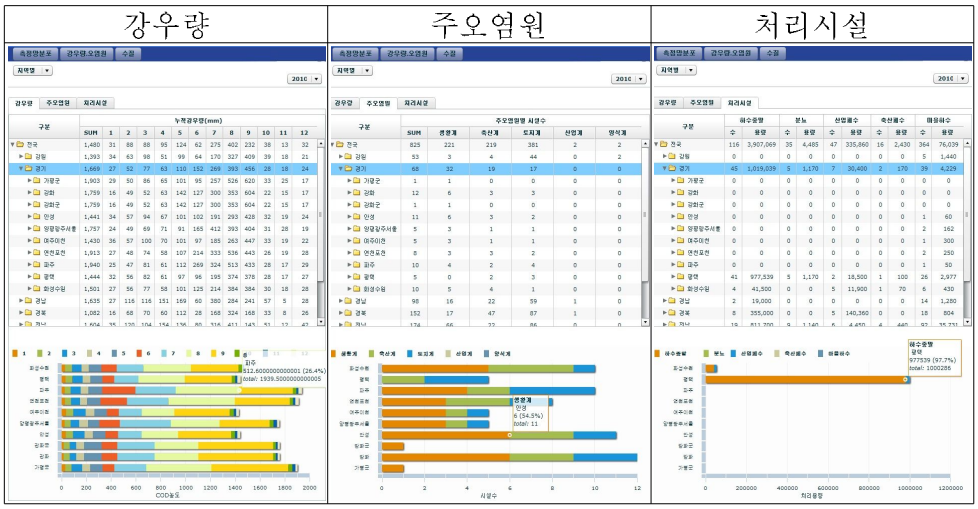


○강우량, 오염원 (지역별, 연도별)

·강우량 : 월간 누적 강우량

·주오염원 : 주오염원 종류별 시설수 (생활, 축산, 토지, 산업, 양식)

·수처리시설 : 종류별(하수종말, 분뇨, 산업폐수, 마을하수) 시설수 및 용량

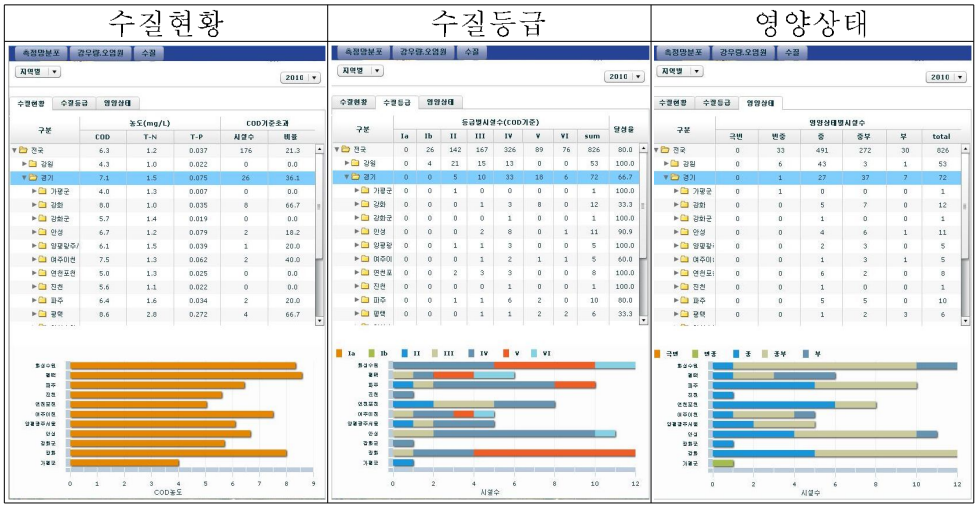


○수질현황 (지역별, 연도별)

·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)



- 수질측정망 자료분석시스템이 확장된 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.

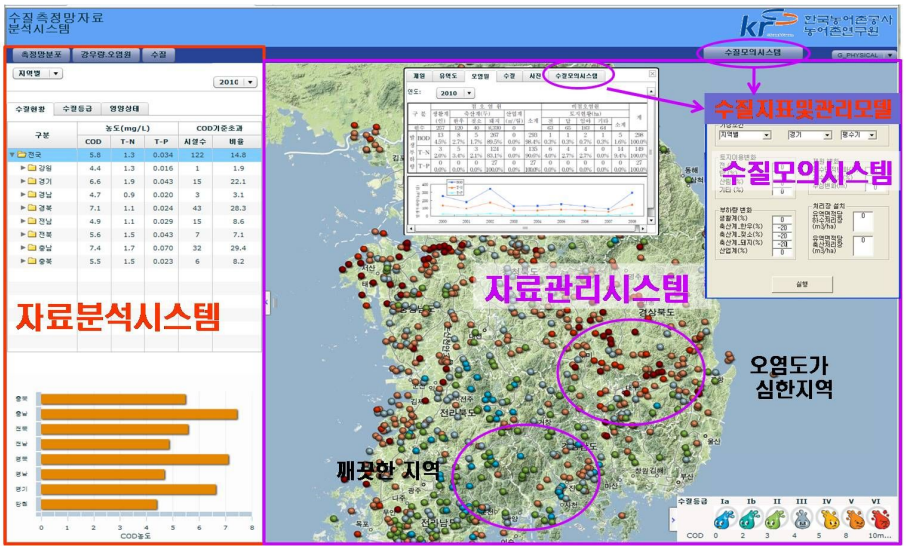
○수질측정망 수질관리시스템은 앞서 개발한 '수질측정망 자료분석시스템'을 포함하며, 향후 개발될 수질 지표 및 관리모델을 포함할 계획임.

○개발된 종합정보시스템은 좌측에 '수질측정망 자료분석시스템'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.

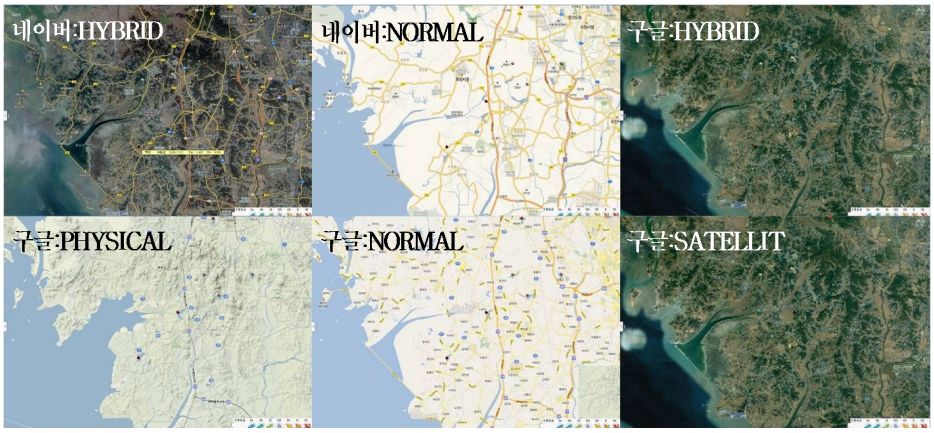
○관심 있는 저수지에 마우스를 올려놓으면, 해당저수지의 시설명, 현재 수질등급 및 COD, T-N, T-P 농도가 화면에 나타남.

○관심 있는 저수지에 마우스로 클릭하면, 선택된 저수지의 자세한 정보가 화면에 나타남.

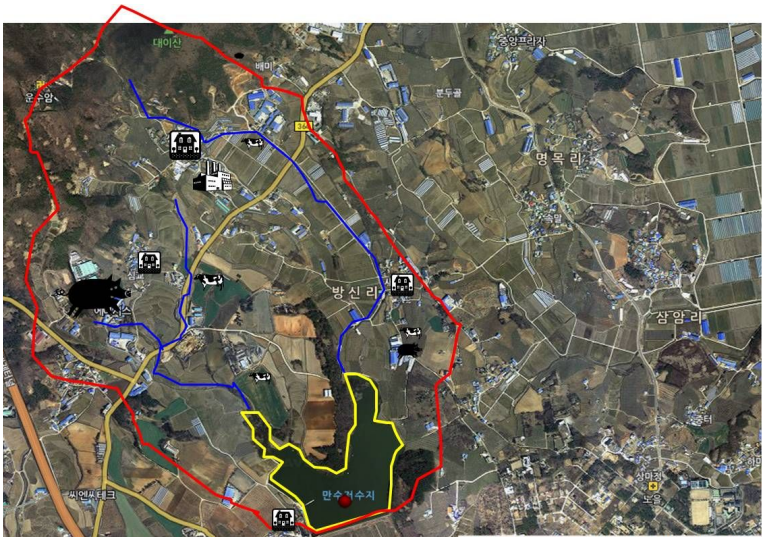


○인터넷지도별로 장단점이 있으므로, 본 연구에서는 구글지도와 네이버지도를

같이 적용하여, 간단한 선택으로 총 6가지 인터넷지도를 이용할 수 있음.



○관심 있는 저수지를 크게 확대시켜 해당저수지의 유역특성을 인터넷 지도를 통해 쉽게 파악할 수 있으며, 향후 다른 연구 과제를 통해 유역경계, 주요오염원 위치 등의 GIS자료 및 정보를 추가할 경우 저수지 관리자에서 매우 유익할 것으로 생각됨.



□ 농업용저수지 수질지표 개발을 위한 인공지능기법 연구

- 수질지표 개발 사례 조사

수질지표 개발 개요

○ 지표를 이용한 수질구분에 대한 최초 시도는 독일(1848)에서 수중미생물의

수와 물의 청정도를 연결하는 연구를 수행함.

○ 그 후 다양한 단일항목지표(BOD, COD, Chl-a)가 개발되어 사용되고 있으며, 국내에서도 단일항목지표로 수질기준을 나타내고 있음.

○ 단일항목으로 수질의 상태를 나타내는데 한계가 있어 여러 개의 단일항목지표를 결합하여 종합수질지표를 개발하여 사용함.

○ 최근에는 생태계의 중요성이 부각되면서 생태계평가지표가 개발되어 사용되고 있음.

외국의 수질지표 개발 현황

○ 미국은 종합수질지표가 가장 많이 연구된 곳으로 각 주는 수중생태계보존, 물고기섭취, 수영 등의 위락용도, 음용수용도 등과 같이 용도를 분류하여 적합성을 평가하고 있음.

○ 일본은 우리나라와 같이 중요한 몇 가지의 수질항목으로 수질을 평가하고 있으며 종합수질지표를 정부차원에서 개발하지는 않음.

○ 영국에서 사용되고 있는 공식적인 분류시스템은 하천수질을 DO, BOD, NH_3-N 등의 연간측정자료 95 %를 이용해 1A에서 4까지의 5개 등급중 하나에 속하는 것으로 분류하고 있음. 종합수질지표는 공식적으로 사용하지는 않지만 연구자들이 관심을 가지고 개발하고 있음.

○ 캐나다는 대장균, pH, 온도, 탁도의 4개 항목을 수질지표로 이용하고 있으며 대장균에 가장 큰 비중을 두고 있음. 이들 4가지 항목을 종합한 식을 이용해 수질등급을 나타냄.

○ 그 외 여러 나라에서 단일항목지표를 이용해 수질을 관리하고 있으며, 연구자들이 다양한 형태의 종합수질지표를 개발하고 있음.

국내 수질지표 개발 현황

○ 현재 우리나라는 pH, BOD, COD, SS, DO, T-N, T-P, 대장균과 같은 단일수질항목지표를 공식적으로 사용하고 있음.

○ 여러 연구자들이 종합수질지표를 개발하고 있는데, 김범철 교수는 대규모 댐에서 실측된 수질을 바탕으로 LQI(Korea Lake Water Quality Index)라는 종합수질지표를 개발하여 사용하고 있으며, 최지용박사는 K-WQI라는 종합수질지표와 K-WQI값 구간별 환경기준(Ⅰ : 85~100, Ⅱ : 70~84, Ⅲ : 60~69, Ⅳ : 50~59, Ⅴ : 40~49)을 개발하여 4대강에 적용함.

○ 최근 환경부에서는 하천의 생태계 건강성을 평가하고자 '하천생태계건강성평가지표'를 개발하고 적용하고 있으며, 추가로 호소의 생태계 건강성을 평가하기 위한 '호소생태계건강성평가지표'를 개발 중에 있음.

- **인공지능기법을 이용한 농업용저수지 지표 개발 기법 연구**

○ 통계분석, 인공지능기법 등 다양한 방법을 통한 수질지표를 개발할 계획

○ 인공지능기법을 이용한 수질지표개발 기법 개발은 풍부한 인공지능관련 연구경험이 있는 전문가에 의한 위촉연구를 1차년도에 수행함.

○ 개발된 기법을 이용해 2차년도에 다양한 수질지표를 개발할 계획임.

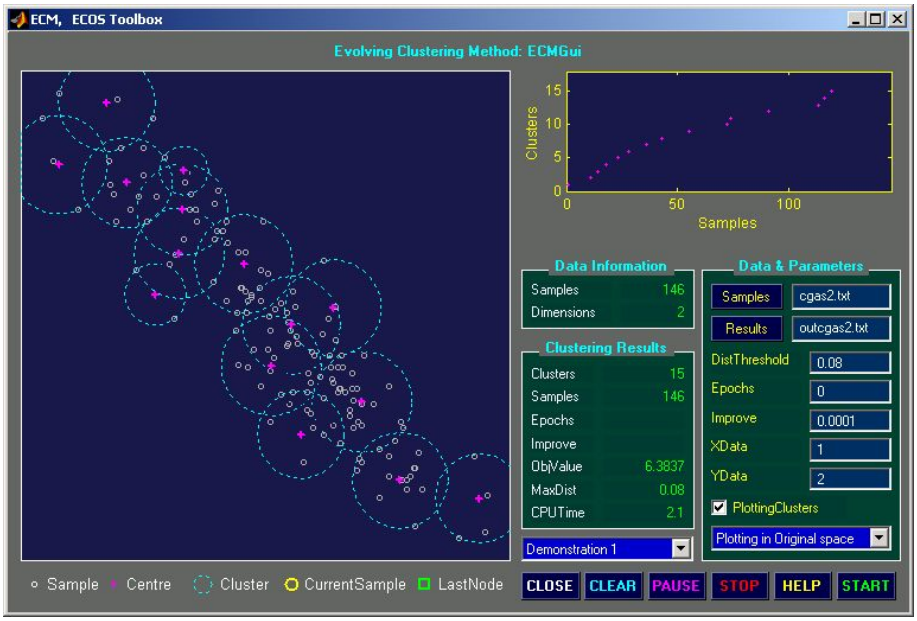
○ 인공지능기법 개발은 인공지능 관련 다양한 기법개발 경험을 보유한 London South Bank University의 Timothy Hong교수가 수행함.

○ Matlab7을 이용해 ECM(Evolving Clustering Method)를 개발함.

○ ECM은 동적으로 군집(cluster)을 분류해주는 프로그램으로 실측자료를 바탕으로 training과정을 거쳐 군집분류를 위한 fuzzy rule을 생성시켜줌

○ 사용자 편의를 위해 아래와 같이 GUI를 개발함.

○ 개발된 프로그램은 비교사(unsupervised)학습과 교사(supervised)학습 모두 수행할 수 있음.



- **개발된 인공지능기법 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 방법으로 ECM을 학습시킨 후 Fuzzy rule을 생성하고 기 분류된 수질등급(COD기준)과 동일하게 분류되었는지 확인함.

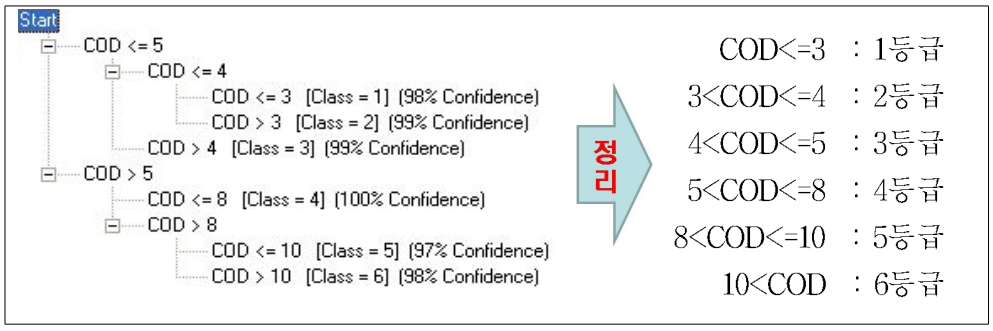
○ 812개소의 수질등급은 Ib등급 62개소, II등급 162개소, III등급 169개소, IV등급 302개소, V등급 54개소, VI등급 63개소 임.

○ 2010년 측정망자료를 이용해 ECM을 training시킨 후 COD농도만을 이용해 다시 수질등급을 분류한 결과 실제값(Actual)과 모의값(prediction)이 동일하게 나타남.

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%	

○ ECM을 이용해서 실제수질등급과 모의수질등급이 동일하게 나타났으며, 수질등급을 분류한 기준(fuzzy rule)을 도출한 결과 아래와 같이 호소의 수질등급 분류기준과 동일하게 유도됨.



○ 개발된 ECM이 저수지 COD농도로부터 수질등급(COD기준)을 잘 모의하고 분류기준(fuzzy rule) 또한 잘 도출하는 것으로 나타남.

- 인공지능기법을 이용한 유역 및 저수지제원으로부터 수질등급 추정

○ ECM을 이용해 저수지 COD농도가 아닌, 유역의 특성(유역면적, 토지이용, 발생부하량) 및 저수지 제원(유효저수량, 수표면적, 유효수심 등)을 이용해 농업용저수지의 수질등급을 추정하는 연구를 수행함.

○ ECM을 이용해 발생부하량과 유역 및 저수지제원으로부터 수질등급을 추정한 결과 오류가 22.66 %가 발생하고 77.34 %는 잘 모의된 것으로 나타남.

○ 상관분석결과 일반적인 경향과 달리 발생부하량(BOD, T-N, T-P)과 저수지 수질과 상관관계가 없는 것으로 나타나, ECM을 이용한 수질등급 추정 또한 오차가 22.66 % 발생한 것으로 생각됨. 향후 발생부하량을 이용할 경우 오차가 훨씬 감소할 것으로 추정함.

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

		ACTUAL						Prediction Totals	Prediction Error%
		1	2	3	4	5	6		
PREDICTIO	1	37	5	3	6	0	1	52	28.85%
	2	14	130	14	18	2	3	181	28.18%
	3	7	13	136	18	3	2	179	24.02%
	4	4	12	13	252	15	9	305	17.38%
	5	0	1	1	3	30	5	40	25.00%
	6	0	1	2	5	4	43	55	21.82%
Actual Totals		62	162	169	302	54	63	812	22.66%
Actual Error%		40.32%	19.75%	19.53%	16.56%	44.44%	31.75%	22.66%	

- 인공지능기법을 이용한 유역 및 저수지제원으로부터 COD농도 추정

○ ECM을 이용해 유역의 특성(유역면적, 토지이용, 발생부하량) 및 저수지 제원(유효저수량, 수표면적, 유효수심 등)을 이용해 농업용저수지의 COD농도를 추정하는 연구를 수행함.

○ ECM을 이용해 발생부하량과 유역 및 저수지제원으로부터 저수지의 COD농도(정수)를 추정한 결과 오류가 31.03 %가 발생함.

○ 저수지의 COD농도 추정에 사용되었던 유역특성 및 저수지제원자료와 COD농도와의 상관관계 분석 결과 유효수심만이 저수지 COD농도와 상관관계가 있는 것으로 나타난 것을 고려하면, ECM을 이용해 저수지 COD농도(정수)를 매우 잘 추정한 것으로 판단되며, 향후 발생부하량 대신 배출부하량을 이용할 경우 오류가 더 감소할 것으로 판단됨.

□ 종합결론

- **농업용저수지 유역과 저수지 수질특성 분석**

  ○ '유역의 발생부하량 및 제원', '유입하천 유량 및 수질' 과 '저수지 수질'간의 상관관계를 분석하기 위해 경기도내 측정망대상저수지(55개소) 중 접근이 용이한 26개소에 대해 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질을 현장 조사함.

  ○ 상관분석결과 '유입하천의 유량 및 수질'과 '저수지 수질'과는 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.

  ○ 향후 저수지 수질을 발생부하량보다는 배출부하량으로 추정할 필요가 있음.

- **농업용저수지 수질측정망 자료 수집 및 DB 구축**

  ○ 시설제원 및 조사지점 자료, 유역오염원 조사자료, 저수지 수질조사자료 및 기타 관련 자료를 수집해 MS-Access를 이용해 DB를 구축함.

  ○ 또한 인터넷기반으로 프로그램을 개발하기 위해 MySQL을 이용해 web DB를 구축함.

- **농업용저수지 수질측정망자료 분석시스템 개발**

  ○ 한국농어촌공사 내에 RIMS(농업기반시설관리시스템, 2000~2008)와 RAWRIS(농촌용수종합정보시스템, 2009~2010)라는 농업용저수지 수질측정망자료를 검색할 수 있는 시스템이 존재하지만, 개별저수지의 수질자료를 단순히 표와 그래프 형태로만 제공하여, 관리조직별(지역본부, 지사) 또는 연도별 통계값을 제시해주지 않아 전체 농업용저수지의 수질현황 파악이 어려움.

  ○ 쉽게 수질측정망결과를 관리조직별(지역본부, 지사, 개별저수지), 연도별로 여러 형태의 분석자료 및 통계값을 제공하기 위해 Adobe Flash를 이용해 수질측정망자료 분석시스템을 개발함.

  ○ 또한 수질측정망자료의 공간적인 분포를 쉽게 나타내기 위해 인터넷지도(구글맵, 네이버맵)를 기반으로 다양한 형태의 수질측정망자료를 제공하는 수질측정망 종합정보시스템(수질측정망 자료분석시스템 포함)을 추가로

개발함.

○ 향후 개발할 수질지표 및 관리모델을 인터넷지도를 기반으로 구동되는 수질측정망 종합정보시스템에 포함시켜 사용자가 쉽게 접근하여 사용할 수 있도록 할 계획임.

- **농업용저수지 수질지표 개발을 위한 인공지능 기법 개발**

○ 수질지표 개발사례를 조사한 결과 아직 대부분의 국가에서 우리나라와 같이 단일항목지표를 이용하여 수질을 관리하고 있으며, 일부 국가에서는 단일항목지표 대신 종합수질지표나 생태계지표를 개발하려는 노력을 하고 있음.

○ 인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질지표 개발을 위해 1차년도에 수질지표를 개발할 수 있는 프로그램을 위촉연구를 통해 개발함.

○ 개발된 프로그램(ECM)을 검증한 결과 저수지 COD 수질로부터 정확히 수질등급을 분류하고, 분류기준(fuzzy rule)을 도출함.

○ 개발된 프로그램을 이용해 '발생부하량'과 '유역 및 저수지제원자료'로부터 저수지 수질등급(COD기준)을 추정한 결과 22.66 % 오차가 발생함.

○ 저수지 수질과 상관관계가 없는 것으로 나타난 발생부하량 대신 배출부하량을 이용할 경우 오차를 충분히 감소시킬 것으로 판단됨.

○ 2차년도에는 개발된 프로그램을 이용해 다양한 방법으로 수질지표를 개발할 계획임.

SUMMARY

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

2. Research period : Mar. 2011 ~ Dec. 2011

3. Necessity and objectives

3.1 Background and necessity

○ Water quality model is used for reservoir water quality prediction and construction estimate 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 have much model 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)

○ Development of user manual and distribution

○ 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 reservoir selection for analysis of watershed and water quality characteristics

○ Analysis of watershed and reservoir characteristics of selected agricultural using monitoring data from water quality monitoring program

○ Flow rate and water quality monitoring of stream and reservoir

○ A corelation 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 index and management model for agricultural reservoir

○ Case study analysis of foreign water quality index

○ Derivation of the major factors which is affected to reservoir water quality among monitoring parameters

○ Development of agricultural reservoir water quality index derivation technique using artificial intelligence technique

○ Development of water quality index using various artificial intelligence

technique (2012)

- ○ Development of water quality management model to estimate developed water quality index (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

- ○ selecting 26 agricultural reservoir from 55 agricultural reservoir located in Gyeonggi province and monitoring stream and reservoir flow rate and water quality to analyze correlation among 'pollutant load, watershed and reservoir characteristics', 'stream flow rate and water quality', and 'reservoir water quality'.
- ○ There is close correlation between stream flow rate, 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.
- ○ Discharge pollutant loading is better than generating pollutant loading for estimating reservoir water quality.

2) Development of water quality monitoring DB for agricultural reservoir

- ○ Collecting monitoring data related with water quality monitoring program of agricultural reservoir (facility data, pollutant loading, water quality data etc.) form scattered information systems and various root.
- ○ Analysis of collected monitoring data and development of monitoring DB using MS-Access and MySQL.

3) Development of monitoring data analysis system for agricultural reservoir

○ There are monitoring data management system related with agricultural reservoir such as RIMS(Rural Infrastructure Management System, 2000～2008) and RAWRIS(Rural Agricultural Water Resource Information System, 2009～2010) in KRC. These systems provide just monitoring data with table and graph in each agricultural reservoir, but do not provide detailed analysed data such as statistic values of each management units.

○ 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) 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.

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

○ From the case study analysis of foreign 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 in 2011.

○ Developed ECM(Evolving Clustering Method) estimated exactly water quality grade and fuzzy rule from COD concentration of reservoir.

○ Reservoir water quality grade was estimated using developed ECM from watershed and reservoir characteristics such as pollutant loading, watershed area, effective reservoir water depth, and the error was 22.66 %.

○ If discharge pollutant loading was used instead of generated pollutant loading for estimating reservoir water quality grade, the error will be decreased.

○ Water quality index will be developed in 2012 using various artificial intelligence technique.

5. Expectation and utilization of the results

5.1 Expectation

○ Water quality management of agricultural 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 ····· 1
1. 연구의 배경 ····· 1
2. 연구의 목적 ····· 2
2절 연구범위 및 내용 ····· 2
1. 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석 ····· 2
2. 농업용저수지 측정망 자료 DB구축 및 분석시스템 개발 ····· 2
3. 농업용저수지 수질지표 개발 ····· 3
4. 농업용저수지 수질관리모델 개발 ····· 3
3절 연구 진행방법 ····· 3
1. 기본 추진 방향 ····· 3
2. 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석을 위한 유역 및 수질 조사 ····· 3
3. 농업용저수지 측정망 분석시스템 개발 ····· 4
4. 농업용저수지 수질지표 및 관리모델 개발 ····· 5
4절 기대효과 및 실용화 계획 ····· 6
1. 기대성과 ····· 6
2. 실용화계획 ····· 6

2장 농업용저수지와 유역의 특성 분석 ····· 7
1절 유역, 하천, 저수지 상관관계 분석 ····· 7
1. 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 사전 연구 ····· 7
2. 대상 저수지 선정 및 수질조사 ····· 9
3. 유역, 하천, 저수지 상관관계 분석 ····· 17
2절 시기별 저수지 수질변화 분석 ····· 21
1. 개요 ····· 21
2. 대상 저수지 선정 및 수질조사 ····· 21

3. 저수지별 유입하천 및 저수지 수질조사 결과 ····· 24

3장 수질측정망자료 수집 및 DB구축 ····· 29
1절 농업용저수지 수질측정망자료 수집 ····· 29
1. 한국농어촌공사 내 측정망 관련자료 현황 ····· 29
2. 수질측정망자료 수집 및 분석 ····· 31
2절 수질측정망자료 DB화 ····· 34
1. MS-Access를 이용한 DB화 ····· 34

4장 수질측정망 자료분석시스템 개발 ····· 41
1절 수질측정망관련 시스템 분석 ····· 41
1. 한국농어촌공사 내 수질측정망 관련 시스템 분석 ····· 41
2절 수질측정망 자료분석시스템 개발 ····· 45
1. 자료분석시스템 개발 방향 ····· 45
2. 자료분석시스템 구성 ····· 46
3. 웹상의 화면 구성 및 개발 ····· 49
4. 개발된 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템 ····· 52
3절 수질측정망 수질관리시스템 개발 ····· 73
1. 수질관리시스템 개발 개요 ····· 73
2. 인터넷기반의 수질측정망 수질관리시스템 개발 ····· 74

5장 수질지표 개발을 위한 인공지능기법 연구 ····· 79
1절 수질지표 국내외 개발 사례연구 ····· 79
1. 각국의 종합수질지표 개발과 이용실태 ····· 79
2. 각국 종합수질지표의 구조분석 ····· 92
2절 수질지표 개발을 위한 인공지능 프로그램 개발 ····· 94
1. 인공지능기법을 이용한 패턴인식 프로그램 개발 ····· 94
3절 인공지능 프로그램 적용성 평가 ····· 102
1. 개발된 ECM 검증 ····· 102
2. ECM을 이용한 수질등급 추정 ····· 105

3. ECM을 이용한 COD농도 추정 ····· 106

6장 요약 및 결론 ····· 109

1절 농업용저수지 유역과 저수지 수질특성 분석 ····· 109

2절 농업용저수지 수질측정망 자료 수집 및 DB 구축 ····· 109

3절 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템 개발 ····· 109

4절 수질지표 개발을 위한 인공지능기법 연구 ····· 110

표 목 차

(표 2-1) 현장조사 대상저수지 유역 및 저수지 제원 ····· 11
(표 2-2) 수질조사 대상저수지의 유역특성 ····· 12
(표 2-3) 수질조사 대상저수지의 저수지특성 ····· 12
(표 2-4) 2011년 유입하천 현장조사 결과 ····· 15
(표 2-5) 2011년 저수지 현장조사 결과 ····· 16
(표 2-6) 유입하천과 저수지 사이의 상관관계분석 결과 ····· 18
(표 2-7) 유역과 하천의 상관관계분석 결과 ····· 18
(표 2-8) 유역과 저수지의 상관관계분석 결과 ····· 19
(표 2-9) 유역과 2010년 26개 저수지 측정망자료의 상관관계 분석 결과 ····· 20
(표 2-10) 유역과 2010년 812개 저수지 측정망자료의 상관관계 분석 결과 ·· 20
(표 2-11) 저수지 유형별 선정된 대상 농업용저수지 ····· 22
(표 3-1) RIMS 자료구축현황 ····· 29
(표 3-1) RAWRIS 자료구축현황 ····· 30
(표 3-2) 저수지 제원 DB의 필드이름, 데이터형식, 필드크기 ····· 34
(표 3-3) 수질측정망 대상저수지의 수질조사 결과 ····· 35
(표 3-4) 수질측정망 대상저수지의 오염원조사 결과 ····· 36
(표 3-5) 수질측정망 대상저수지의 처리시설 현황자료 ····· 37
(표 3-6) 수질측정망 대상저수지의 처리시설 현황자료 ····· 38
(표 3-7) 수질측정망 대상저수지의 시설위치 및 수질조사지점 ····· 38
(표 3-8) 수질측정망 대상저수지의 GIS자료 파일명 ····· 39
(표 3-9) 수질측정망 대상저수지의 저수율 자료 ····· 39
(표 4-1) 수질측정망 자료분석시스템 메뉴구성 ····· 46
(표 5-1) 하천에서 ALU 평가를 위해 사용되는 수화학물질에 대한 기준 80
(표 5-2) 하천에서 ALU평가를 위해 사용되는 침전화학물질에 대한 기준 · 80
(표 5-3) 일리노이주 하천의 물고기 소비용도 평가기준 ····· 81
(표 5-4) 일리노이주 하천의 수영용도 평가기준 ····· 81
(표 5-5) 일리노이주 하천의 음용수 공급용도 평가기준 ····· 82

(표 5-6) 일리노이주 하천의 이차 접촉용도 평가기준 ····· 82
(표 5-7) 4개의 독립지수에 포함되는 항목들 ····· 84
(표 5-8) 4개의 항목별 가중치 ····· 86
(표 5-9) 수질지표별 판정기준 ····· 86
(표 5-10) 오염정도별 인자분석 결과 ····· 87
(표 5-11) 수질등급의 구분 ····· 88
(표 5-12) Al-Jaysh Canal의 용도별 관련항목 분류와 제안수치 ····· 89
(표 5-13) WQI의 분류 제안범위 ····· 89
(표 5-14) 4개의 지표에서 사용된 항목 ····· 90
(표 5-15) 부지수의 범위에 대한 설명 ····· 90
(표 5-16) 등급별 점수범위 ····· 92
(표 5-17) ECM 적용과정 설명 ····· 98
(표 5-18) 2가지 케이스에 대한 ECMc 매개변수 및 결과 ····· 101
(표 5-19) ECM을 이용해 도출한 fuzzy rule ····· 104

그 림 목 차

<그림 1-1> 연구추진체계 ····· 5
<그림 2-1> 수질조사 대상지구 위치 및 2010년 수질등급 ····· 10
<그림 2-2> 유입하천 및 저수지 수질조사 지점 ····· 13
<그림 2-3> SPSS를 이용한 상관관계분석 ····· 17
<그림 2-4> 선정된 대상 농업용저수지 유역도 ····· 23
<그림 2-5> 미산저수지 유입하천 및 저수지 수질변화 ····· 25
<그림 2-6> 용덕저수지 유입하천 및 저수지 수질변화 ····· 26
<그림 2-7> 칠곡저수지 유입하천 및 저수지 수질변화 ····· 27
<그림 2-8> 만수저수지 유입하천 및 저수지 수질변화 ····· 28
<그림 4-1> 농업기반시설관리시스템 화면 ····· 41
<그림 4-2> RAWRIS 메인화면 ····· 42
<그림 4-3> RAWRIS의 수질조사지점의 수질등급 표시 ····· 43
<그림 4-4> Adobe flash를 이용한 자료분석시스템 개발 ····· 49
<그림 4-5> 수질측정망 자료분석시스템의 tree구조 ····· 49
<그림 4-6> 지역별옵션 선택 시 관심연도 선택화면 ····· 50
<그림 4-7> 연도별옵션 선택 시 관심지역 선택화면 ····· 50
<그림 4-8> 수질현황 표와 그래프 ····· 51
<그림 4-9> 수질등급현황 표와 그래프 ····· 51
<그림 4-10> 측정망종류별 측정망 분포 현황(지역별옵션) ····· 53
<그림 4-11> 측정망종류별 측정망 분포 현황(연도별옵션) ····· 54
<그림 4-12> 농업용저수지 규모별 분포 현황(지역별옵션) ····· 55
<그림 4-13> 농업용저수지 규모별 분포 현황(연도별옵션) ····· 56
<그림 4-14> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(지역별옵션) ····· 57
<그림 4-15> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(연도별옵션) ····· 58
<그림 4-16> 측정망 대상지역 월간 누적강우량 분포 현황(지역별옵션) · 59
<그림 4-17> 측정망 대상지역 월간 누적강우량 분포 현황(연도별옵션) · 60
<그림 4-18> 농업용저수지 주오염원 분포 현황(지역별옵션) ····· 62

<그림 4-19> 농업용저수지 주오염원 분포 현황(연도별옵션) ····· 62
<그림 4-20> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(지역별옵션) ····· 64
<그림 4-21> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(연도별옵션) ····· 65
<그림 4-22> 농업용저수지 수질 분포 현황(지역별옵션) ····· 66
<그림 4-23> 농업용저수지 수질현황(연도별옵션) ····· 67
<그림 4-24> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(지역별옵션) ····· 69
<그림 4-25> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(연도별옵션) ····· 70
<그림 4-26> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(지역별옵션) ····· 71
<그림 4-27> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(연도별옵션) ····· 72
<그림 4-28> 수질측정망 수질관리시스템 구성도 ····· 73
<그림 4-29> 개발 중인 수질측정망 수질관리시스템 ····· 75
<그림 4-30> 수질측정망 수질관리시스템에서 제공되는 인터넷 지도 75
<그림 4-31> 개발 중인 자료관리시스템 전체화면 ····· 76
<그림 4-32> 개발 중인 자료관리시스템의 세부자료 제공화면 ····· 77
<그림 4-33> 자료관리시스템의 GIS자료 제공기능 ····· 78
<그림 5-1> ECM GUI 실행화면 ····· 96
<그림 5-2> ECM을 이용한 간단한 군집분류 과정 ····· 97
<그림 5-3> 2가지 나선문제 : ECMc의 학습용 데이터와 결정 영역 ·· 101
<그림 5-4> ECM을 이용한 수질등급 추정결과 검증 ····· 102
<그림 5-5> ECM을 이용해 찾아낸 분류 규칙 ····· 103
<그림 5-6> ECM을 이용해 찾아낸 fuzzy rule ····· 103
<그림 5-7> ECM을 이용한 수질등급 추정결과 ····· 105
<그림 5-8> ECM을 이용한 COD농도 추정결과 ····· 107

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 툴을 개발하는 연구는 전무한 것이 현실이다.

한편 농업용저수지가 단순한 용수공급 기능을 넘어 지역사회의 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 둑 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 관리모델을 개발하여 수질관리 담당 실무자들에게 제공함으로서 농업용저수지 수질관리 및 수질개선사업을 활성화하여 농촌생활환경개선에 기여하고자 한다.

2. 연구의 목적

○ 농업용저수지 측정망자료 DB 구축 및 분석시스템 개발

○ 농업용저수지 수질 지표 및 관리모델 개발

○ 개발된 수질 지표 및 관리모델의 사용자 매뉴얼 작성, 배포 및 교육

2절 연구범위 및 내용

1. 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석

○ 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석을 위한 대상저수지 선정

○ 측정망자료를 이용해 선정된 저수지의 유역 및 저수지 특성 분석

○ 저수지와 유입하천의 유량 및 수질조사

○ 측정망자료와 현장조사자료를 활용한 유역, 유입하천, 저수지 상관관계 분석

2. 농업용저수지 측정망 자료 DB구축 및 분석시스템 개발

○ 공사 내 존재하는 측정망 관련 자료 수집

- 저수지제원, 오염부하량, 수질자료 등

○ 수집된 측정망 자료 분석

○ MS-Access와 MySQL을 이용한 측정망 DB구축

○ 구축된 측정망자료를 검색 및 분석할 수 있는 웹기반의 측정망 자료분석 시스템 개발

3. 농업용저수지 수질지표 개발

○ 외국의 수질지표 개발 사례 조사 분석

○ 측정망 자료 중 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출

○ 인공지능 기법을 이용한 농업용저수지 지표 개발기법 개발

○ 다양한 인공지능기법을 이용한 수질지표 개발

4. 농업용저수지 수질관리모델 개발

○ 개발된 수질지표를 추정할 수 있는 관리모델 개발

- GBGP기반의 evolutionary model induction system을 이용

○ 개발된 모델에 사용할 수 있는 다양한 시나리오 분석기능 개발

3절 연구 진행방법

1. 기본 추진 방향

○ 농업용저수지 및 현장 실무자가 쉽게 이용할 수 있도록 최대한 간단하고 쉬운 수질 지표 및 관리모델 개발

○ 외국 우수 연구 인력과 공동연구를 추진하여 최신 인공지능 기법을 도입하여 세계적 수준의 연구 결과 도출 및 기술 축적(위촉연구)

2. 농업용저수지 유역 및 수질특성 분석을 위한 유역 및 수질 조사

○ 현장조사 대상 저수지 선정

- 접근이 용이한 경기도내 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지 중 26개소를 선정

○ 선정된 농업용저수지의 유역 및 저수지 특성 분석

- 측정망 자료를 이용한 대상 저수지의 오염부하량, 유역 특성분석
- 측정망 자료를 이용한 대상 저수지의 제원 및 저수지 수질 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 측정망 분석시스템 개발

○ 측정망 DB 구축

- 농업용저수지 측정망자료, 제원 등을 포함한 다양한 자료 수집
- 수집된 자료의 오류 확인
- 수집된 자료 분석 후 MS Access를 이용해 DB구축

○ 측정망 자료분석시스템 개발

- 공사 내 존재하는 측정망 관련 시스템 분석
- 기존 시스템과 중복되지 않도록 측정망 자료분석시스템 설계
- 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
- 2~3차년도에 개발될 수질지표 및 관리모델이 측정망 자료분석시스템과 연계되어 구동될 수 있도록 추가로 자료관리시스템 및 수질모의 시스템 개발
- 실무자의 의견을 반영될 수 있도록 임시 웹서버를 설치하여 실무자를 상대로 임시 서비스 실시

4. 농업용저수지 수질지표 및 관리모델 개발

○ 농업용저수지 수질 지표 개발

- 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출
- 인공지능기법을 활용한 군집분류기법 연구(위촉연구)
- 선정된 군집분류기법을 이용해 유역 및 저수지 제원으로부터 저수지 수질등급(COD기준)을 추정 가능한지 검토
- 저수지 수질에 영향을 미치는 인자 도출
- 다양한 기법을 이용해 다양한 종류의 수질지표 개발(2차년도)

○ 농업용저수지 수질 관리모델 개발(3차년도)

- 인공지능기법(GBGP)을 이용해 수질지표 추정모델 개발
- 개발된 모델의 다양한 시나리오 분석기능 개발

<그림 1-1> 연구추진체계

4절 기대효과 및 실용화 계획

1. 기대성과

○ 농업용저수지 수질관리를 위한 간단한 수질예측기법 제공

○ 농업용저수지의 수질을 쉽고 빠르게 예측 가능

○ 인공지능기법을 이용한 수질예측방법 개발을 통한 세계적수준의 연구결과 도출

○ 농업용저수지 수질개선사업 활성화에 따른 농어촌용수 수질보전기술의 발전

○ 농업용수 수질개선계획 수립업무의 효율성 제고

○ 수질개선사업 활성화를 통한 농업용수 수질보전 및 쾌적한 농어촌지역 유지

○ 수질개선사업관련 산업의 발달에도 기여할 것으로 기대됨

2. 실용화계획

가. 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획

○ 실무부서에 제공하여 농업용저수지 신규 조성 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

○ 본사 및 지역본부 등의 실무자를 대상으로 한 교육 및 매뉴얼 배포를 통한 실용화

○ 연구결과의 전문학술지 게재 및 학술발표를 통한 홍보

2장 농업용저수지와 유역의 특성 분석

2장 농업용저수지와 유역의 특성 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 1200mm로 세계 평균 강수량에 해당하나, 강수량의 절반 이상이 6-8월의 여름철에 집중되는 특성을 보인다(Hwang et al, 2003). 이러한 강수량의 계절적 변이는 여름철 집중된 강우를 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 영양상태를 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 NO_3-N은 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 논의 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 발생부하량에도 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

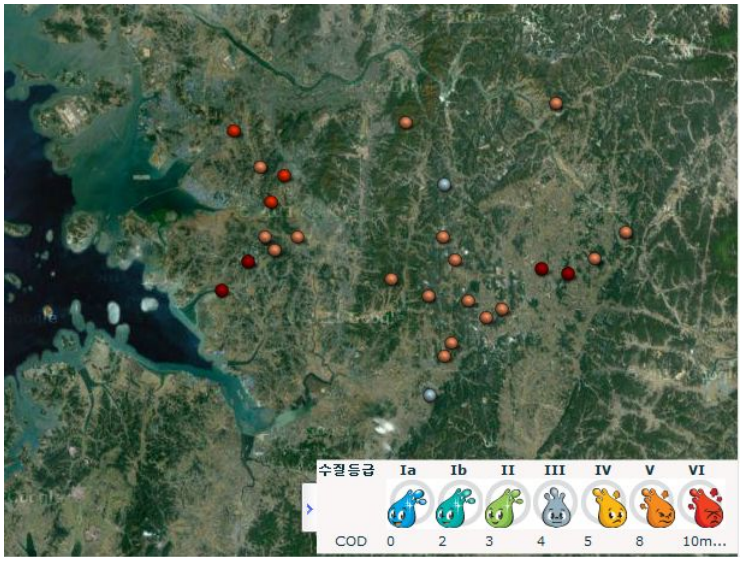
2000년부터 농업용저수지의 수질관리 및 정책결정을 위해 일부 중요한 저수지에 대해 수질측정망으로 지정하여 수질조사를 실시하고 있다. 2011년 현재 전국 18,000여개 농업용저수지 중 규모가 크고 수질 문제가 발생할 가능성이 높은 825개 농업용저수지에 대해 25개 저수지는 농업용호소 수질측정망으로 지정되어 월1회 환경부에서 수질조사를 실시하고 있으며, 800개소는 농업용수 수질측정망으로 지정되어 년4회 수질조사를 실시하고 있다. 수질측정망 대상저수지 825개소 중 11개소는 담수호이며, 814개소는 저수지이다.

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 26개를 대상저수지로 선정하였다. 선정된 저수지의 유역 및 저수지 제원은 (표 2-1)과 같으며, 위치는 <그림 2-1>과 같다. 선정된 저수지 중 COD기준 3등급인 저수지는 2곳(도척, 청용)이고, 5등급인 저수지는 3곳(흥부, 어천, 왕송), 6등급인 저수지는 4곳(용풍, 성호, 멱우, 동방)이며 그 외 17개 저수지는 4등급이다.



<그림 2-1> 수질조사 대상지구 위치 및 2010년 수질등급(COD기준)

(표 2-1) 현장조사 대상저수지 유역 및 저수지 제원

	유역 면적 (ha)	만수 면적 (ha)	저수 량 (천㎥)	유효 수심 (m)	발생부하량(g/day)			저수지농도(mg/L)		
					BOD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
향리	360	16	488	3.1	31.2	23.1	1.81	6.9	0.978	0.049
홍중	710	15	483	3.2	262.8	88.4	8.97	5.6	2.187	0.037
도척	980	14	701	5.0	70.3	51.6	4.35	4.3	2.434	0.025
원부	630	15	576	3.8	12.5	17.2	1.20	5.1	1.482	0.011
용풍	500	25	715	2.9	382.1	188.0	36.83	11.7	2.513	0.053
삼합	170	5	145	2.9	7.6	5.8	0.47	5.9	1.193	0.020
성호	616	35	858	2.5	235.1	115.6	18.31	11.3	2.412	0.076
용담	770	38	1023	2.7	64.1	41.8	3.29	7.5	1.499	0.035
두창	287	18	1223	6.8	39.7	22.9	2.75	7.1	1.579	0.022
덕산	485	32	1859	5.8	39.3	29.1	3.09	5.1	1.611	0.020
용설	790	54	3064	5.7	87.8	57.8	6.44	6.5	1.202	0.016
장계	225	12	878	7.3	3.2	4.3	0.30	6.5	0.925	0.019
고삼	7100	230	15217	6.6	1,637.7	870.5	122.19	6.0	3.322	0.109
청용	730	17	1594	9.4	14.8	19.5	1.29	4.7	1.226	0.011
금광	4830	138	12047	8.7	104.4	149.3	10.42	6.1	1.518	0.016
마둔	1240	41	3486	8.5	63.6	51.5	4.40	6.5	1.207	0.027
이동	9300	305	20906	6.9	1,961.1	897.8	117.18	5.5	2.148	0.084
반월	1220	37	1166	3.2	232.9	117.3	12.37	7.0	1.886	0.025
어천	380	25	894	3.6	52.9	27.6	2.98	9.0	1.365	0.040
기천	755	39	2164	5.5	76.5	55.7	5.37	5.6	1.040	0.023
보통	716	36	1071	3.0	143.0	63.9	6.47	7.3	1.717	0.047
왕송	1555	84	2077	2.5	5,221.7	1,461.9	162.78	9.7	4.273	0.066
멱우	830	49	600	1.2	284.9	170.2	25.14	12.2	1.427	0.063
덕우	2270	83	3547	4.3	411.0	202.0	21.23	7.3	1.430	0.043
홍부	1320	50	1840	3.7	187.1	107.4	10.68	9.0	3.694	0.082
동방	628	56	1014	1.8	206.9	104.1	13.99	11.8	1.171	0.113

선정된 26개 저수지의 유역면적은 최소 170 ha(삼합), 최대9,300 ha(이동)이며 평균 1,515 ha로 저수지별 매우 큰 차이를 나타내었다. 조사대상저수지의 BOD 발생부하량은 최소 3 kg/day(장계), 최대 5,222 kg/day(왕송)이며, 평균 455 kg/day로 나타났다. 오염발생부하량은 왕송저수지를 제외하고는 유역면적이 클수록 발생부하량에 높게 나타나, 전체적으로 유역면적과 매우 높은 상관관계(R^2>0.8)를 나타내었다. 왕송저수지 (1,555 ha)의 경우 유역이 도심화되어 유역면적이 비슷한 흥부저수지 (1320 ha)와 비교하여 BOD, T-N, T-P의 발생부하량이 각각 28배, 14배, 15배 높게 나타났다. 하지만 2010년 수질측정망 조사결과에 의하면 왕송저수지의 COD, T-N, T-P의 농도는 흥부저수지에 비해 각각 1.1배, 1.2배, 0.8배 높게 나타나, 발생부하량과 다른 경향을 나타냈다.

대상저수지의 저수량 및 만수면적으로 유역의 면적과 발생부하량과 같이 저수지별 변화폭이 매우 크게 나타난 반면, 유효수심과 2010년 측정망 평균수질은 상대적으로 저수지별 차이가 크지 않았다. 2010년 수질측정망 결과에 의하면 대상저수지의 COD농도는 멱우저수지가 12.2 mg/L로 제일 높은 농도를 나타낸 반면, 도척저수지가 4.3 mg/L로 제일 낮은 농도를 나타내었다.

(표 2-2) 수질조사 대상저수지의 유역특성

	유역면적 (ha)	발생부하량(kg/day)		
		BOD	T-N	T-P
min	170	3	4	0.3
median	743	96	61	6.5
max	9300	5222	1462	162.8
mean	1515	455	190	23.2

(표 2-3) 수질조사 대상저수지의 저수지특성

	저수량 (천㎥)	만수면적 (ha)	유효수심 (m)	'10 평균수질(mg/L)			수질등급 ('10)
				COD	T-N	T-P	
min	145	5	1.2	4.3	0.93	0.011	3
median	1119	37	3.8	6.7	1.51	0.036	4
max	20,906	305	9.4	12.2	4.27	0.113	6
mean	3063	57	4.6	7.4	1.82	0.044	4

다. 대상저수지의 유입하천 및 저수지 수질조사

선정된 26개 저수지에 대해 개별 저수지로 유입되는 유입하천의 평균 유량 및 농도, 저수지의 수질조사를 실시하였다. 저수지별 현장조사 시기별 영향을 최소화하기 위해 강우영향이 거의 없는 시기(6월 20일 ~ 22일)에 3일 내에 대상 저수지에 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 나눠 산정하였다.

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

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

라. 유입하천 및 저수지 수질조사 결과

선정된 26개 농업용저수지에 대해 유입하천 및 저수지의 유량 및 수질을 조사한 결과는 (표 2-4), (표 2-5)와 같다. 유입하천의 현장조사결과에서 유역면적(170 ha)이 제일 작았던 삼합저수지에서 하천의 유량이 0.0003 ㎥/s로 제일 적은 것으로 나타났으며, 멱우저수지가 0.515 ㎥/s로 제일 많은 것으로 나타났다. 유입하천의 평균 COD농도는 7.2 mg/L이었으며, 동방저수지의 유입하천이 17.6 mg/L로 제일 높은 농도를 나타내었고, 두창저수지의 유입하천이 1.7 mg/L로 제일 낮은 농도를 나타내었다.

저수지 수질조사결과 평균 COD농도는 10.7 mg/L이었으며, 동방저수지가 32.0 mg/L로 제일 높은 농도를 나타내었고, 원부저수지가 3.6 mg/L로 제일 낮은 농도를 나타내었다. 저수지의 COD농도는 유입하천보다 높게 나타난 반면에, T-N과 T-P는 저수지에서 더 낮은 농도를 나타내었다. 2010년 수질측정망 평균 COD, T-N, T-P농도는 각각 7.4 mg/L, 1.82 mg/L, 0.044 mg/L인 반면에, 2011년 6월에 조사한 결과는 각각 10.7 mg/L, 2.32 mg/L, 0.127 mg/L로 2010년 평균보다 높은 농도를 나타내었다.

(표 2-4) 2011년 유입하천 현장조사 결과

유입 하천	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)
향리	0.003	5.4	3.8	1.6	1.27	0.107	1.9	14
홍중	0.044	4.2	2.6	1.2	4.12	0.185	1.1	29
도척	0.175	2.9	2.0	0.8	2.82	0.090	0.9	17
원부	0.019	6.6	4.5	4.0	1.41	0.105	2.9	6
용풍	0.010	7.4	6.1	1.2	8.56	0.296	3.4	24
삼합	0.0003	6.0	5.1	1.2	1.79	0.100	0.7	7
성호	0.006	17.2	14.9	2.2	5.00	0.334	3.9	34
용담	0.021	13.2	8.6	9.2	4.42	0.426	5.1	27
두창	0.010	1.7	1.1	1.4	2.72	0.092	0.6	4
덕산	0.015	2.8	2.0	2.0	2.98	0.095	1.5	9
용설	0.022	5.1	4.0	2.6	1.92	0.112	1.9	9
장계	0.005	1.8	1.4	2.0	1.89	0.085	1.5	6
고삼	0.131	6.4	4.5	8.8	2.69	0.147	8.7	15
청용	0.016	2.3	1.8	2.3	2.15	0.119	0.7	30
금광	0.029	3.5	1.9	1.9	3.65	0.105	0.8	23
마둔	0.012	6.8	4.2	11.1	1.81	0.134	3.9	22
이동	0.445	5.4	3.8	4.3	2.03	0.133	4.7	23
반월	0.115	8.0	4.9	5.6	2.02	0.327	5.2	24
어천	0.002	2.4	1.3	1.6	3.96	0.089	2.5	18
기천	0.018	10.0	4.0	10.0	3.89	0.342	5.3	20
보통	0.073	12.8	7.0	13.3	3.82	0.460	8.0	27
왕송	0.342	5.9	4.2	6.6	10.09	0.245	1.9	66
떡우	0.515	10.3	8.3	12.6	3.23	0.145	8.9	206
덕우	0.171	12.3	8.2	11.4	3.62	0.380	7.7	113
물왕	0.084	9.8	7.0	41.4	3.37	0.339	39.1	57
동방	0.025	17.6	13.7	15.4	5.80	1.307	13.5	58
mean	0.089	7.2	5.0	6.8	3.50	0.242	5.2	34

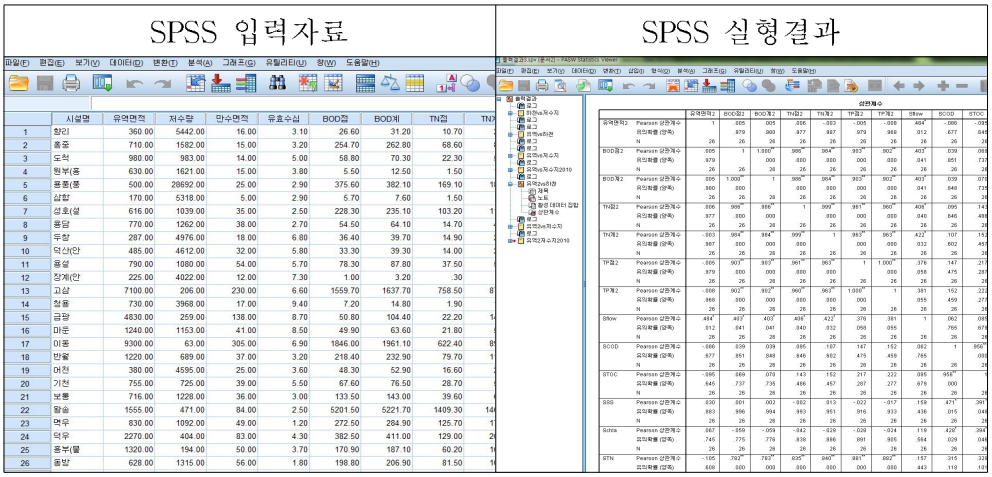
(표 2-5) 2011년 저수지 현장조사 결과

저수지	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/㎥)	Cl (mg/L)	수질 등급
향리	10.2	5.2	10.8	1.07	0.149	29.4	8	6
홍중	19.2	8.9	9.2	1.12	0.111	114.6	25	6
도척	5.2	2.9	4.0	3.54	0.089	5.3	11	4
원부	3.6	2.8	3.2	2.64	0.081	2.4	6	2
용풍	21.6	11.9	8.8	1.92	0.116	88.7	15	6
삼합	5.6	3.8	2.0	2.14	0.099	3.0	9	4
성호	16.4	10.9	4.0	1.95	0.204	31.0	21	6
용담	9.6	5.4	4.8	1.92	0.119	38.3	14	5
두창	18.4	8.5	8.8	3.25	0.127	57.2	5	6
덕산	5.6	3.8	3.2	2.50	0.091	9.7	7	4
용설	4.8	3.6	1.6	2.34	0.084	2.8	8	3
장계	5.0	3.5	1.6	2.14	0.087	4.2	6	3
고삼	6.6	4.2	7.2	3.07	0.085	6.7	10	4
청용	4.6	3.1	2.4	2.31	0.093	10.5	14	3
금광	6.0	4.4	8.0	2.45	0.110	7.8	10	4
마둔	8.2	4.3	17.6	2.74	0.094	8.8	11	5
이동	4.2	2.8	15.2	3.07	0.104	4.6	15	3
반월	6.6	3.7	3.6	2.38	0.134	25.8	28	4
어천	10.0	5.6	16.0	1.82	0.146	56.9	15	5
기천	6.8	3.5	3.6	1.49	0.074	16.1	11	4
보통	10.8	4.7	15.2	1.77	0.125	62.9	33	6
왕송	9.4	5.0	7.6	4.05	0.108	30.0	49	5
먹우	16.4	7.8	14.0	1.72	0.115	100.0	178	6
덕우	16.8	5.3	20.0	1.48	0.207	93.6	20	6
물왕	13.6	5.2	27.6	3.36	0.198	55.1	45	6
동방	32.0	8.4	10.0	1.93	0.352	387.3	73	6
mean	10.7	5.4	8.8	2.32	0.127	48.2	25	5
측정망 ('10)	7.4	3.6	11.8	1.82	0.044	31.9	17.8	5

3. 유역, 하천, 저수지 상관관계 분석

가. 상관관계 분석방법

농업용저수지의 유역, 유입하천, 저수지와의 상관관계를 분석하기 위해 선정된 26개 저수지의 유역 및 저수지 제원, 2011년 6월에 실측한 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질과 2010년 수질측정망 자료를 SPSS를 이용해 상관분석을 실시하였다. 측정망자료와 실측자료를 <그림 2-3>과 같이 SPSS에 입력한 후 상관관계분석을 하였으며, 그 결과를 바탕으로 어떤 인자가 하천 및 저수지의 수질에 영향을 미치는지 분석하였다.



<그림 2-3> SPSS를 이용한 상관관계분석

나. 유입하천 vs 저수지

2011년 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. 그러나 유입하천의 수질항목 중 저수지 T-N농도에 영향을 미치는 항목은 없는 것으로 나타났다.

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

(표 2-6) 유입하천과 저수지 사이의 상관관계분석 결과

		유입하천							
		유량	COD	TOC	SS	Chl-a	T-N	T-P	Cl^-
저수지	COD	-0.02	**0.54****	**0.59****	0.26	0.29	**0.51****	**0.70****	**0.39***
	TOC	-0.08	**0.40***	**0.51****	-0.01	0.07	**0.56****	0.34	0.27
	SS	0.29	0.23	0.18	**0.69****	**0.67****	0.08	0.16	**0.43***
	Chl-a	0.00	**0.54****	**0.56****	0.28	0.30	0.38	**0.87****	0.36
	T-N	0.30	-0.31	-0.25	0.17	0.17	0.12	-0.21	-0.15
	T-P	-0.06	**0.66****	**0.71****	**0.43***	**0.48***	0.29	**0.82****	0.31
	Cl^-	**0.65****	0.38	**0.42***	0.38	0.33	0.22	0.29	**0.89****
	수질등급	0.03	**0.48***	**0.48***	0.35	0.34	**0.45***	**0.40***	**0.43***

다. 유역 vs 유입하천

유역의 측정망자료인 면적, 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

		유역 측정망자료			
		유역면적	BOD 발생부하량	T-N 발생부하량	T-P 발생부하량
하천	유량	**0.48***	**0.57****	**0.63****	**0.63****
	COD	-0.09	-0.04	-0.03	-0.01
	TOC	-0.09	-0.02	-0.01	0.02
	SS	0.03	0.02	0.04	0.03
	T-N	-0.11	**0.58****	**0.48***	**0.46***
	T-P	-0.12	-0.01	-0.03	-0.03
	Chl-a	0.07	-0.03	0.01	0.02
	Cl^-	-0.02	0.16	0.16	0.15

라. 유역 vs. 저수지

유역면적, 오염물질 발생부하량, 저수량, 만수면적 및 유효수심과 2011년 6월 실측한 저수지 수질과의 상관관계를 분석한 결과는 (표 2-8)과 같다. 저수지의 유효수심은 SS와 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 오염물질발생부하량과 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

		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	BOD 발생부하량	T-N 발생부하량	T-P 발생부하량	저수량	만수 면적	유효 수심
저수지 실측자료	COD	-0.25	-0.06	-0.09	-0.06	-0.29	-0.18	**-0.51****
	TOC	-0.27	-0.05	-0.08	-0.03	-0.29	-0.22	**-0.47***
	SS	0.21	0.06	0.10	0.10	0.16	0.23	-0.13
	Chl-a	-0.18	-0.07	-0.08	-0.07	-0.21	-0.10	**-0.46***
	T-N	0.33	**0.54****	**0.54****	**0.51****	0.32	0.33	0.30
	T-P	-0.13	-0.08	-0.09	-0.09	-0.17	-0.05	**-0.46***
	Cl^-	-0.09	0.13	0.12	0.12	-0.15	-0.01	**-0.50****
	수질등급	-0.28	-0.02	-0.06	-0.06	-0.33	-0.22	**-0.53****

유역면적, 오염물질 발생부하량, 저수량, 만수면적 및 유효수심과 2011년 6월 실측한 저수지 수질과의 상관관계를 분석에서 서로 다른 연도의 오염물질

발생부하량(2010년)자료와 실측한 수질결과(2011년)를 사용하였기 때문에 T-N을 제외하고는 상관관계가 없는 것으로 나타났다고 판단되어, (표2-9)와 (표 2-10)에서는 2010년 오염물질 발생부하량과 2010년 수질측정망 수질조사결과를 이용해 상관관계분석을 다시 실시하였다.

26개 대상저수지에 대해서 분석할 결과 T-N 뿐만 아니라 T-P에 대해서도 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 812개 측정망대상 저수지에 대해서 분석한 결과는 유효수심과 저수지 COD, TOC 사이에만 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

(표 2-9) 유역과 2010년 26개 저수지 측정망자료의 상관관계분석 결과

측정망 (26개소)		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	BOD 발생부하량	T-N 발생부하량	T-P 발생부하량	저수량	만수 면적	유효 수심
저수지 실측자료	COD	-0.22	0.17	0.12	0.15	0.31	-0.1	**-0.63****
	TOC	**-0.61****	-0.07	-0.22	-0.25	0.28	**-0.52****	**-0.58****
	Chl-a	-0.16	0.08	0.06	0.08	0.2	-0.06	**-0.66****
	T-N	0.31	**0.70****	**0.70****	**0.70****	0	0.33	-0.2
	T-P	**0.43***	**0.41***	**0.52****	**0.58****	-0.07	**0.53****	-0.38
	수질등급	-0.15	0.15	0.13	0.17	0.32	-0.03	**-0.62****

(표 2-10) 유역과 2010년 812개 저수지 측정망자료의 상관관계분석 결과

측정망 (812개소)		유역 측정망자료				저수지 측정망자료		
		유역 면적	BOD 발생부하량	T-N 발생부하량	T-P 발생부하량	저수량	만수 면적	유효 수심
저수지 실측자료	COD	-0.06	0.12	0.09	0.12	-0.08	0.05	**-0.50****
	TOC	-0.16	-0.06	-0.1	-0.07	-0.19	-0.1	**-0.43***
	Chl-a	-0.04	0.15	0.12	0.16	-0.06	0.03	-0.39
	T-N	0.07	0.27	0.25	0.26	0.01	0.06	-0.25
	T-P	0.02	0.22	0.19	0.23	-0.01	0.11	-0.38
	수질등급	-0.04	0.12	0.09	0.12	-0.07	0.07	**-0.51****

2절 시기별 저수지 수질변화 분석

1. 개요

1절에서 유역 및 저수지특성, 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질간의 상관관계를 분석하기 위해 특정시기에 유입하천과 저수지의 수질을 조사하였다. 한편 한국농어촌공사에서 2011년 현재 전국 825개 농업용저수지에 대해 연4회 수질조사를 실시하고 있다. 농업용저수지는 하천에 비해 수질변화가 상대적으로 적어, 4번의 수질조사만으로도 저수지의 1년간 수질변화를 잘 반영 할 수 있을 것이라 판단하여 연4회 수질조사를 실시하였지만, 정말 연4회 수질조사가 1년간의 수질변화를 잘 반영하는지 여부를 판단하기 위해 현장조사를 실시하였다. 본 연구에서는 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지는 대표성을 갖고 있는 여러 개의 저수지를 선정하여 월1회 수질조사를 실시하여, 수질측정망을 통해 연4회 수질 조사한 것이 1년간의 수질변화를 잘 반영하는지 분석 작업을 실시하였다.

2. 대상 저수지 선정 및 수질조사

가. 대상 저수지 선정

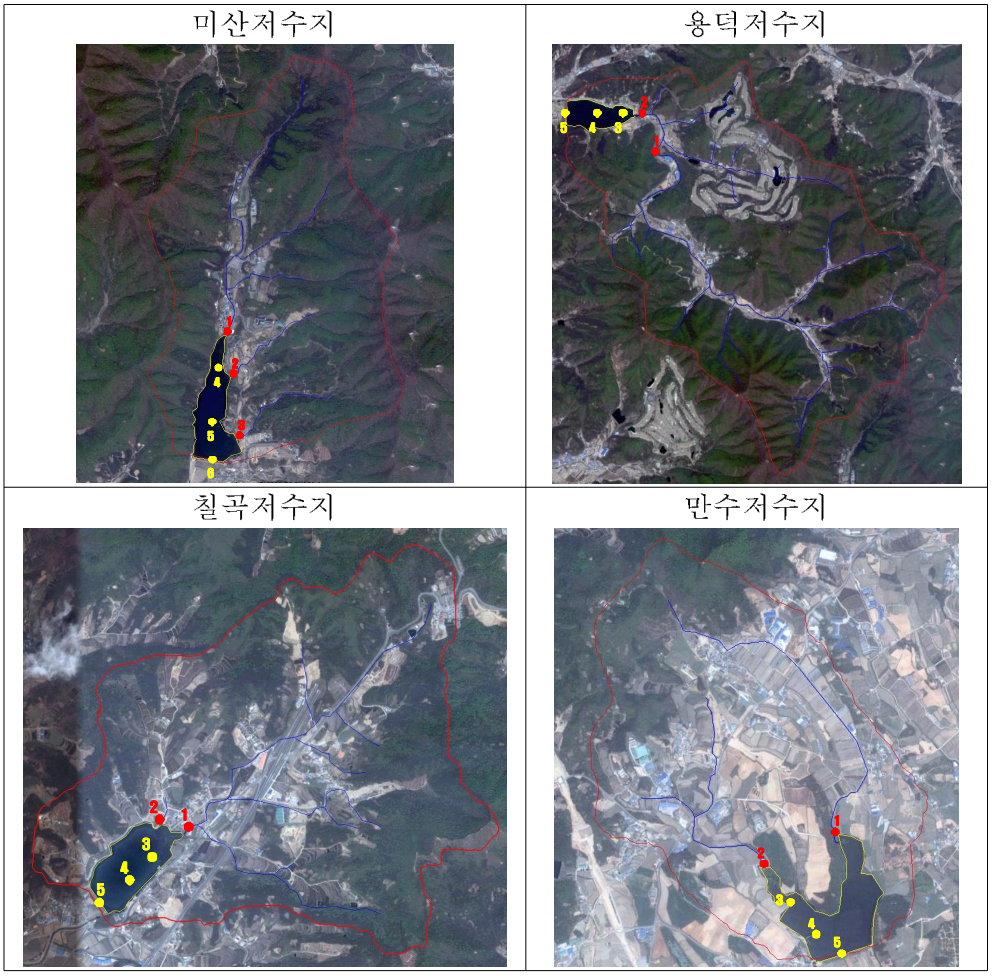
이전 연구(농어촌연구원, 2010)에서 SOM을 이용해 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지 중 농업용수로 사용되는 474개에 대해 측정된 수질을 기준으로 저수지를 3개의 유형으로 분류하였다. 또한 이전 연구(김, 2004)에서 COD와 ST/WS(저수량/만수면적)비를 이용해 농업용저수지를 4개로 분류하였다. 위의 2가지 농업용저수지 유형분류 방법을 이용해 수질측정망 대상저수지의 유형을 분류한 후 각 유형별 1~2개의 저수지를 선정하였다. 지역별 차이가 없는 것으로 가정하였으며, 되도록 접근성이 좋은 저수지를 대상저수지로 선정하였다.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

선정된 저수지는 총 4개로 대부분 저수지 유형별 혼합특성 분석을 위해 선정되었던 저수지와 동일하다. 제일 수질이 좋은 유형에 포함되는 저수지로 경기도 안성시에 있는 미산저수지와 경기도 용인시에 있는 용덕저수지가 선정되었으며, 중간 정도의 수질을 나타내는 유형으로 경기도 안성시에 있는 칠곡저수지가 선정되었다. 상대적으로 수질이 나쁜 저수지 유형으로 경기도 안성시의 만수저수지가 선정되었다. 미산, 용덕, 칠곡저수지는 농업용수 수질기준을 만족하는 저수지이며, 만수저수지는 일부 항목이 수질기준을 초과하는 저수지로 향

후 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(천㎥)		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
'10년 수질	COD	3.7	4.1	7.9	16.2
	T-N	2.10	2.70	1.88	3.192
	T-P	0.012	0.014	0.031	0.210



<그림 2-4> 선정된 대상 농업용저수지 유역도

나. 수질 및 유량조사

선정된 각 저수지별 모든 유입하천에 대해 2011년 4월부터 10월까지 월 1회 유량조사 및 수질조사를 실시하였으며, 각 저수지별 상류, 중류, 하류로 나눠 3지점에 대해 유입하천과 동일한 시기에 수질을 조사하였다. 미산저수지는 3개의 유입하천에 대해 조사가 이루어졌으며, 용덕, 칠곡, 만수저수지는 2개의 유입하천에 대해 수질조사가 이루어 졌다.

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, NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, T-P, PO_4-P, TOC는 시료채취 후 분석실에서 수질오염공정시험법에 따라 분석하였다.

3. 저수지별 유입하천 및 저수지 수질조사 결과

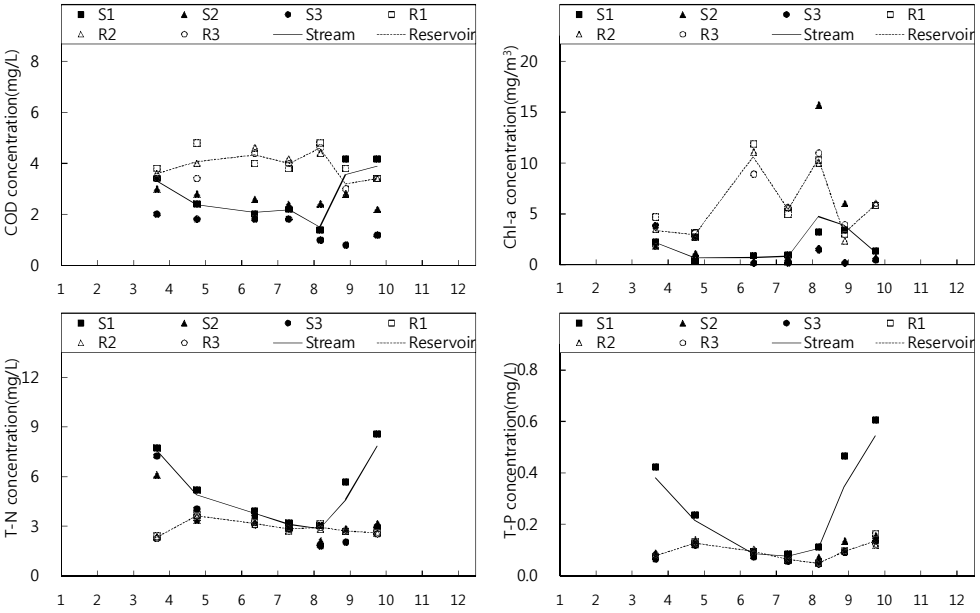
가. 미산저수지

미산저수지는 유역면적 442 ha, 만수면적 20 ha, 저수량 1,826천 ㎥ 규모의 저수지로 수심이 깊고 수질이 좋은 저수지이다. 2011년 4월부터 10월까지 조사한 결과 시간에 따른 유입하천 및 저수지의 수질변화는 <그림 2-5>에 나타내었다.

<그림 2-5>에서 S1, S2, S3…는 유입하천 지점별 농도를 의미하고, R1, R2, R3는 저수지 지점별 농도를 의미하는데 R1부터 순서대로 저수지 상류에서 제방 앞까지 상중하의 지점을 나타낸다. 또한 Stream은 유입하천의 지점별 농도를 유량에 대해 가중 평균한 전체 유입하천의 평균 농도를 의미하여, Reservoir는 저수지 각 지점별 농도를 산술평균한 농도를 의미한다. 실제 저수지 모델에 있어서 유입하천을 유량 가중 평균한 값을 입력자료로 이용하였으며, 모델의 보정을 위해 저수지에 대해 산술평균한 값을 이용한다.

T-N과 T-P의 경우 S1지점(T-N: 5.33 mg/L, T-P: 0.288 mg/L)의 농도가 S2(T-N: 3.37 mg/L, T-P: 0.105 mg/L)와 S3지점(T-N: 3.49 mg/L, T-P: 0.084 mg/L)보다 상대적으로 훨씬 높게 나타났다. 미산저수지로 유입되는 대부분의 하천수는 S1지점을 통해 저수지로 유입되고, S2, S3를 통해서는 매우 적은 하천수가 유입되고 있다. 그 결과 유량 가중 평균한 하천수의 평균농도는 S1지점의 농도 변화와 동일한 변화를 보이고 있다.

미산저수지의 수질은 일부시기를 제외하고 대부분 지점별 수질농도가 크게 차이나지 않은 것으로 나타나, 수표면 방향으로의 수질농도차이는 크게 나타나지 않았다. 미산저수지 내 Chl-a 농도는 연중 낮은 농도를 보이다 여름철인 6월과 8월에 높은 경향을 보였으며, COD, T-N, T-P는 연중 변화가 거의 나타나지 않았다. 유입하천 수질의 경우 T-N, T-P가 4월과 10월에 높게 나타났는데, 이는 하천유량이 부족한 시기에 유역에 위치한 대규모 휴양시설로부터 흘러나온 오염수에 의해 T-N, T-P가 높게 나타났다.

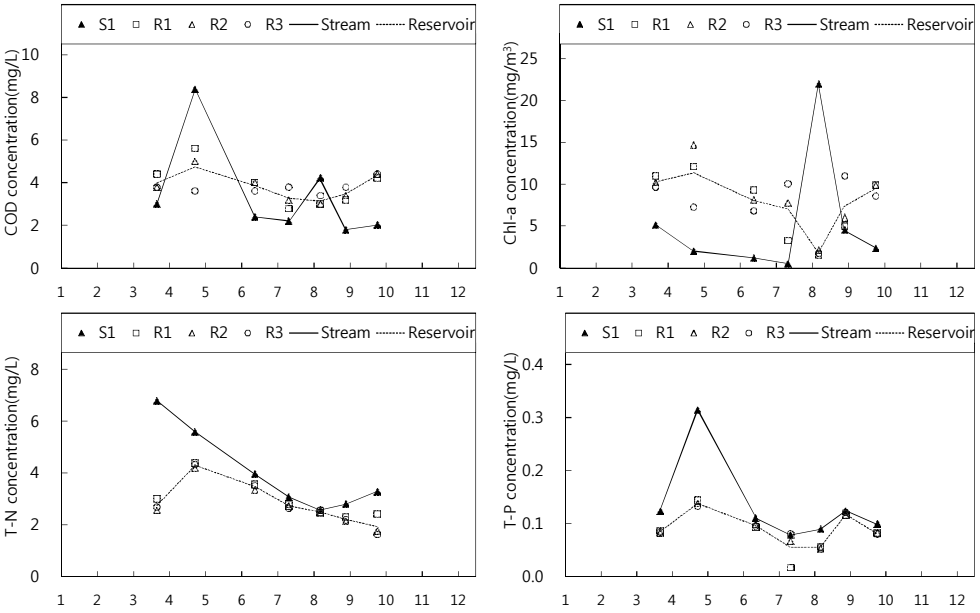


<그림 2-5> 미산저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

나. 용덕저수지

경기도 용인시에 위치한 용덕저수지는 유역면적 1,250 ha, 만수면적 22 ha, 저수량은 943천 ㎥ 규모의 저수지로 상류에 2개의 유입하천이 S2 지점에서 합류하여 저수지로 유입되고 있으며, 수질이 비교적 좋은 저수지이다. 유입하천 및 저수지의 지점별 수질변화는 <그림 2-6>과 같다.

용덕저수지에서 T-N와 T-P의 연중 평균농도는 각각 2.84 mg/L과 0.089 mg/L로 나타나 미산저수지(T-N: 2.88 mg/L, T-P: 0.091 mg/L)와 비교하여 유사한 농도를 나타내었으며, 미산저수지에서 6월과 8월에 농도가 높은 경향을 보였던 것과는 달리 연중 농도의 변동이 작고, 계절별 편차가 크지 않았으나 5월에 가장 높은 농도를 나타내었다. 용덕저수지에서 COD는 미산저수지와 마찬가지로 연중 5.0 mg/L 이하로 Ⅲ등급의 수질을 나타내고 있으며, OECD가 제시한 부영양화 기준인 Chl-a 25.0 mg/㎥을 초과하는 시기가 없었다. 유입하천은 COD와 T-P가 5월에 가장 높은 농도를 나타내었으며, T-P의 경우 0.315 mg/L로 다른 시기에 비해 두 배 이상 높은 농도를 나타내었는데, 이시기에 상류 하천에서 하천정비공사에 의한 토사유출로 일시적으로 매우 높은 농도를 나타내었다.



<그림 2-6> 용덕저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

다. 칠곡저수지

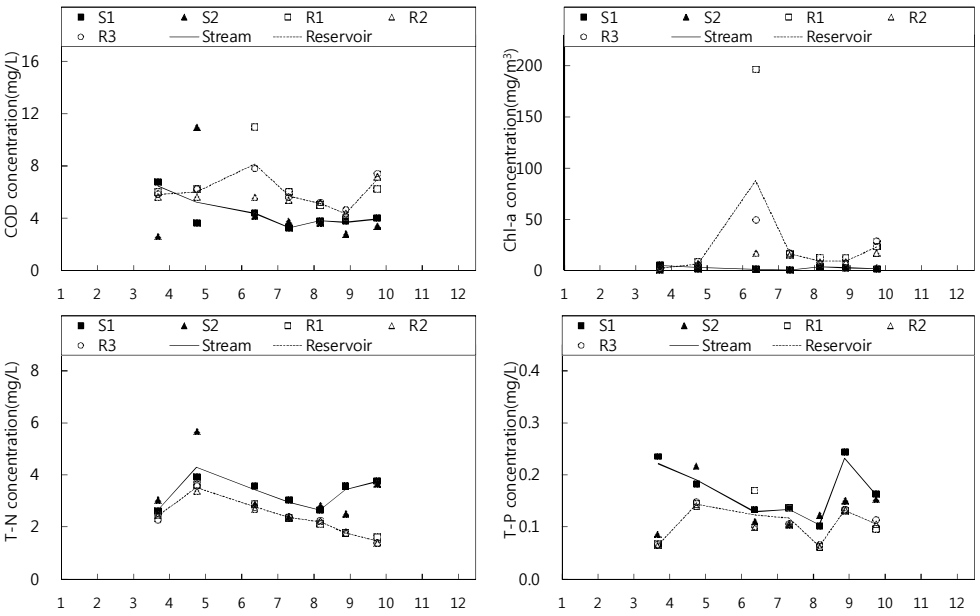
경기도 안성시에 위치한 칠곡저수지로, 유역면적 391 ha, 만수면적 15.8 ha, 저수량은 544천 ㎥ 규모의 저수지이며, 유입하천 및 저수지의 지점별 수질변화는 <그림 2-7>과 같다.

칠곡저수지로 유입되는 하천이 2개 존재하며, 그 중 S1이 상대적으로 크기 때문에, 유량 가중 평균 한 결과는 대부분 S1의 농도변화와 유사한 변화를 나타내고 있다. 칠곡저수지로 유입된 두 개의 하천에 대해 유량 가중 평균농도를 계산한 결과 T-N과 T-P가 각각 3.31 mg/L, 0.168 mg/L로 나타나 저수지 수질이 깨끗한 미산저수지보다 유입하천의 농도는 오히려 더 높게 나타났다. 계절적으로는 여름철에 낮은 농도를 나타내었으며, 봄과 가을철에 다소 높은 농도를 나타내었다. 칠곡저수지는 상류유역이 점오염원의 영향이 크게 나타나는 지역으로 여름철 강우에 의해 증가된 중간유출 및 기저유출에 의해 희석되어 농도가 감소된 것으로 판단된다.

칠곡저수지의 COD와 Chl-a는 각각 6.0 mg/L, 21.9 mg/㎥ 로 조사되어, 미산과 용덕저수지와 비교하여 COD는 2배, Chl-a는 3배에 가까운 농도를 나타내었다. Chl-a는 7월에 저수지 내 지점 평균이 87.7 mg/㎥ 로 다른 시기에 비해 매우

높은 농도를 보였으며, 지점별로는 유입부 지점에서 196.6 mg/㎥, 중앙부 17.3 mg/㎥, 제방 앞 49.3 mg/㎥으로 지점 간 농도 편차가 매우 크게 나타났다. 이 시기에 Chl-a 외 다른 항목은 지점 간 편차가 크지 않았으며, 강한 바람이 제방 앞에서 유입부 쪽으로 불어 표층에 성장한 식물플랑크톤이 바람에 의해 유입부 쪽에 많이 분포했을 가능성이 있다.

칠곡저수지는 유입하천의 수질이 미산저수지나 용덕저수지와 비교하여 비슷하거나 낮은 농도를 나타내었으나 저수지의 수질은 오히려 더 높은 경향을 나타내고 있다. 특히 COD와 Chl-a가 높게 나타나는데 칠곡저수지에서 식물플랑크톤의 성장이 더 유리한 조건을 갖추고 있으며, 그로 인해 저수지 내에서 유기물의 생성도 증가한 것으로 판단된다.



<그림 2-7> 칠곡저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

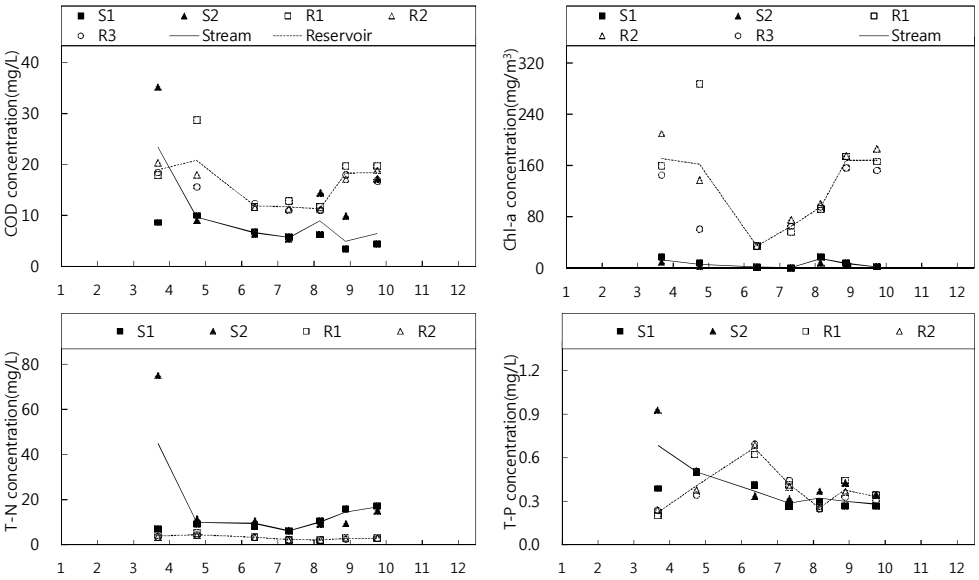
라. 만수저수지

경기도 안성시에 위치한 만수저수지로, 유역면적 375 ha, 만수면적 22.3 ha, 저수량은 614천 ㎥ 규모의 저수지이며, 유입하천 및 저수지의 지점별 수질변화는 <그림 2-8>과 같다.

만수저수지의 수질변화는 다른 저수지에 비해 상대적으로 복잡한 변화를

나타내었다. 수질조사결과 유입하천은 연평균 COD, T-N, T-P가 각각 9.3 mg/L, 15.98 mg/L, 0.393 mg/L로 나타나 다른 세 저수지와 비교하여 매우 높은 농도를 보이고 있다. 계절적으로 유량이 작은 봄철에 높은 농도를 나타내고 있으며, 특히 T-N의 경우 4월에 44.74 mg/L이었으며, 그 중 NH_3가 29.37 mg/L로 이 시기에 상류 유역으로부터 다량의 축산폐수가 유입된 것으로 보인다. 4월 이후 잦은 강우로 오히려 희석효과에 의해 농도가 감소하는 경향을 나타내었다.

저수지 내에서 COD와 Chl-a의 농도는 15.9 mg/L, 123.3 mg/㎥ 로 나타나 미산저수지, 용덕저수지, 칠곡저수지와 비교하여 COD는 2 ~ 4배, Chl-a는 6 ~ 20배 높은 것으로 나타났다. 계절적으로 Chl-a는 저수량이 적은 4, 5, 9, 10월에 160 mg/㎥ 이상의 매우 높은 농도를 나타내고 있었으며, 7월과 8월에 강우에 의한 희석효과로 비교적 낮은 농도를 나타내고 있다. 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/㎥ 이상)에 4배를 초과하는 정도의 극심한 수질오염상태를 나타내고 있다.



<그림 2-8> 만수저수지 유입하천 및 저수지 수질변화

3장 수질측정망자료 수집 및 DB구축

3장 수질측정망자료 수집 및 DB구축

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 수혜면적	필지별 수혜면적, 주재배작물, 용수이용자 등	'09기준 필지별 수혜면적 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 3-1) RAWRIS 자료구축현황

구분	컨텐츠명	컨텐츠 목적	컨텐츠 내용
수리시설물 현황	일반현황	수리시설물 자료에 대한 질의 검색 기능	수리시설물 일반현황 정보제공
	개보수이력	농업기반시설관리시스템과 연계한 정보 이력 제공	수리시설물 일상 및 정밀진단 현황정보 제공
	안전점검	농업기반시설관리시스템과 연계한 정보 제공	수리시설물 일상 및 정밀진단 현황정보 제공
용수이용 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 하천문화 및 공간창출	테마별 저수지, 지역별 저수지 정보 제공
수질 현황	농업수질	농업용수와 관련된 기초자료 확보	수질측정망, 일제조사 정보 제공
수문/기상	기상자료	가물, 홍수 관리를 위한 기초자료를 온라인 유통	기상자료 정보제공
	수문자료	물관리 공동활용 대상 정보에 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, 돈사)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, 젖소, 돼지), 산업계의 오염원수 및 각각의 BOD, T-N, T-P 발생부하량과 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 오염원자료

저수지별 유역 내 오염원수 및 발생부하량자료를 수질측정망자료 관리 실무자로부터 excel형태로 제공받아 자료를 검토 및 정리하였다. 조사연도별 인구수, 한우두수, 젖소두수, 돼지두수, 산업계유량, 양식면적, 논면적, 밭면적, 임야면적, 기타면적과 같은 오염원수 자료와 각각의 오염원수에 발생부하량원단위를 곱하여 산정된 발생부하량이 정리되어 있다. 또한 발생부하량을 생활계, 축산계(한우, 젖소, 돼지), 산업계, 양식계, 토지계(논, 밭, 임야, 기타)로 구분하여 재정리하였으며, 계별 발생부하량을 합한 총 발생부하량이 정리되어 있다. 또한 연도별로 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계 중 발생부하량이 제일 많은 것을 주오염원으로 지정하여 저수지별 주오염원이 어떤 계인지 정리되었다. 하지만 저수지의 수질과 직접 관계가 있는 것은 발생부하량보다는 배출부하량이므로 환경부에서 구축한 전국배출부하량자료를 네트워크상으로 제공받아 한국농어촌공사 내에서 사용할 수 있도록 한국농어촌공사 수자원관리처에서 환경부에 협조를 진행하고 있으며, 협조가 완료되면 배출부하량에 대해서도 정리할 계획이다.

마. 처리시설 현황자료

농업용수 수질측정망조사보고서 내 부록에 수록된 자료를 바탕으로 농업용저수지 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 비교하기위해 기상항목별로 월 값을 계산하여 별도의 excel을 작성하였다.

사. GIS자료

측정망 대상 농업용저수지의 유역경계와 저수지 만수위 경계를 나타내는 GIS layer자료를 폴리곤 형태로 수집하였다. 선택된 저수지만의 유역경계와 저수지 만수면 경계 GIS자료를 제공하기 위해 저수지별 1개의 GIS layer를 생성하였다. 또한 GIS layer 파일명은 저수지별로 부여된 표준코드에 유역경계를 의미하는 wsb와 저수지수면경계를 의미하는 reb를 각각 결합하여 저장하였다.

아. 저수지 일별 저수율자료

RIMS 및 RAWRIS에서 제공하는 저수지별 일별 저수율자료를 실무담당자로부터 excel형태로 제공받았다. 제공된 자료에는 저수지별 일별 저수율이 %로 나타나있으며, 저수지별 별도의 sheet에 일별로 저수율이 정리되어 있다.

2절 수질측정망자료 DB화

1. MS-Access를 이용한 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 3-2) 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 3-3) 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 3-4) 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		젖소TN	실수	
주오염원	텍스트	255	돼지TN	실수	
인구수	실수		산업계TN	실수	
한우두수	실수		양식계TN	실수	
젖소두수	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		젖소TP	실수	
기타면적	실수		돼지TP	실수	
생활계BOD	실수		산업계TP	실수	
한우BOD	실수		양식계TP	실수	
젖소BOD	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 3-5) 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
처리서설종류	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 3-6) 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				

마. 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 3-7) 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				

바. GIS자료

농업용저수지 수질측정망 대상저수지의 유역경계와 저수지 수면경계를 GIS 자료로 저장을 하였는데, 개별 저수지의 유역경계 GIS 파일명과 수면경계 GIS 파일명을 별도의 table에 입력하였다.

(표 3-8) 수질측정망 대상저수지의 GIS자료 파일명

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
시설명	텍스트	20	유역경계_파일명	실수	
통계코드	실수		수면경계_파일명	실수	

사. 저수율자료

수질측정망 대상저수지의 일별 저수율자료를 (표 3-9)과 같은 형태로 MS-Access를 이용해 입력하였으며, 기상자료와 같이 저수지별 별도의 table을 만들었다.

(표 3-9) 수질측정망 대상저수지의 저수율 자료

필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수	필드이름	데이터형식	필드크기 및 소수자릿수
시설명	텍스트	20	월	실수	
통계코드	실수		일	실수	
연도	실수		저수율	실수	

4장 수질측정망
자료분석시스템 개발

4장 수질측정망 자료분석시스템 개발

1절 수질측정망관련 시스템 분석

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 4-1> 농업기반시설관리시스템 화면

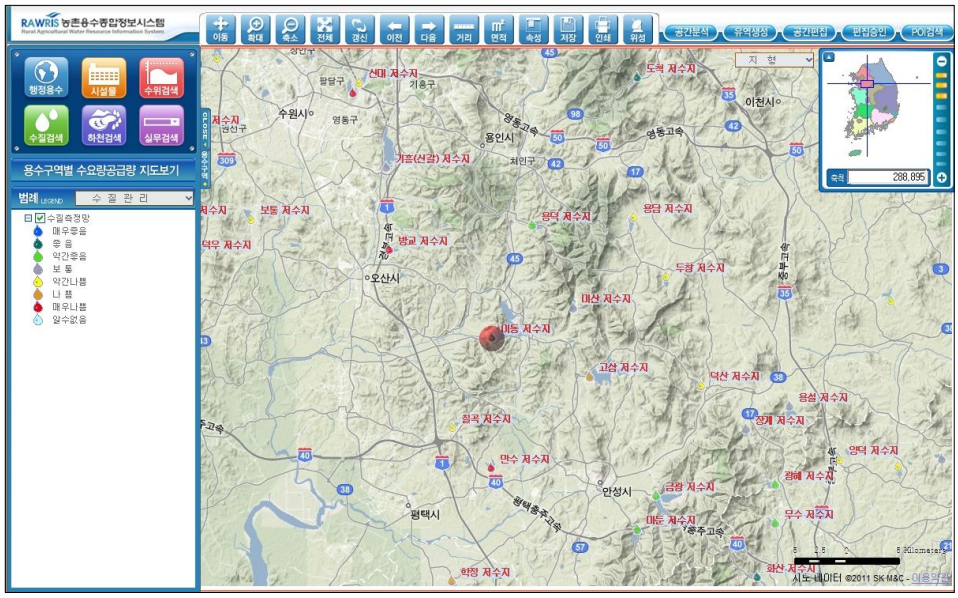
나. RAWRIS(농촌용수종합정보시스템, 2009~2010)

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

<그림 4-2> 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 GIS자료

를 나타내 쉽게 현장상황을 파악할 수 있도록 하였다. 하지만, RAWRIS에서 제공하는 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 4-3> 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 있으나, 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 실무자들한테 제공될 경우 농업용저수지 수질관리에 매우 유용할 수 있다. 그러므로 이러한 시스템이 제공될 경우 수질관리 실무자가 농업용저수지 수질관리를 정확한 실측자료를 바탕으로 쉽게 판단 할 수 있는 장점이 있다.

2절 수질측정망 자료분석시스템 개발

1. 자료분석시스템 개발 방향

가. 개발방향

자료분석시스템을 개발할 경우 매년 DB를 업데이트해야 하는데, 윈도우기반의 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 윈도우기반으로 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.

나. 개발방향

자료분석시스템을 개발하기위해 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.

2. 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 4-1)과 같이 구성하였다..

(표 4-1) 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)

가. 측정망분포

농업용수 수질측정망 대상저수지는 연도별로 일부 추가되어 2011년 현재 825개 저수지를 조사하고 있다. 농업용수 수질측정망은 저수지측정망과 호소측정망으로 나눠지는데, 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 0ton, <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.

나. 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 주오염원의 종류별(생활계, 축산계, 토지계, 산업계, 양식계) 시설수를 제공하여 선택된 지역본부에서 관리하는 저수지들의 주오염원의 분포가 어떻게 되는지 확인할 수 있다. 이를 통해 주오염원의 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.

다. 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 COD기존초가 시설수 및 비율 변화자료를 제공한다.

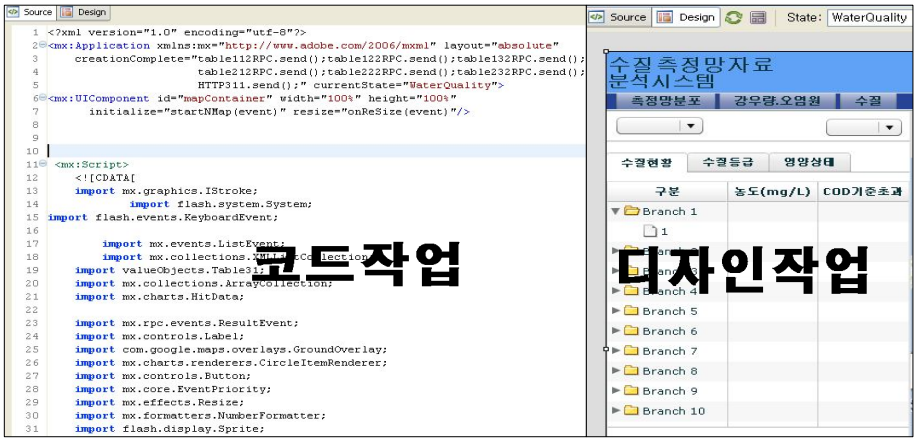
또한 특정연도에 대한 지사와 지역본부에 대한 COD기준 수질등급별 시설수와 수질기준 달성율 자료를 제공하여 특정연도에 관리조직별 수질등급분포와 수질기준 달성율을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 동일한 자료를 특정 저수지, 지사 또는 지역본부에 대해 연도별 수질등급과 수질기준 달성율 자료를 제공한다.

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 4-4>와 같이 Adobe flash를 이용해 수질측정망 자료분석시스템을 개발하였다. 왼쪽 창에서 코드작업을 하며, 오른쪽 창에서 디자인작업을 한다.



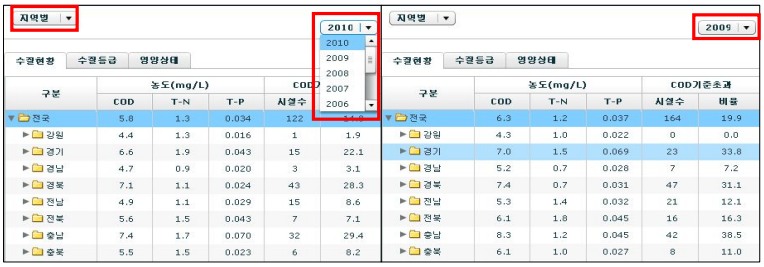
<그림 4-4> Adobe flash를 이용한 자료분석시스템 개발

전체적으로 수질측정망 자료분석시스템은 저수지별 조사된 측정망자료를 지사별, 지역본부별 및 전국 평균 및 합계를 <그림 4-5>와 같이 tree구조로 제공하여 사용자가 원하는 저수지, 지사, 지역본부별 통계값을 쉽게 탐색할 수 있도록 하였다.

구분	농도(mg/L)			COD기준초과	
	COD	T-N	T-P	시설수	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
덕산	5.3	1.1	0.034	0	0.0
고삼	4.3	2.8	0.442	0	0.0
두창	8.0	1.0	0.072	1	100.0
마둔	6.6	0.9	0.029	0	0.0

<그림 4-5> 수질측정망 자료분석시스템의 tree구조

지역별옵션을 선택할 경우 <그림 4-6>과 같이 관심 있는 연도를 선택하면 선택한 연도에 대한 지역본부, 지사, 저수지별 통계값이 tree구조로 제공된다.

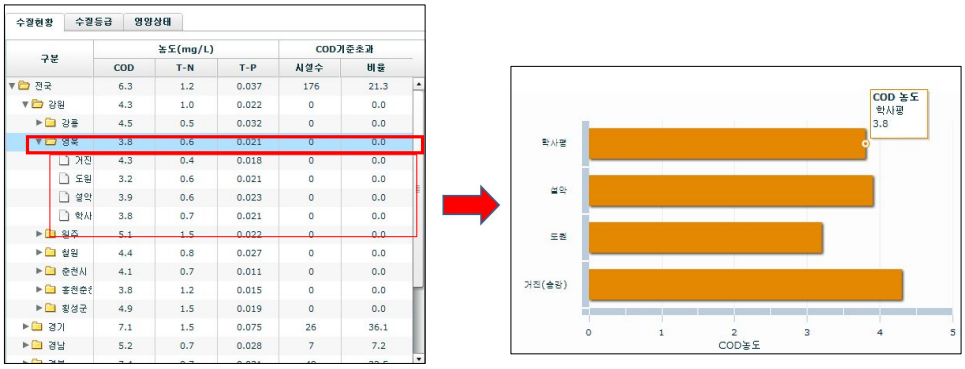


<그림 4-6> 지역별옵션 선택 시 관심연도 선택화면

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-7>과 같이 관심 있는 지역본부, 지사, 저수지를 선택하면 선택한 지역에 대한 연도별 통계값이 제공된다.

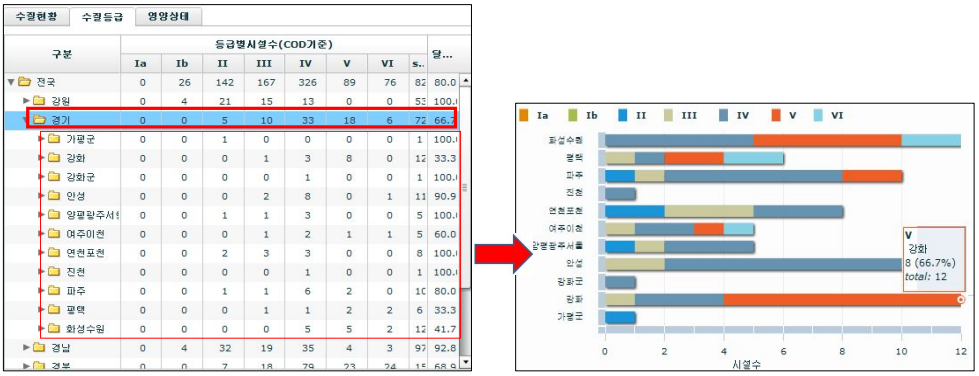
<그림 4-7> 연도별옵션 선택 시 관심지역 선택화면

Tree구조로 제공되는 자료를 선택할 경우 하단에 다양한 형태의 그래프를 추가하여 지역본부별, 지사별, 저수지별 다양한 통계값을 시각적으로 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 예를 들어 <그림 4-8>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 4-8> 수질현황 표와 그래프

수질등급메뉴에서 경기지역본부를 선택할 경우 <그림 4-9>와 같이 경기지역본부 산하 지사별 관리하고 있는 저수지들의 수질등급별 개소수를 누적그래프로 제공하여 어느 지사의 수질이 심각한지 쉽게 파악이 가능하다. <그림 4-9>에서 강화지사에서 관리하고 있는 12개 저수지 중 8개가 수질등급 5등급을 유지하고 있음을 쉽게 파악할 수 있다.



<그림 4-9> 수질등급현황 표와 그래프

4. 개발된 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템

가. 측정망분포

측정망분포 메뉴는 수질측정망 대상 저수지의 저수지측정망과 호소측정망별 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 4-10>과 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별 농업용수 수질측정망의 개소수와 지점수 및 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수가 표와 그래프로 나타난다. <그림 4-10>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 4-10>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 4-10>의 우측 그림에서 안성지사를 클릭할 경우 안성지사에서 관리하는 저수지의 농업용수 수질측정망 개소수와 지점수 및 농업용호소 수질측정망 개소수와 지점수를 표와 그래프로 제공된다. 고삼저수지를 제외하고 모두 농업용수 수질측정망으로 지정되어 운영되고 있으며, 고삼저수지는 농업용호소 수질측정망으로 지정되었으며, 3개 지점에 대해 월1회 수질조사가 이루어지고 있다.

<그림 4-10> 측정망종류별 측정망 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-11>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 4-11> 측정망종류별 측정망 분포 현황(연도별옵션)

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 m^3이하, 500천 m^3 ~ 1,000천 m^3, 1,000천 m^3 ~ 5,000천 m^3, 5,000천 m^3 ~ 10,000천 m^3, 10,000천 m^3 ~ 50,000천 m^3, 50,000천 m^3 초과와 같이 6단계로 구분하였다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 4-12>와 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별로 규모별 시설수를 표와 그래프로 나타난다. <그림 4-12>의 좌측 그림에서 전국을 클릭할 경우 각 지역본부별 수질측정망 대상저수지의 규모별 시설수가 나타난다. 전국적으로 500천 m^3 ~ 1,000천 m^3와 1,000천 m^3 ~ 5,000천 m^3 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 m^3 ~ 5,000천 m^3 규모의 농업용저수지가 74개소(42.5 %), 500천 m^3 ~ 1000천 m^3 규모의 농업용저수지가 61개소(35.1 %)로 높은 비율을 차지하였으며, 50,000천 m^3를 초과하는 저수

지도 6개소(3.4 %)인 것으로 나타났다.

<그림 4-12>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 ㎥ 이하의 소규모 저수지인 것으로 나타났다. 평택지사는 다른 지사와 달리 50,000천 ㎥ 이상의 큰 규모의 농업용저수지를 관리하고 있는 것을 알 수 있다.

<그림 4-12>의 우측 그림에서 안성지사를 클릭할 경우 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 규모가 표와 그래프로 나타난다. 고삼과 금광저수지가 10,000천 ㎥ ~ 50,000천 ㎥ 규모의 저수지이고, 만수와 장계저수지는 500천 ㎥ ~ 1,000천 ㎥ 규모의 저수지이며, 나머지 저수지는 모두 1,000천 ㎥ ~ 5,000천 ㎥ 규모의 저수지임을 쉽게 알 수 있다.

<그림 4-12> 농업용저수지 규모별 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-13>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 4-13>을 보면 대부분 500천 ㎥이하와 500천 ㎥ ~ 1,000천 ㎥ 규모의 소규모 농업용저수지가 추가되었음을 알 수 있다.

<그림 4-13> 농업용저수지 규모별 분포 현황(연도별옵션)

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.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 4-14>와 같이 대권역, 수계, 중권역별 개소수를 농업용저수지와 담수호로 구분하여 표와 그래프로 제공한다. <그림 4-14> 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 4-14>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 4-14>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 4-14> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-13>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 4-13>을 보면 대부분 500천 ㎥ 이하와 500천 ㎥ ~ 1,000천 ㎥ 규모의 소규모 농업용저수지가 추가되었음을 알 수 있다.

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

<그림 4-15> 측정망 대상저수지 수계별 분포 현황(연도별옵션)

나. 강우량·오염원

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

(1) 강우량

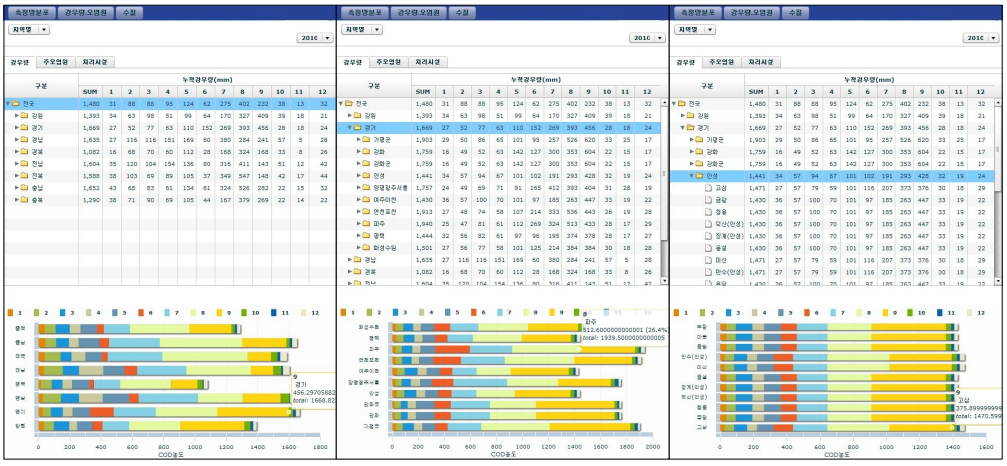
농업용저수지 수질측정망 대상저수지의 관할관측소 및 측후소의 정보를 이용해 각 농업용저수지에 내린 월별 강우량자료를 저수지별, 지사별, 지역본부별 평균값을 제공한다. 이때 제공되는 지사별, 지역본부별 평균 월간 누적 강우량 값은 기상청의 전국 또는 시·도별 평균값과 다를 수 있다. 그 이유는 기상청에서는 특정지역에 포함된 관측소의 정보를 평균하여 특정지역의 평균 강우량으로 제공하지만, 본 자료분석시스템에서는 농업용저수지에 내린 강우량을 평균하기 때문에 해당지역본부의 평균값이 농업용저수지가 많이 분포하는 지역의 평균값을 많이 반영하기 때문이다. 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 4-16>과 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별 평균 월간 누적강우량 자료가 표와 그래프로 나타난다. 전국을 클릭할 경우 <그림 4-16>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별 평균 월간 누적강우량 자료

가 나타난다. 농업용저수지에 내린 전국 평균 강우량은 1,480 mm이었으며, 경기지역본부가 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.

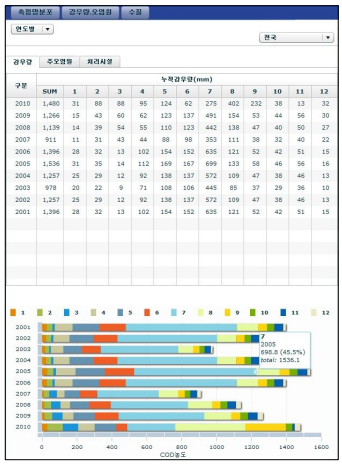
<그림 4-16>의 중앙 그림에서 한강권역을 클릭할 경우 경기지역본부 산하 지사 및 시·군에서 관리하는 농업용저수지에 내린 강우량자료가 표와 그래프로 나타난다. 경기지역본부 산하 지사 및 시·군 중 파주지사에서 관리하는 수질측정망 대상저수지에 1,940 mm로 제일 많이 비가 내렸으며, 그 다음으로 연천포천(1,913 mm), 가평균(1,903 mm) 순으로 나타났다. 반면에 여주이천지사가 1,430 mm로 제일 적은 비가 내렸으며, 다음으로 안성지사(1,441 mm), 평택지사(1,444 mm)로 나타났다.

안성지사를 클릭할 경우 <그림 4-16>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 4-16> 측정망 대상지역 월간 누적강우량 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-17>과 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 강우량변화를 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 4-17> 측정망 대상지역 월간 누적강우량 분포 현황(연도별옵션)

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

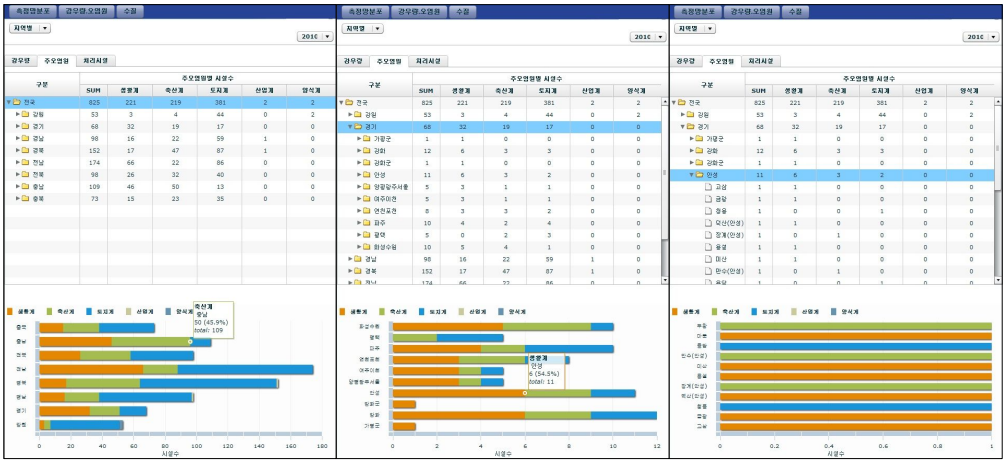
(2) 주오염원

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

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 4-18>과 같이 지역본부별, 지사별, 저수지별로 규모별 시설수를 표와 그래프로 나타난다. 전국적으로는 토지계가 주오염원인 저수지의 개소수가 381개소로 제일 많으며, 그 다음으로 생활계(221개소), 축산계(219개소) 순으로 많은 것으로 나타났다. 전국을 클릭할 경우 <그림 4-18>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별 수질측정망 대상저수지의 주오염원이 나타난다. 제일 오염도가 낮은 강원지역본부에서 관리하는 저수지의 경우 83 %(44개소)가 토지계가 주오염원인 것으로 나타난 반면, 오염도가 심한 경기 및 충남지역본부의 경우 토지계가 주오염원인 저수지의 비율은 각각 11.9 %(13개소), 25 %(17개소)로 나타났다. 저수지의 오염도가 제일 심한 충남지역본부의 경우 축산계가45.9 %(50개소)로 제일 높게 나타났으며, 다음으로 생활계가 42.2 %(46개소)로 높게 나타났다.

경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 4-18>의 중앙 그림과 같이 경기지역본부 관할 지역 내 지사 또는 시군에서 관리하는 저수지의 주오염원 분포가 나타난다. 안성지사가 생활계 주오염원의 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 주오염원인 것으로 나타나 생활계와 축산계의 오염부하량을 감소시켜야할 필요성이 있는 것으로 나타났다. 또한 강화군과 가평군에서 관리하는 저수지는 각각 1개소로 모두 생활계가 주오염원인 것으로 나타났다.

안성지사를 클릭할 경우 <그림 4-18>의 우측 그림과 같이 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 주오염원이 표와 그래프로 나타난다. 안성지사에서 관리하는 11개소의 농업용저수지 중 생활계 주오염원이 6개소, 축산계 주오염원이 3개소, 토지계 주오염원이 2개소로 나타났다. 특히 저수용량이 제일 많은 고삼저수지(15,217천 m^3)는 주오염원이 생활계이며, 2010년 COD농도가 16.2 mg/L로 제일 높은 농도를 나타냈던 만수저수지의 경우 주오염원이 축산계인 것으로 나타났다. 안성지사의 경우 유역개발이 많이 이루어져 용담과 청용저수지를 제외하고는 모두 생활계 또는 축산계가 주오염원인 것으로 나타났다.



<그림 4-18> 농업용저수지 주오염원 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-19>와 같이 선택한 지역본부 및 지사에 대해 연도별 주오염원변화를 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 4-19> 농업용저수지 주오염원 분포 현황(연도별옵션)

이상에서와 같이 주오염원 부메뉴에서는 농업용저수지 수질측정망으로 지

정된 저수지의 주오염원 정보를 저수지별, 지사 및 시군별, 지역본부별로 쉽게 파악 할 수 있는 자료를 표와 그래프 형태로 제공해 농업용저수지 수질을 관리하는데 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 4-20>과 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 ㎥/일로 제일 많은 것으로 나타났으며, 산업폐수처리장(335,860 ㎥/일), 마을하수도(76,039 ㎥/일), 분뇨처리장(4,485 ㎥/일), 축산폐수처리장(2,430 ㎥/일)순으로 많은 것으로 나타났다. 전국을 클릭할 경우 <그림 4-20>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별 수질측정망 대상저수지의 처리시설 종류별 시설수와 처리용량이 나타난다. 전북지역본부의 하수종말처리용량이 1,326,130 ㎥/일로 제일 많은 것으로 나타났으며, 다음으로 경기지역본부가 1,019,039 ㎥/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 주오염원의 비율이 13.2 %로 제일 낮았기 때문에 상대적으로 생활계와 축산계 부하량을 저감시키기 위한 처리시설이 제일 적었던 것으로 판단된다.

경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 4-20>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 4-20>의 우측 그림과 같이 평택지사에서 관리하는

측정망 대상저수지의 처리시설 자료가 표와 그래프로 나타난다. 아산호의 유역내 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 4-20> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-21>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 ㎥/일이던 것이 2010년에는 3,907,069 ㎥/일로 약 60 % 증가하였다.

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

<그림 4-21> 농업용저수지 수처리시설 분포 현황(연도별옵션)

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 4-22>와 같이 선택한 연도에 대해 지역본부별, 지사별, 저수지별 연평균 COD, T-N, T-P농도와 COD기준초과 시설 수 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 4-22>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 나타

냈다. 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.

경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 4-22>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 4-22> 농업용저수지 수질 분포 현황(지역별옵션)

안성지사를 클릭할 경우 <그림 4-22>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.

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-23>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 2010연에 큰 폭으로 감소하였다. 수질은 다른 항목에 비해 연도별 변화폭이 크게 나타났다. 연도별 경기지역본부에서 관리하는 수질측정망 대상저수지의 수질변화는 <그림 4-23>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 4-23> 농업용저수지 수질현황(연도별옵션)

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 4-24>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.

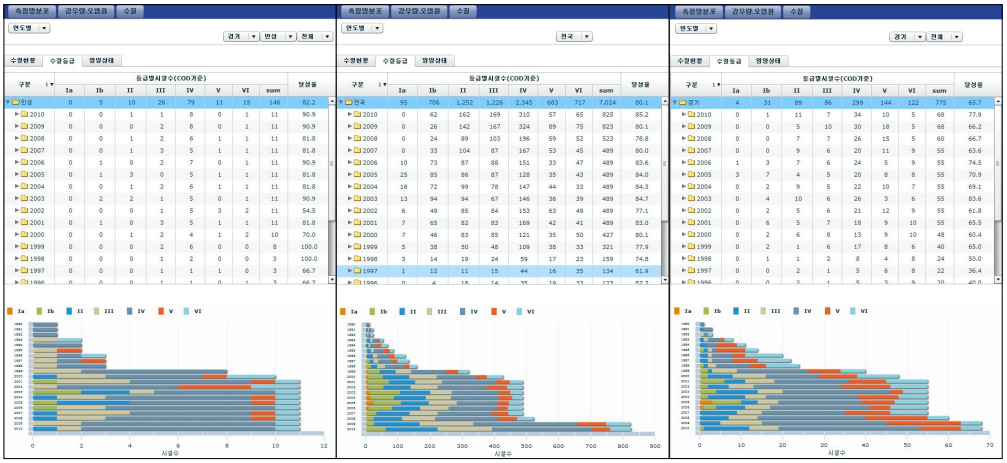
전국을 클릭할 경우 <그림 4-24>의 좌측 그림과 같이 각 지역본부별로 수질등급별 시설수 및 달성율이 나타난다. 수질기준 달성율(농업용수기준)이 제일 낮은 충남지역본부의 경우 Ⅳ등급(44개소, 40 %)이 제일 많은 것으로 나타났으며, Ⅵ등급(24개소, 22 %), Ⅲ등급(22개소, 20.2 %) 순으로 많은 것으로 나타났다. 강원지역본부의 경우 1개소만 Ⅴ등급으로 분류되었으며, 그 외 모든 수질측정망 대상저수지가 Ⅳ등급 이하로 나타났다.

경기지역본부를 클릭할 경우 <그림 4-24>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 4-24>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 4-24> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-25>와 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, Ib등급 시설수가 26개소에서 62개소로 크게 증가한 반면, V등급 시설수는 89개소에서 57개소로, VI등급 시설수는 75개소에서 65개소로 감소하였다. 연도별 경기지역본부에서 관리하는 수질측정망 대상저수지의 수질등급별 시설수는 <그림 4-25>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 4-25> 농업용저수지 수질등급 분포 현황(연도별옵션)

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, 부영향으로 분류하여 표와 그래프 형태로 제공한다. 이때 제공되는 영양상태는 연평균 수질농도를 기준으로 분류한 영양상태이다.

지점별 옵션을 선택할 경우 <그림 4-26>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 4-26>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 4-26>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, 파주지사(6개소, 60 %), 양평광주서울지사(3개소, 60 %)로 높게 나타났다.

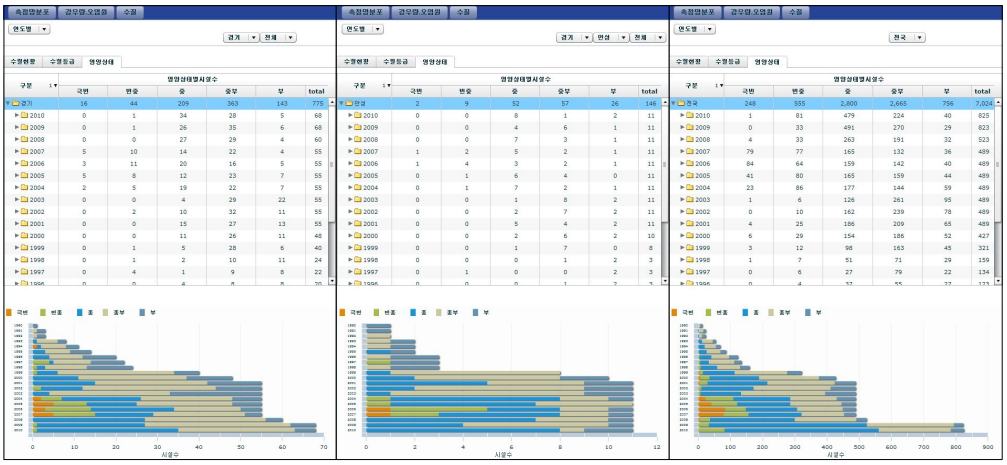
안성지사를 클릭할 경우 <그림 4-26>의 우측 그림과 같이 안성지사에서 관리하는 측정망 대상저수지의 영양상태별 시설수가 나타난다. 안성지사에서 관리하는 11개의 수질측정망 대상저수지 중 만수저수지와 고삼저수지가 부영양으로 나타나고, 용담저수지가 중부영양, 그리고 나머지 8개 저수지가 중영양인 것으로 나타났다.

<그림 4-26> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(지역별옵션)

연도별옵션을 선택할 경우 <그림 4-27>과 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 4-27>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 자지하였다. 반면에 2010년에는 수질이 많이 개선되어 중부영양 및 부영양상태의 저수지 비율이 27.3 %로 크게 감소하였다.



<그림 4-27> 농업용저수지 영양상태 분포 현황(연도별옵션)

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

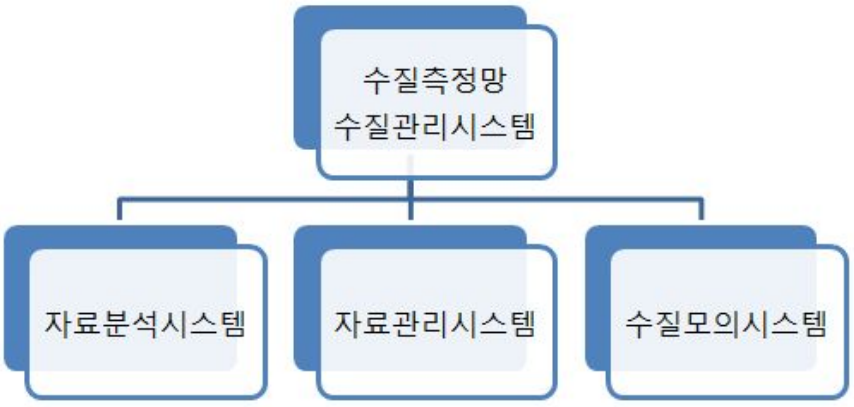
가. 수질관리시스템 개요

4장 2절에서 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 관리모델을 포함한 수질관리시스템을 구성하고 일부 기능을 개발하였다.

나. 수질관리시스템 구성

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



<그림 4-28> 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 계별 오염원수 및 부하량, 주오염원정보, 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.

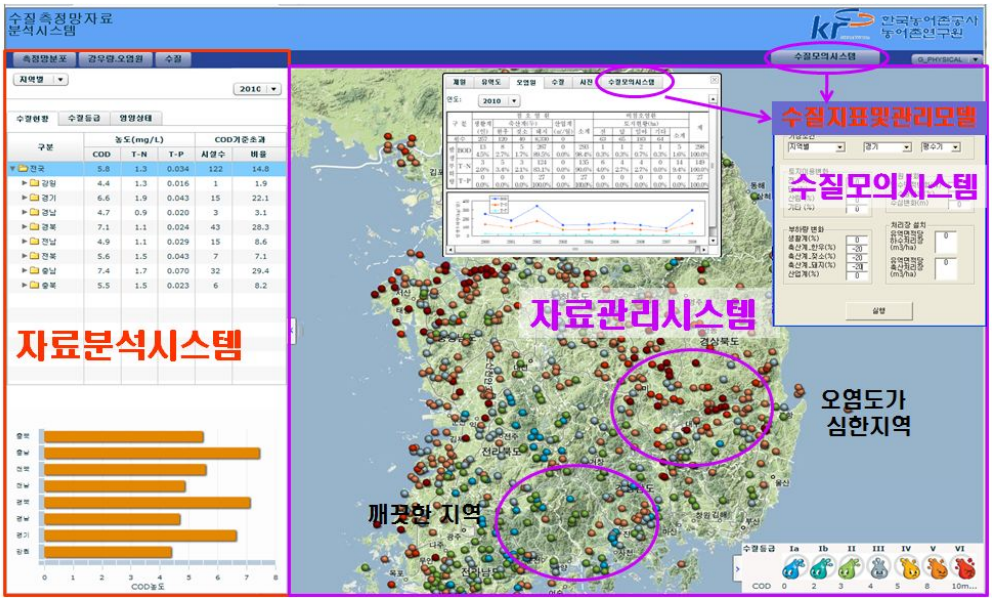
수질모의시스템은 2차년도와 3차년도에 개발할 수질지표 및 관리모델을 이용해 저수지의 수질관리를 위한 간단한 시나리오를 분석할 수 있는 기능을 제공할 계획이다.

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 4-29>와 같이 시스템 화면을 설계하였다.

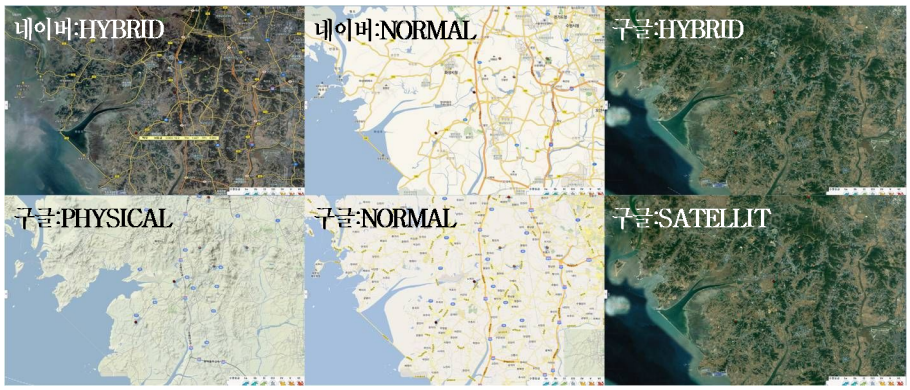
좌측에는 앞에서 개발한 자료분석시스템이 있어 측정된 자료에 대한 검색 및 간단한 분석을 수행할 수 있으며, 우측에는 인터넷지도 위해 수질측정지점을 표시하고 해당 측정지점을 클릭하면 선택한 저수지에 대한 상세한 정보가 제공되도록 디자인 하였으며, 수질관리시스템 상단에 수질모의시스템 아이콘을 만들어 클릭하면 <그림 4-29>와 같은 수질모의시스템이 나타나도록 화면을 설계하였다.



<그림 4-29> 개발 중인 수질측정망 수질관리시스템

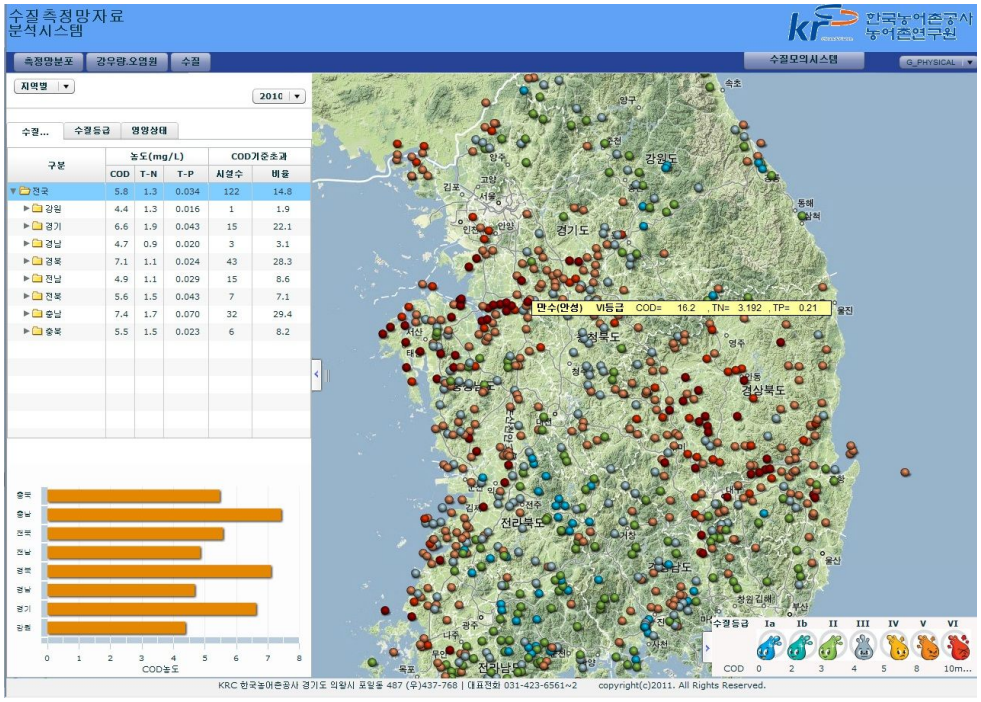
나. 수질관리시스템 내 자료관리시스템 개발

자료관리시스템은 web-GIS기반으로 인터넷지도와 GIS자료 및 DB를 연계하여 다양한 자료를 제공하는 시스템이다. 개발 중인 자료관리시스템은 <그림 4-30>과 같이 6가지의 인터넷지도를 제공하며, 선택된 지도 위에 다양한 GIS자료를 추가하여 사용자가 쉽게 다양한 자료에 대한 공간적인 분석을 가능하도록 하였다.



<그림 4-30> 수질측정망 수질관리시스템에서 제공되는 인터넷 지도

<그림 4-31>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.

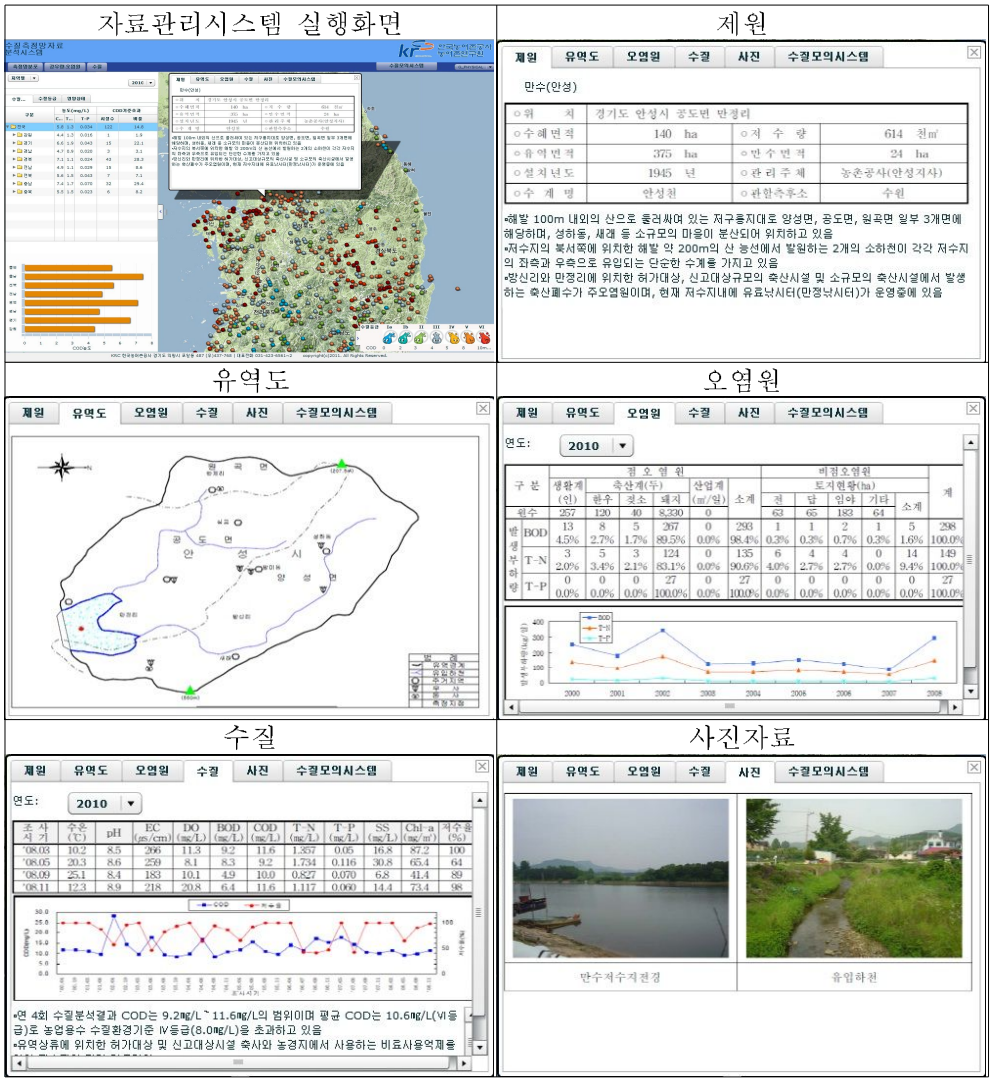


<그림 4-31> 개발 중인 자료관리시스템 전체화면

또한 관심 있는 저수지를 클릭하면 RIMS에서 제공하던 PDF형태의 시설보고서를 <그림 4-32>와 같이 제공하여 선택된 저수지에 대한 자세한 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 저수지를 클릭할 경우 제공되는 자료로는 제원, 유역도, 오염원, 수질, 사진이 있다.

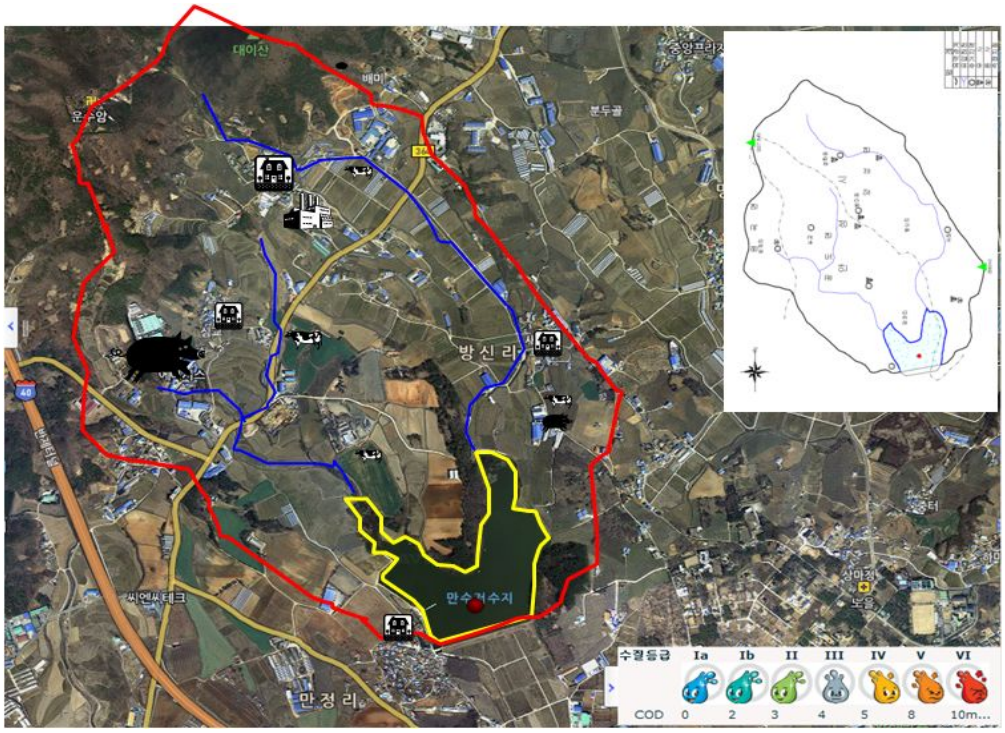
제원 메뉴에는 위치, 수혜면적, 저수량, 유역면적, 관리주체 등과 같은 제원정보와 유역 특성을 간단하게 설명한 내용이 제공되며, 유역도 메뉴에는 유역경계, 유입하천, 주거지역, 우사, 돈사, 측정지점이 표시된 그림이 제공된다. 오염원 메뉴에는 선택된 연도에 대해 계별 오염원수 및 발생부하량 정보가 표 형태로 제공되며, 하단에 연도별 BOD, T-N, T-P의 발생부하량 변화가 그래프 형

태로 제공된다. 수질 메뉴에는 선택된 연도에 대해 연 4회 실측한 수질이 수질 항목별 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 수질지표 및 관리모델이 제공되는 메뉴이다. 관심 있는 저수지를 클릭할 경우 자료를 제공하는 기능은 일부 본 연구의 범위를 벗어나기 때문에 다른 과제에서 개발할 계획이다.



<그림 4-32> 개발 중인 자료관리시스템의 세부자료 제공화면

또한 관심 있는 저수지의 인터넷지도를 크게 확대할 경우 <그림 4-33>과 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 내용을 벗어나기 때문에 상세한 기능은 향후 다른 과제를 통해 개발할 계획이다.



<그림 4-33> 자료관리시스템의 GIS자료 제공기능

다. 수질관리시스템 내 수질모의시스템 개발

1년차에 수질모의시스템을 개발하지는 않고 2~3차년 도에 개발할 수질지표 및 관리모델을 수질관리 실무자가 쉽게 이용할 수 있도록 수질관리시스템에 포함시킬 계획이며, 세부적인 내용은 2~3차년도에 연구를 수행할 계획이다.

5장 수질지표 개발을 위한 인공지능기법 연구

5장 수질지표 개발을 위한 인공지능기법 연구

1절 수질지표 국내외 개발 사례연구

1. 각국의 종합수질지표 개발과 이용실태

가. 미국

종합수질지표가 가장 많이 연구된 곳은 미국으로 각 주 별로 지정된 각각의 개별 용도에의 적합성을 평가하여 이를 중앙정부에 보고하도록 하고 있다. 이에 따라 각 주는 수중생태계 보존, 물고기 섭취, 수영 등의 위락용도, 음용수용도 등과 같이 용도를 분류하여 적합성을 평가하고 있다. 평가기법은 주 별로 차이가 있으며 일리노이주의 경우, 하천을 수중생태계, 물고기 소비, 수영, 음용수 공급, 이차적인 수접촉 등의 용도로 분류하고 적합성 정도를 Full(충분적합), Full/Threatened (적합), Partial/Minor Impairment (부분적합), Partial/Moderate Impairment (부분부적합), Nonsupport (부적합)로 평가하고 있으며 각 용도별 평가방법은 다음과 같다.

(1) 수중생태계 용수(ALU : Aquatic Life Use)

수중생태계평가는 Illinois Environmental Protection Agency(IEPA)모니터링 프로그램 결과인 생물 및 비생물 자료에 기초한다. 생물자료는 물고기군과 무척추동물군 (macroinvertebrate)에 대한 자료를 Index of Biotic Integrity(IBI)와 IEPA의 Macroinvertebrate Biotic Index(MBI)를 사용해서 평가한 정보로 구성되어 있다. 수중생태계 용수(ALU:Aquatic Life Use)에서 사용된 비생물학적 자료는 수화학, 물고기 조직분석, 침전물의 화학적 특성, 서식처 등의 물리적 평가 자료를 포함하고 하천의 서식환경자료는 수심, 유속, 하천내 식생종류 등을 포함한다. 서식환경자료는 다중회귀식에서 나오는 Predicted Index of Biotic Integrity(PIBI) 값으로 생물잠재성을 평가하는데 사용된다. 수화학자료는 일반적인 항목(DO, pH, 온도)과 독성물질(일차오염물질, Cl, NH_3-N)의 분류에 따라 사용되고 물고기조직과 침전물의 화학적 자료는 주로 중금속과 유기염소화합물에 대한 것이다.

수화학 자료만 이용하여 수중생태계의 유지정도를 평가할 경우 (표 5-1)과 침전물의 화학적 자료만 이용하는 경우 (표 5-2)가 각각 제시되어 있다. 일부 지역에 대한 용수이용제한 자료가 있는 경우에는 그 자료도 이용한다.

(표 5-1) 하천에서 ALU 평가를 위해 사용되는 수화학물질에 대한 기준

수생태계 유지용수	기 준
충분적합	- 5년 동안 급성기준 항목 0~1개 위반 또는 만성기준을 넘을 경우가 총 시료수의 10 %이하
부분적합	- 5년 동안 급성기준 항목 중 2항목 위반 또는 만성기준을 넘는 경우가 총 시료수의 10 %~18 %
부분부적합	- 3년 연속 급성기준의 2항목이 위반 또는 만성기준을 넘는 경우가 총 시료수의 18 %~25 %
부적합	- 5년 동안 급성기준의 3항목 이상이 위반 또는 만성기준을 넘을 경우가 총 시료수의 25 %이상

(표 5-2) 하천에서 ALU평가를 위해 사용되는 침전화학물질에 대한 기준

수생태계 유지용수	침전물 화학성질
충분적합	- 대부분의 금속과 유기염소화합물들이 안전수준의 농도이나, 일부가 약간 상승된 농도로 존재
부분적합	- 유기염소화합물 또는 금속이 하천침전물속에 약간 높은 농도로 존재
부분부적합	- 유기염소화합물 또는 금속이 하천침전물속에 높은 농도로 존재
부적합	- 유기염소화합물 또는 금속이 높은 농도로 지속적으로 발견

(2) 물고기 소비용도(Fish Consumption)

물고기소비용도 평가는 물고기 조직의 분석자료와 물고기오염 모니터링프로그램 자료에 기초한다. 물고기 소비용도에 관한 평가는 (표 5-3)에 제시한 기준을 사용해서 평가된다.

(표 5-3) 일리노이주 하천의 물고기 소비용도 평가기준

용도지지의 정도	기 준
충분적합 부분적합 부적합	- 물고기 섭취에 관한 권고치나 기준들을 위반한 적이 없음 - 특정종류의 어패류나 특정인(어린이, 임산부 등)에 대한 "섭취 제한" - 한 가지 이상의 물고기에 대해 일반인에게 "섭취금지", 상업적인 낚시금지

(3) 수영용도(Swimming)

일차적인 접촉 위락용수로서 수영용도평가는 분변성 대장균(fecal coliform) 박테리아의 최근 5년간 평균치를 기준치와 비교하여 평가하고 있다. 박테리아의 기준은 일차적인 접촉용도의 물에 대해 200/100 mg/L이하로 정하고 있으며, 최근 5년 동안의 분변성 대장균수의 평균과 기준치와의 비교를 통한 평가는 (표 5-4)에 제시하였다.

(표 5-4) 일리노이주 하천의 수영용도 평가기준

용도지지의 정도	기 준
충분적합 적합 부분적합 부적합	- 시료의 평균치가 기준을 넘는 시료의 수 < 10 %. - 10 % < 기준을 넘는 시료의 수 ≤ 18 % - 18 % < 기준을 넘는 시료의 수 ≤ 25 % - 25 % < 기준을 넘는 시료의 수

(4) 음용수 공급용도(Drinking Water Supply)

강과 하천에 대한 용수공급용도의 평가는 IEPA의 공공용수공급프로그램으로부터 얻어진 음용수공급중단 또는 상황보고에 근거하여 결정된다. 기준은 (표 5-5)에 제시하였다.

(표 5-5) 일리노이주 하천의 음용수 공급용도 평가기준

용도지지의 정도	기 준
충분적합	- 조사기간 동안 공급이 금지되거나 공급 주의를 받은 적이 없음 : "고도처리" 필요 없음
적합	- 연간 30일이하의 기간 동안 하나 이상 음용수공급 권고치를 넘는 항목이 있음 : 또는 폐쇄는 필요하지 않지만 맛이나, 냄새, 색, 탁도, 높은 용존고형물 농도 등 활성탄여과를 필요로 하는 수질에 영향을 미치는 항목이 있음
부분적합	- 일 년에 30일 이상 하나 이상의 항목이 용수공급권고치를 넘고 있음
부적합	- 일 년 동안 음용수공급이 폐쇄된 적이 한 번 이상 있음

(5) 이차 접촉 용도(Secondary Contact)

이차접촉용도의 평가는 IEPA의 모니터링프로그램으로부터 나오는 화학적 수질 자료에 기초한다. 이차접촉용도는 일리노이주의 기준에서 가장 제한되는 설계용도이고 시카고지역의 일부하천과 수로에만 적용된다. 최근 5년간의 모든 수화학자료가 이차접촉기준과 비교되었다. 용도적합성정도의 결정은 (표 5-6)의 평가기준에 기초하고 있다.

(표 5-6) 일리노이주 하천의 이차 접촉용도 평가기준

용도지지의 정도	기 준
충분적합	- 이차접촉기준을 넘는 시료수 ≤ 10 %
적합	- 10 % < 이차접촉기준을 넘는 시료수 ≤ 18 %
부분적합	- 18 % < 이차접촉기준을 넘는 시료수 ≤25 %
부적합	- 25 % < 이차접촉기준을 넘는 시료수

(6) 종합적인 용도(Overall Use)

강과 하천의 종합적인 평가는 각각의 용도별 평가를 참고하지만 이중에서도 수중생태계 보호를 위한 용도가 전반적인 하천상황을 평가하는데 가장 중요한 지표로 이용된다.

나. 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, PO_4-P, NH_3-N의 4항목을 이용해 종합수질지표(WQI)를 다음과 같이 산정하였다 (岡외, 1983).

$$WQI = 0.162\times DO + 1.34\times\log\ (BOD + 0.90) + 1.54\times\ \log\ (PO_4\text{-}P + 0.094) + 1.22\times\log(NH_3\text{-}N + 0.49) + 0.146 \qquad (식5\text{-}1)$$

다. 영국

현재 영국에서 사용되고 있는 공식적인 분류시스템은 하천수질을 DO, BOD, NH_3-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 일반수질지표(WQI : Water Quality Index)와 용도관련지수로 구분하여 개발하였다. 일반수질지표(WQI)는 잠재적인 수용도의 범위에서 수질을 반영하는 것으로 영국에서 정기적으로 모니터링되는 9개의 물리-화학적 그리고 생물학적 항목에 기초하고 있다. 용도별 지수로는 원수의 적합성 반영정도를 나타내는 PWSI(Public Water Supply Index), 독성에 대한 지수로서 ATI(Aquatic Toxicity Index), 공공용수공급용으로의 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 지수중 ATI는 물고기와 야생

동물의 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. 이들 지수에서 용도적합성 평가를 위해 선택된 항목은 (표 5-7)과 같다.

(표 5-7) 4개의 독립지수에 포함되는 항목들

WQI	ATI	PSI	PWSI
DO	용존Cu	Total Cu	WQI + :
NH_3	Total Zn	Total Zn	황산염
BOD	용존Cd	Total Cd	F
SS	용존Pb	Total Pb	색도
질산염	용존Cr	Total Cr	용존Fe
pH	Total As	Total As	
온도	Total Hg	Total Hg	
Cl	Total CN	Total CN	
Total Coliforms	Phenol	Phenol	
		총탄화수소	
		PHAs	
		총살충제	

자료 : House, M.A. and J.B.Ellis, 1987

라. 러시아

소련에서는 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 하였으

며, GI의 일반적인 형태는 다음과 같이 부지수 함수를 구해 이를 단순 산술평균하는 형태를 취하고 있다 (Evdokimov, 1990).

$$I = \frac{\sum_i I_i}{n} \qquad \text{(식5-2)}$$

여기서 n은 항목수이고 I_i는 각 항목별 부지수함수로 함수로 산정한 값을 수질등급에 따라 다시 환산한 정수 값이다. 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 소련과학원 산하의 Ural Scientific Center는 수오염지수 X를 하천의 화학적 지수 X_{chem}과 미생물적 지수 X_{bac}으로 분리하여 계산한 후 종합화하는 다음의 식을 제안했다.

$$X = \sqrt{X_{chem} X_{bac}} \qquad \text{(식5-3)}$$

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

$$X_{chem} = \max_i \left(\sum_{i=1}^{nj} \frac{S_{ij}}{MAC_i} \right) \qquad \text{(식5-4)}$$

여기서 S_{ij}는 j번째 집합의 i번째 유해물질의 농도이며, MAC_i는 수용도의 분류에서 최대허용농도(Maximum Allowable Concentration)에 해당하며, nj는 j번째 그룹에 포함되는 총 물질수이다.

X_{bac}는 위락용도를 위해 사용되는 하천수에 대해 소련 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 경향파악 및 수처리시설의 효과 파악에 이용되고 있다.

마. 캐나다

캐나다에서 개발된 수질지표는 간단하며 대장균, pH, 온도, 탁도의 4개 항목을 이용하고 있으며 대장균에 가장 큰 비중을 두고 있다. 종합식은 다음과 같은 두 가지 형태 중 하나를 선택하고 있다 (Denis Couillard and Yves Lefebvre, 1986).

$$Water\ Quality\ index = \sum q_i w_i \qquad (식5\text{-}5)$$

$$Water\ Quality\ index = \prod q_i^{w_i} \qquad (식5\text{-}6)$$

여기서 q는 개별 항목의 수질 값이고 w는 각 항목의 가중치이다. 각 항목별 부지수함수는 그래프를 이용한 내삽함수로 표시하였으며 항목별 가중치는 4가지 항목 중 대장균에 가장 많은 점수를 주었다.

(표 5-8) 4개의 항목별 가중치

항 목	가 중 치
대장균 수	0.4
pH	0.2
온 도	0.2
탁 도	0.2

종합지수의 산정은 각 항목별 내삽함수에서 산정한 값(오염도에 따라 0점에서 100점 까지)에 따라 가중치를 부여해 종합화하였고 수질판정기준은 (표 5-9)와 같이 6단계로 하였다

(표 5-9) 수질지표별 판정기준

수 질 지 수	판 정
100	최우수
86-99	우수
76-85	양호
60-75	보통
1-59	보통이하
0	기준이하

바. 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 관련되어 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, NO_2-N, DO, BOD, NO_3-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 5-10) 오염정도별 인자분석 결과

하천구간	오염된 부분	오염되지 않은 부분
인자 1 인자 2 인자 3	- 염소(CHLO), 전도도(COND) - 탁도, 부유고형물 - DO, 총질소, BOD, 대장균	- DO, NO_3-N - 탁도, 부유고형물 - 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).

$$WQI1 = -3.102 + 1.624 \log(DO) + 0.256 \log(CHLO) - 0.160 \log(NO_3) + 0.071 \log(COND) \quad (R^2 = 0.90) \quad (식5\text{-}7)$$

$$WQI2 = -3.194 + 1.226 \log(TURB) + 0.633 \log(SUSP) \quad (R^2 = 0.90) \quad (식5\text{-}8)$$

$$WQI3 = 8.744 - 0.478 \log(TURB) - 0.548 \log(SUSP) + 3.383 \log(NO_2) \quad (R^2 = 0.90) \quad (식5\text{-}9)$$

사. 나이지리아

나이지리아에서는 자연수체의 용도를 물고기의 양식, 가정용, 산업용, 그리고 기타의 4단계로 분류하고 있다. 사용한 수질항목은 수온, pH, DO, BOD, NH_3-N, sulphide(S-2), silica, 경도 등이다. WQI의 점수범위는 0점 에서 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).

아. 이라크

이라크에서는 농사, 축산, 물고기 및 수중생물 유지용수의 3가지 용도로 나누어 TDS(mg/L), pH, DO(mg/L), Coli(MPN), Ec(μS/cm), SAR, Cl^-(mg/L), NO_2-N(mg/L), NH_3-N(mg/L), Cu(mg/L), B(mg/L), Ni(mg/L) 등 12개의 항목으로 종합수질지표를 만들었으며 수질등급은 다음과 같이 5개의 등급으로 구분하고 있다 (Mohammed and Samahat, 1987).

(표 5-11) 수질등급의 구분

수 질 등 급	구 분
등급 I	매우 좋음(excellent)
등급 II	좋음(good)
등급 III	만족스러움(satisfactory)
등급 IV	나쁨(poor)
등급 V	적용불가(unacceptable)

수질지표의 종합화 함수는 다음과 같이 배수형을 취하였다.

$$WQI = \prod_{i=1}^{n} f_i(p_i)^{\frac{1}{n}} \times 100 \qquad \text{(식5-10)}$$

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 (표 5-12)와 같이 90점 이상을 1등급, 19점

이하를 5등급으로 하였다. 기하평균은 그 용도에 관련된 모든 항목 중 낮은 부지수 함수값을 가지는 항목에 민감하게 반응하므로 WQI값이 나쁜 수질 값을 적절히 반영하게 하였다. 한편 (표 5-12)는 중요 항목별 각 등급의 용도에 부합되기 위한 질적 한계수치를 제시하고 있다.

(표 5-12) Al-Jaysh Canal의 용도별 관련항목 분류와 제안수치

	분류	TDS (mg/L)	pH	DO (mg/L)	대장균 (MPN)	EC (μmhos/cm)	SAR	Cl (mg/L)	NO_2 (mg/L)	NH_3 (mg/L)	Cu (mg/L)	B (mg/L)	Ni (mg/L)
농사 No.1	I 1.0	<500	7.0		<1000	500	5	<100			<0.1	<0.5	
	II 0.8	500	8.5		1000	750	6	100			0.1	0.5	
	III 0.5	1500	6.0		1500	2250	15	350			1.0	20	
	IV 0.5	2000	9.0		3000	3000	20	400			20	25	
	V 0.01	>2000	>9.0		>3000	>3000	25	>400			30	30	
축산 No.2	I 1.0	<2500						<1500	0.00				
	II 0.8	2500						1500	0.05				
	III 0.5	3500						3000	0.10				
	IV 0.2	5000						4500	0.15				
	V 0.01	>5000						4500	0.20				
물고기 & 수중 생물 No.3	I 1.0	<2000	7.0	8.0		<3000		<20		<0.5	<0.02		<0.05
	II 0.8	2000	8.0	7.0		3000		100		0.5	0.02		0.05
	III 0.5	8000	6.5	6.0		3500		250		1	0.05		0.10
	IV 0.2	13000	9.0	4.0		4000		400		2	0.1		0.15
	V 0.01	15000	>9.0	3.0		>4000		500		>2	0.1		>0.15

주) TDS = Total dissolved solids (㎎/ℓ), Ec = Electrical Conductivity (μS/cm)
SAR = Sodium adsorption ratio
자료 : Mohammed and Samahat, 1987

(표 5-13) WQI의 분류 제안범위

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

자. 뉴질랜드

뉴질랜드에서는 일반용, 목욕수용, 용수공급용, 그리고 물고기 산란용의 네 가지 지표가 강과 하천에 대해 고안되었다. 이중에서 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 수용도에 대해 선정한 항목은 (표 5-14)와 같다. 독성물질은 물질간의 특성이 크기 때문에 포함되지 않았으며 실질적으로 뉴질랜드의 물은 거의 독성이 없다.

(표 5-14) 4개의 지표에서 사용된 항목

	일반지수	목욕수	용수공급용	물고기의 산란(연어 등)
DO	(X)	(X)	(X)	(X)
pH	(X)	(X)	(X)	(X)
SS	X	X	X	X
탁도	X	X	X	X
온도	(X)	(X)	(X)	(X)
BOD_5	X	X	*	X
암모니아			(X)	
Fecal Coliforms	X	(X)	(X)	

주) ( ) : 제안된 법안에 수치적 기준이 있음을 의미

* : BOD_5가 용수공급 목록에 없으나 지역상황에 따라 필요하면 포함가능

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

(표 5-15) 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).

$$WQI = MIN(I_{sub}) \quad (식5\text{-}11)$$

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.

차. 폴란드

폴란드는 종합지표 작성을 위해 기본항목과 추가항목의 2종류로 나누어 사용하였다 (Dojilido et. al., 1994). 기본항목은 BOD_5, SS, T-P, NH_3-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 기본WQI의 계산한다. 그리고 추가로 결정된 항목에 대한 단일지수를 계산, 추가항목과 기본항목에 대해 계산된 WQI의 값을 비교하고 종합 WQI 산정을 위해 추가항목의 단위 지표 값이 기본항목 WQI보다 낮은 항목을 선정하여 계산, 최저단위지수에서 한계항목을 선택(이 항목은 종합WQI의 수치에 큰 영향을 미침)하는 순서로 진행된다.

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

(표 5-16) 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 평균법중 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.

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i^2}}} \qquad \text{if } x_i \neq \text{for each I} \qquad \text{(식5-12)}$$

$$WQI = 0 \qquad \text{if } x_i \equiv \text{for any I} \qquad \text{(식5-13)}$$

여기서 WQI : 기본수질지표, n : 취해진 지수의 수, x_i : 항목 i에 대한 단일지수

2. 각국 종합수질지표의 구조분석

외국의 사례에서 살펴본 종합수질지표의 형식과 구조는 각국의 이용 가능한 자료수, 수질기준 항목 및 수이용 상태에 따라 항목수와 부지수 함수가 다양하지만 보편적인 일반 형태는 부지수함수를 산정하여 이를 종합화하는 방식을 선택한다. 부지수 I_i는 개별수질항목 Xi에 대해 함수 $f_i(X_i)$로서 계산된다.

$$I_i = f_i(X_i) \qquad \text{(식5-14)}$$

부지수 함수 $f_1(X_1)$, $f_2(X_2)$,…, $f_n(X_n)$는 특별한 오염항목의 환경적 특성을 대표하므로 이들 함수식에는 각각 다양한 수학식이 사용된다. 일단 부지수들이 계산되면, 그들은 최종적인 지수를 산출하기 위해 종합화된다.

$$I = g(I_1, I_2, \cdots, I_n) \qquad \text{(식5-15)}$$

종합함수는 일반적으로 각 부지수들의 합 및 곱, 최대 및 최소치의 형태를 취한다. 이와 같이 종합수질지표는 각 수질항목을 어떤 수학식으로 부지수 함수화시키느냐 와 부지수함수에 의해 산정된 값을 어떻게 종합화하느냐의 두 가지 수학적 단계를 가진다.

이상 각국의 수질지표를 검토한 결과 하천에 따라 항목별 중요도가 다양하며, 국가별로 자료수준에 따라 각국의 특성에 적합하게 수질지표를 작성하여 사용하고 있음을 알았다. 종합지표 작성을 위해 사용한 기본항목은 pH, BOD_5, SS, NH_3-N, DO 등의 일반 수질항목이 많이 사용되고 있으며, 대부분 정기적으로 측정이 되는 항목을 바탕으로 하고 있다. 기타항목으로 Phenol, Mg, Pb, Hg, Cu, Cr^{+6}, Zn, Cd, Ni 등은 일반적으로 널리 채택되고 있지 않다. WQI산정을 위한 부지수함수는 대부분 회귀식을 이용해 산정한 일차식, 지수식 및 로그식이 두루 이용되고 있으며, 종합화 과정에서는 단순평균은 거의 사용하지 않고 대부분이 지수가 가중곱 (weighted product)의 형식을 택하고 있다.

2절 수질지표 개발을 위한 인공지능 프로그램 개발

1. 인공지능기법을 이용한 패턴인식 프로그램 개발

가. 개요

ECM은 Evolving Clustering Method의 약자로 동적으로 군집(cluster)의 수를 추적하기위한 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.

나. 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

다. 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 불어올 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 여리 데이터가 y축으로 사용되는 것을 의미함

라. ECM함수의 예

예 1

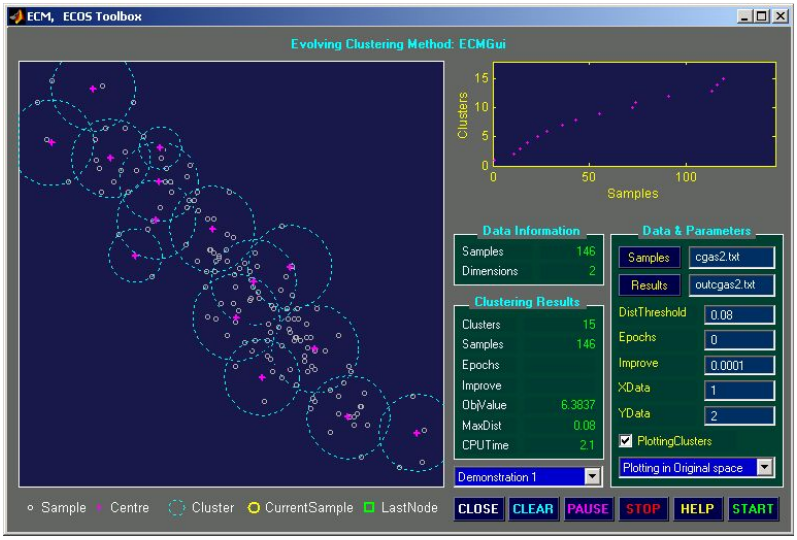
```
step 1 :                        %데이터 로딩
    load cgas2.txt
setp 2 :                        %군집분류를 위해 ecm 불러오기
    [res] = ecm(cgas2);         %초기 매기변수를 이용한 ECM군집분류
setp 3 :                        %그래프 그리기 위해 ecmp 불러오기
    ecmp(res);                  %결과 그래프 그리기
```

예 2

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

마. ECM GUI 사용하기 : *ecmgui*

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



<그림 5-1> ECM GUI 실행화면

○ data & parameters 영역에 있는 samples 버튼을 클릭하여 입력파일을 선택하거나 직접 파일명을 입력한다. 데이터 셋은 반듯이 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.

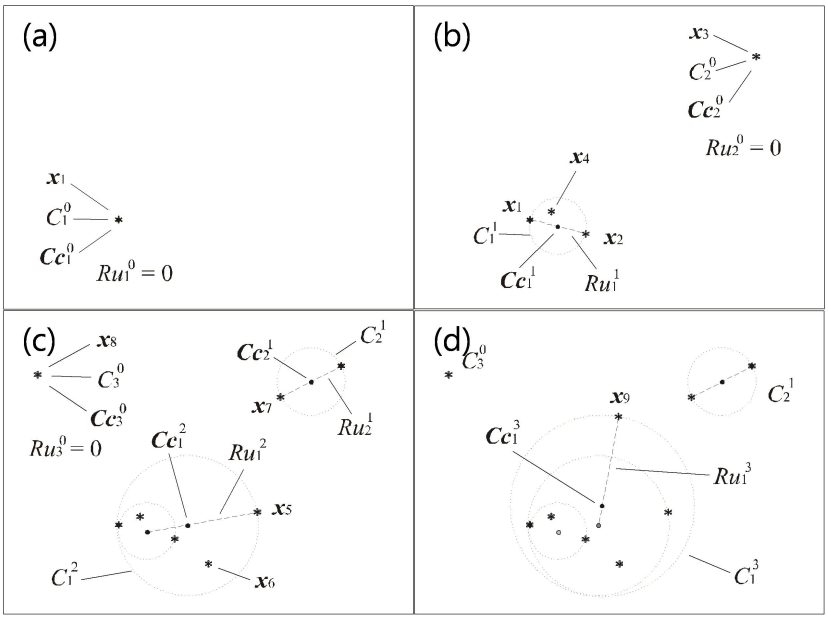
○ Data & Parameters영역에 있는 매개 변수 값을 초기 값을 그대로 이용하거나 수정하여 입력한다.

○ 군집분류를 시작하기 위해 Start 버튼을 클릭하고, 군집분류 정보와 결과는 값과 그래프로 동시에 화면에 나타난다.

바. 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 매개변수이다.

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 현제 데이터 예의 위치에 따라 달라진다. 군집은 군집반경(*Ru*)이 한계 값(*Dthr*)보다 크거나 같으면 갱신되지 않는다. 2차원 공간에서 간단한 ECM 군집분류의 절차는 <그림 5-2>와 같다.



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

<그림 5-2> ECM을 이용한 간단한 군집분류 과정

(표 5-17) ECM 적용과정 설명

단계	설명
(a)	새로운 군집 C_1^0을 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_1값 0을 이용해 첫 번째 군집 C_1을 생성한다<그림 5-2(a)>.

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

$$d(i,j) = \| x_i - Cc_j \|, j = 1,2,\cdots,n \qquad \text{(식5-16)}$$

이번 연구에서 2개의 q요소 벡터 x와 y사이의 거리 $\| x-y \|$는 다음과 같이 정의된 일반화된 기하학적 거리를 의미한다.

$$\| x-y \| = \left(\sum_{i=1}^{q} |x_i - y_i|^2 \right)^{1/2} / q^{1/2} \qquad \text{(식5-17)}$$

여기서 $x, y \in R^q$.

○ 2단계 : 만약 중심이 Cc_m, 군집 반경 Ru_m, Cc_m과 예 x_i사이의 거리값 $d(i,m)$을 갖는 군집 C_m이 존재한다면, 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$d(i,m) = \min d(i,j) = \min(\| x_i - Cc_j \|) \qquad \text{(식5-18)}$$

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

현재의 예 x_i는 군집 C_m에 속하는 것으로 여겨진다. 이 경우, 새로운 군집은 생성되지도 않고 기존에 존재하던 군집도 갱신되지 않는다(<그림 5-2>의 데이터 벡터 x_4와 x_6). 이 알고리즘은 그리고 나서 다시 1단계로 되돌아간다.

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

$$S_{ij} = s(i,j) = d(i,j) + Ru_j,\ j = 1, 2, \cdots, n \qquad \text{(식5-19)}$$

그리고 최소값 $s(i,a)$를 갖는 군집 C_a를 선택한다.

$$S_{ia} = s(i,a) = d(i,a) = Ru_a = \min s(i,j),\ j = 1, 2, \cdots, n \qquad \text{(식5-20)}$$

○ 4단계 : 만약 $S_{ja} > 2Dthr$이면, 예 x_i는 기존에 존재하는 어떠한 군집에도 소속되지 않는다. 새로운 군집이 0단계에서 설명한 방법과 동일하게(<그림 5-2>의 입력 데이터 벡터 x_3와 x_8) 생성된다. 그리고 알고리즘은 1단계로 되돌아간다.

○ 5단계 : 만약 $S_{ja} < 2Dthr$이면, 중심 Cc_a의 이동, 반경 Ru_a의 증가를 통해 군집 C_a가 갱신된다. 갱신된 Ru_a^{new}는 $S_{ja}/2$와 동일하게 세팅되고, 새로운 중심 Cc_a^{new}는 입력 벡터 x_i와 오래된 군집 중심 Cc_a의 연결선 위에 놓여진다. 새로운 중심 Cc_a^{new}로부터 점 x_i까지 거리는 Ru_a^{new}(<그림 5-2>의 입력 데이터 점 x_2, x_5, x_7, x_9)와 동일해 진다. 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.

사. 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 q부분집합에 속하는 데이터 셋 $\{x_i\}=\{[x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{ip}]\}$, $i=1, 2, \cdots, l$을 학습시켜 분류사(classifier)를 설정하는 것이라고 가정한다.

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

$n_c=\sum_{k=1}^{q} m_k$, 여기서 m_k는 k번째 부분집합의 노드 번호이다.

모든 입력 데이터 벡터 $x=[x_1, x_2, \cdots, x_p]$를 위해 분류사(clissifier)는 n_c노드로부터 하나의 노드 Cc_k를 찾는다면, 이 입력 데이터 x는 이 부분집합(클래스)에 속한다. 여기서 n_c노드는 k번째 부분집합에 놓이고 입력 공간에서 x까지의 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 5-3>과 같다.

$$\begin{cases}\gamma=(\theta+\pi/2)/\pi \\ \theta=k\pi/16, k=1, 2, \cdots, 96\end{cases} \quad \text{(밀도1, 학습용 데이터)} \qquad \text{(식5-21)}$$

$$\begin{cases}\gamma=(\theta+\pi/2)/\pi \\ \theta=k\pi/64, k=1, 2, \cdots, 384\end{cases} \quad \text{(밀도4, 테드트용 데이터)} \qquad \text{(식5-22)}$$

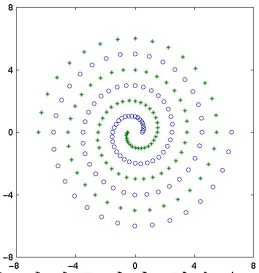
$$\text{나선1}: \begin{cases}x=\gamma\cos(\theta) \\ y=\gamma\sin(\theta)\end{cases} \qquad \text{(식5-23)}$$

나선2 : $\begin{cases} x = -\gamma\cos(\theta) \\ y = -\gamma\sin(\theta) \end{cases}$ (식5-24)

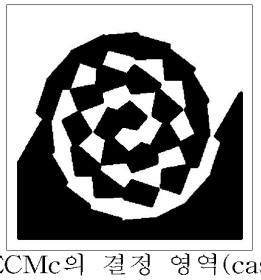
ECMc 분류의 2가지 케이스의 매개변수와 결과는 다음과 같으며, <그림 5-3>의 (b)와 (c)는 ECMc의 2가지 케이스를 위한 결정 영역을 보여준다.

(표 5-18) 2가지 케이스에 대한 ECMc 매개변수 및 결과

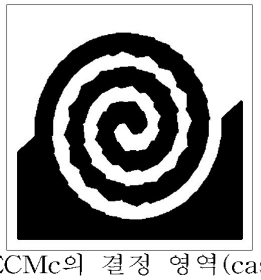
Case 1	매개변수	Sthr	0.955
	결과	노드 수	64
		학습용 분류율	100 %
		테스트용 분류율	98.4 %
Case 2	매개변수	Sthr	0.98
	결과	노드 수	124
		학습용 분류율	100 %
		테스트용 분류율	100 %



(a) 2개 나선문제의 학습용 데이타



(b) ECMc의 결정 영역(case 1)



(c) ECMc의 결정 영역(case 2)

<그림 5-3> 2가지 나선문제 : ECMc의 학습용 데이터와 결정 영역

3절 인공지능 프로그램 적용성 평가

1. 개발된 ECM 검증

가. 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.

나. ECM 검증 결과

812개 저수지에 대해 ECM을 이용해 COD, T-N, T-P로부터 수질등급을 추정한 결과는 <그림 5-4>와 같다.

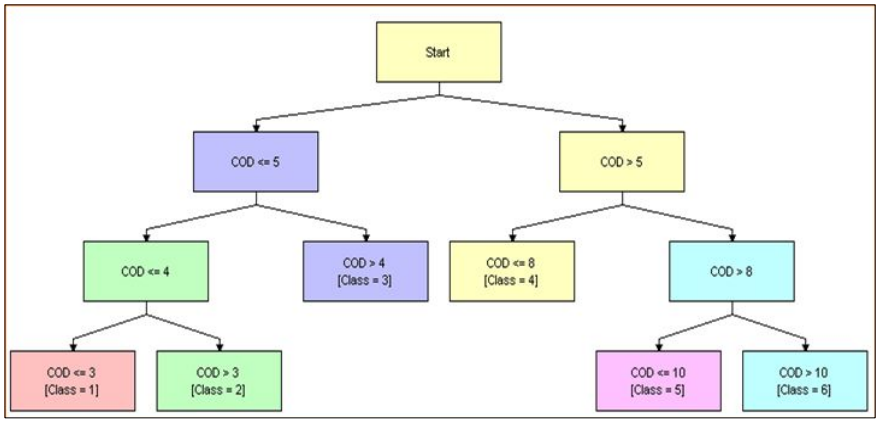
Confusion Matrix For: Class
(None of the test rows were skipped)

		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%	

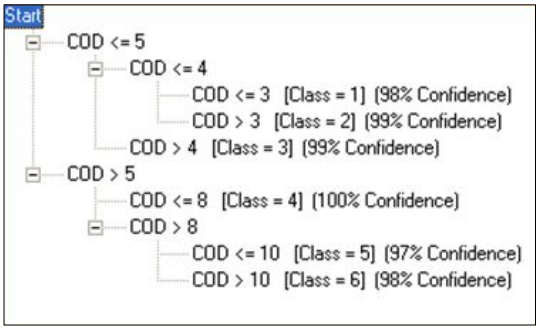
<그림 5-4> ECM을 이용한 수질등급 추정결과 검증

812개 저수지의 COD기준 수질등급은 Ib등급이 62개소, II등급이 162개소, III등급이 169개소, IV등급이 302개소, V등급이 54개소, VI등급이 63개소였으며, ECM을 이용해 COD기준 수질등급을 추정한 결과도 <그림 5-4>와 같이 동일한 개소수를 나타내었다. 또한 실제 수질등급과 추정된 수질등급이 동일한지를 <그림 5-4>와 같이 매트릭스로 표현한 결과 정확히 일치하였으며, 오차는 0이다.

또한 ECM은 학습을 통해 군집만 분류하는 것이 아니라, 군집을 분류했던 규칙을 찾아준다. 규칙은 <그림 5-5>와 같은 순서도와 <그림 5-6>과 같은 fuzzy rule형태로 제공한다.



<그림 5-5> ECM을 이용해 찾아낸 분류 규칙



<그림 5-6> ECM을 이용해 찾아낸 fuzzy rule

<그림 5-6>과 같이 ECM을 이용해 찾아낸 fuzzy rule를 다시 정리하면 (표

5-19)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 5-19) 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 저수지 COD, T-N, T-P 및 COD기준 수질등급을 이용해 교사학습을 한 후 COD, T-N, T-P만 주어질 경우 정확히 수질등급을 추정하였고, 또한 수질등급을 분류했던 규칙도 정확히 도출해 주었다.

2. ECM을 이용한 수질등급 추정

가. ECM을 이용한 수질등급 추정 방법

ECM이 주어진 자료를 이용해 교사학습방법으로 잘 군집을 분류할 수 있음을 앞에서 검증하였다. 검증된 ECM을 저수지 수질이외의 유역제원 및 유역의 오염부하량만을 이용해 저수지 수질등급을 추정할 수 있는지 테스트해보았다.

저수지 수질등급 추정을 위해 이용한 유역 제원 및 부하량자료는 유효저수량, 유효수심, 저수지수표면적, 유역면적, BOD(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량, T-N(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량, T-P(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량이다.

812개 저수지에 대해 위의 자료를 excel을 이용해 정리하였다. 정리된 자료를 ECM에서 불어온 후 위의 항목 등을 추가 삭제하면서 오차가 가장 적게 발생하는 항목과 그때의 결과를 정리하였다. 최종적으로 사용된 항목은 유효저수량, 유효수심, 저수지수표면적, 유역면적, BOD(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량, T-N 총 발생부하량, T-P(총, 점) 발생부하량자료 이다.

나. 수질등급 추정 결과

812개 저수지의 제원 및 유역부하량과 COD기준 수질등급을 이용해 ECM을 학습시킨 후 저수지제원 및 유역오염부하량만을 이용해 저수지의 COD기준 수질등급을 추정한 결과는 <그림 5-7>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	37	5	3	6	0	1	52	28.85%
	2	14	130	14	18	2	3	181	28.18%
	3	7	13	136	18	3	2	179	24.02%
	4	4	12	13	252	15	9	305	17.38%
	5	0	1	1	3	30	5	40	25.00%
	6	0	1	2	5	4	43	55	21.82%
Actual Totals		62	162	169	302	54	63	812	22.66%
Actual Error%		40.32%	19.75%	19.53%	16.56%	44.44%	31.75%	22.66%	

<그림 5-7> ECM을 이용한 수질등급 추정결과

812개 저수지의 COD기준 수질등급은 Ib등급이 62개소, II등급이 162개소, III등급이 169개소, IV등급이 302개소, V등급이 54개소, VI등급이 63개소였으나, 유역제원 및 오염부하량 자료만을 이용해 추정한 결과 Ib등급이 52개소, II등급이 181개소, III등급이 179개소, IV등급이 305개소, V등급이 40개소, VI등급이 55개소로 나타났다. 각 등급별로 실제 등급과 추정된 등급 사이의 에러를 계산한 결과 Ib등급이 28.85 %, II등급이 28.18 %, III등급이 24.02 %, IV등급이 17.38 %, V등급이 25.00 %, VI등급이 21.82 %로 전체 22.66 %의 오차가 발생하였다.

2장에서 유역의 제원 및 부하량자료와 저수지 수질 및 수질등급과 상관관계를 분석한 결과 유효수심만이 수질등급과 상관관계가 있는 것으로 나타난 것을 고려하면 22.66 %는 매우 낮은 오차라고 판단된다. 이러한 오차는 발생부하량 대신 수질과 상관관계가 높은 배출부하량을 이용할 경우 더 감소할 것으로 추정된다.

3. ECM을 이용한 COD농도 추정

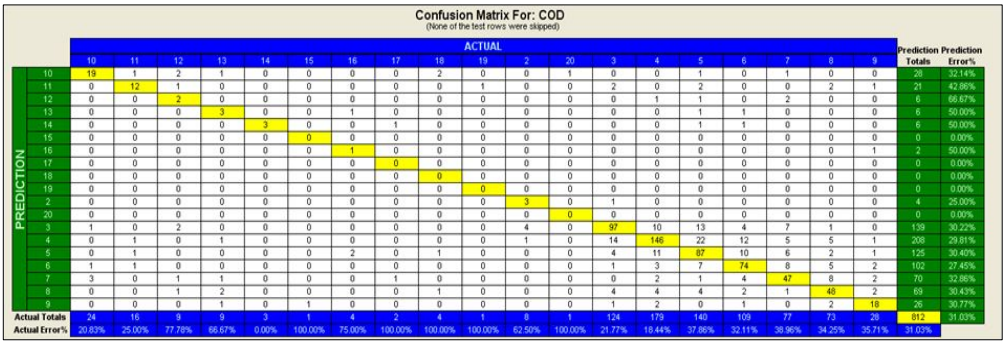
가. ECM을 이용한 COD농도 추정 방법

저수지의 수질등급을 추정한 방법과 비슷하게 유역제원과 오염부하량자료만을 이용해 저수지 COD농도(정수값)를 추정해 보았다. COD농도 추정에 이용된 자료는 앞에서 사용한 것과 동일한 유효저수량, 유효수심, 저수지수표면적, 유역면적, BOD(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량, T-N(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량, T-P(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량이다.

나. COD농도 추정 결과

Excel을 이용해 정리된 자료를 ECM에서 불어온 후 위의 항목 등을 추가 삭제하면서 오차가 가장 적게 발생하는 항목과 그때의 결과를 정리하였는데, 최종적으로 선택된 항목은 유효저수량, 유효수심, 저수지수표면적, BOD(생활계, 축산계, 점오염원, 총) 발생부하량, T-N 총 발생부하량, T-P 총 발생부하량자료이다.

812개 저수지의 제원 및 유역부하량과 COD농도(정수)를 이용해 ECM을 학습시킨 후 저수지제원 및 유역오염부하량만을 이용해 저수지의 COD농도(정수)를 추정하였다. 812개 저수지의 COD농도를 추정한 결과와 실제 저수지를 매트릭스로 비교한 결과는 <그림 5-8>과 같다.



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

PREDICTION \ ACTUAL	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	2	20	3	4	5	6	7	8	9	Prediction Totals	Prediction Error%
10	19	1	2	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	28	32.14%
11	0	12	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	2	0	0	2	1	21	42.86%
12	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	6	66.67%
13	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6	50.00%
14	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6	50.00%
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
16	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	50.00%
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4	25.00%
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	97	10	13	4	7	1	0	139	30.22%
4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	14	146	22	12	5	5	1	208	29.81%
5	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	4	11	87	10	6	2	1	125	30.40%
6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	7	74	8	5	2	102	27.45%
7	3	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	4	47	8	2	70	32.86%
8	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	4	4	4	2	1	48	2	69	30.43%
9	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	2	18	26	30.77%
Actual Totals	24	16	9	9	3	1	4	2	4	1	8	1	124	179	140	109	77	73	28	812	31.03%
Actual Error%	20.83%	25.00%	77.78%	66.67%	0.00%	100.00%	75.00%	100.00%	100.00%	100.00%	62.50%	100.00%	21.77%	18.44%	37.86%	32.11%	38.96%	34.25%	35.71%	31.03%	

<그림 5-8> ECM을 이용한 COD농도 추정결과

<그림 5-8>에서 오차는 31.03 %로 수질등급을 추정한 경우(22.66 %)보다 높은 오차를 나타내었는데, 이는 수질등급을 추정한 경우는 수질등급 7개 중 하나로 분류하는 반면에, COD농도를 분류하는 것은 약 20개 이상의 COD농도(정수)를 분류해야 하기 때문에 그 만큼 오차가 크게 발생하였다.

유역제원자료와 발생부하량자료 만을 이용해 약 31 %의 오차가 발생하는 것은 매우 높은 정확을 나타내는 것으로 향후 발생부하량 대신 배출부하량을 이용할 경우 오차를 20 %이하로 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

향후 추가 연구를 통해 ECM을 추가보완 하면 유역제원과 오염부하량 자료만으로도 저수지의 수질을 정수 단위로 추정이 가능하며, 저수지의 수질을 관리할 목적으로 쉽게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

6장 요약 및 결론

6장 요약 및 결론

본 연구에서는 장기간 수집된 농업용저수지 수질측정망자료를 인공지능기법을 활용하여 저수지의 수질을 효율적으로 관리할 수 있는 농업용저수지 수질지표 및 관리모델을 개발하여 수질관리 담당 실무자들에게 제공함으로써 농업용저수지 수질관리 및 수질개선사업을 활성화하여 농촌생활환경개선에 기여하고자 한다. 1차년도의 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 26개소에 대해 유입하천의 유량 및 수질, 저수지 수질을 현장에서 조사하였다.

상관분석결과 유입하천의 유량 및 수질과 저수지 수질과는 매우 높은 상관관계를 나타낸 반면, '유역의 발생부하량 및 유역특성'과 '유입하천 유량 및 수질', '유역의 발생부하량 및 저수지 제원'과 '저수지 수질' 사이에는 낮은 상관관계가 나타났다. 상관관계분석 결과 유역의 발생부하량(BOD, T-N, T-P)과 저수지 T-N농도, 유효수심과 저수지 COD, TOC, Chl-a, T-P, Cl^-, 수질등급하고만 상관관계가 나타났다. 저수지의 T-N을 제외하고는 유역의 발생부하량과 저수지 수질과는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 향후 저수지 수질을 발생부하량보다는 배출부하량으로 추정할 필요가 있다.

2절 농업용저수지 수질측정망 자료 수집 및 DB 구축

농업용저수지 수질측정망과 관련하여 측정망 대상저수지의 시설제원 및 조사지점 자료, 유역오염원 조사자료, 저수지 수질조사자료 및 기타 관련 자료를 수집해 MS-Access를 이용해 DB를 구축하였다. 또한 인터넷기반으로 프로그램을 개발하기 위해 MySQL을 이용해 web DB를 구축하였다.

3절 농업용저수지 수질측정망 자료분석시스템 개발

한국농어촌공사 내에 RIMS(농업기반시설관리시스템, 2000~2008)와

RAWRIS(농촌용수종합정보시스템, 2009~2010)라는 농업용저수지 수질측정망자료를 검색할 수 있는 시스템이 존재하지만, 개별저수지의 수질자료를 단순히 표와 그래프 형태로만 제공하여, 관리조직별(지역본부, 지사) 또는 연도별 통계값을 제시해주지 않아 전체 농업용저수지의 수질현황 파악이 어려움이 있다.

쉽게 수질측정망결과를 관리조직별(지역본부, 지사, 개별저수지), 연도별로 여러 형태의 분석자료 및 통계값을 제공하기 위해 Adobe Flash를 이용해 수질측정망자료 분석시스템을 개발하였다. 또한 수질측정망자료의 공간적인 분포를 쉽게 나타내기 위해 인터넷지도(구글맵, 네이버맵)를 기반으로 다양한 형태의 수질측정망자료를 제공하는 수질측정망 수질관리시스템(수질측정망 자료분석 시스템 포함)을 추가로 개발하였다.

향후 개발할 수질지표 및 관리모델을 인터넷지도를 기반으로 구동되는 수질측정망 종합정보시스템에 포함시켜 사용자가 쉽게 접근하여 사용할 수 있도록 할 계획이다.

4절 수질지표 개발을 위한 인공지능기법 연구

수질지표 개발사례를 조사한 결과 아직 대부분의 국가에서 우리나라와 같이 단일항목지표를 이용하여 수질을 관리하고 있으며, 일부 국가에서는 단일항목지표 대신 종합수질지표나 생태계지표를 개발하려는 노력을 하고 있다.

인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질지표 개발을 위해 1차년도에 수질지표를 개발할 수 있는 프로그램을 위촉연구를 통해 개발하였다. 개발된 프로그램(ECM)을 검증한 결과 저수지 COD 수질로부터 정확히 수질등급을 분류하고, 분류기준(fuzzy rule)을 도출하였다. 개발된 프로그램을 이용해 발생부하량과 유역 및 저수지제원자료로부터 저수지 수질등급(COD기준)을 추정한 결과 22.66 % 오차가 발생하였다. 저수지 수질과 상관관계가 없는 것으로 나타난 발생부하량 대신 배출부하량을 이용할 경우 오차를 충분히 감소시킬 것으로 판단된다.

2차년도에는 개발된 프로그램을 이용해 다양한 방법으로 수질지표를 개발할 계획이다.

연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

연구목표	연구목표 달성 실적	달성도	대외 기여도
농업용저수지 유역 및 수질특성 분석	-26개 저수지 현장조사 -실측자료와 측정망자료를 활용한 상관관계 분석	100%	100% 기초자료 제공
농업용저수지 측정망자료 수집 및 DB구축	-저수지 제원, 오염원, 수질 관련 자료 수집 -수집된 자료를 MS-Access, MySQL을 이용해 DB구축	100%	100% 구축된 DB일무자 제공
농업용저수지 수질측정망 자료관리시스템 개발	-수질측정망 자료분석시스템 개발 -추가로 인터넷 지도를 기반으로한 자료관리시스템 개발	100%	100% 개발된 시스템을 수자원관리처에 제공
농업용저수지 수질지표 개발을 위한 인공지능기법 연구	-수질지표를 개발할 수 있는 인공지능기법 선정 및 개발	100%	100% 최신의 인공지능기법 개발

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. 한국환경공학회지

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. 한국농어촌공사 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 qualitée de Í.eau pour déetecter Í.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 ineflligence. 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	환경공학	홍대벽	수석연구원 (수질연구팀장)	연구지도 및 연구방향 제시	박사
	지역건설 환경공학	함종화	주임연구원 (연구총괄)	연구 총괄 시스템 및 지표개발	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	2011. 12
발행인	정 해 창
발행처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 391번지 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055

※ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.