

공학석사 학위논문

하천수질관리를 위한 GIS의
응용에 관한 연구

지도교수 김 상 용

이 논문은 부경대학교 석사학위논문으로 제출함



2004년 8월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

박 봉 규

이 논문을 박봉규의 공학석사
학위논문으로 인준함

2004년 6월

주 심 공 학 박 사 이 상 호



위 원 공 학 박 사 이 종 섭



위 원 공 학 박 사 김 상 용



목 차

표 차례	vi
그림 차례	vii
Abstract	viii
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구동향	2
1.3 연구방법	7
제 2 장 이론적 고찰	8
2.1 수질모형	8
2.1.1 수질모형의 정의	8
2.1.2 수질모형의 분석방법	8
2.1.3 수질모형의 적합성	8
2.2 QUAL2E model	11
2.2.1 QUAL2E model의 이론	11
2.2.2 QUAL2E model의 기본방정식	13
2.2.3 QUAL2E model의 수리학적 특성	17
2.2.4 QUAL2E model의 수질항목	18
2.3 GIS(Geographic Information System)	26
2.3.1 GIS의 정의	26
2.3.2 GIS와 다른 분야의 연계성	26
2.3.3 GIS의 활용	27
2.3.4 GIS를 통한 수질분석	28

제 3 장 적용대상유역의 자료분석	29
3.1 적용대상유역 및 오염원 현황	29
3.1.1 적용대상유역	29
3.1.2 오염원현황	30
3.2 자료분석	31
3.3 수질 보정 및 검정	37
3.3.1 수질 보정 결과	37
3.3.2 수질 검증 결과	40
제 4 장 수질관리를 위한 GIS의 응용	43
4.1 GIS의 응용방법	43
4.2 대상유역의 GIS 적용	50
4.3 결과 및 고찰	53
4.3.1 수영강 BOD와 DO 분포	53
4.3.2 고찰	56
제 5 장 결론 및 향후과제	57
참고문헌	58
부 록	60

표 차례

표 1 QUAL2E에서 모의되는 수질항목	19
표 2 하천 유황 및 유속 및 수위	33
표 3 소유역별 수질측정자료	35
표 4 수영강 수질 보정	38
표 5 수영강 수질 검증	41
표 6 GIS와의 연계를 위한 적용 입력 데이터	45
표 7 QUAL2E를 수행한 결과값	46

그림 차례

그림 1 연구방법	7
그림 2 모델의 주요 구성요소 (모델의 검증)	12
그림 3 QUAL2E 모형의 모형 수행과정	13
그림 4 QUAL2E 모형의 오염물질 반응과정	20
그림 5 GIS와 학계간의 연계성	27
그림 6 연구대상구역	29
그림 7 하천망 구축	32
그림 8 Stream Reach 입력	36
그림 9 Computational Element	36
그림 10 Flow Rate 출력창	36
그림 11 수영강 수질 DO 보정	39
그림 12 수영강 수질 BOD 보정	39
그림 13 수영강 수질 DO 검증	42
그림 14 수영강 수질 BOD 검증	42
그림 15 GIS 응용방법	43
그림 16 Avenue Scrypt의 적용	44
그림 17 지점별 유입량 입력	44
그림 18 GIS와 연계된 View창	47
그림 19 GIS와 연계된 View창	48
그림 20 3차원 TIN 분석(BOD)	49
그림 21 3차원 TIN 분석(DO)	49
그림 22 수영강 구역의 요소분할	50
그림 23 수영강 구역의 DO분포	51
그림 24 수영강 구역의 BOD분포	52
그림 25 수영강 DO분포 (10월, 12월)	54
그림 26 수영강 BOD분포 (10월, 12월)	55

A Study of the Application of Geographic Information System for the River Water-purity Management

Park, Bong-Gyu

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

Recently, intensive of global warming and a industrialization is increase the quality of water. Therefore, water environment's improvement that exert direct effect of human is Contributed good spectacle and preservation of space and creation. And it is important preservation and conservation of ecosystem.

In this study, we wish to offer the base data to GIS(Geographic Information System) application for water improvement through rivers quality of water management.

In especial, main pollution investigate that is connected suyung-river basin and water pollution of basin, GIS and QUAL2E use analysis that is change of quality of water by runoff flowing. Also, It is as result that express to water quality shape of rivers using GIS. First, it could know easily distribution of the point pollutional load amount. Second, it could help basin environment and efficient water-purity management.

제 1 장 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 기상이변으로 인한 가뭄과 폭우로 인하여 강우량이 일정하지 않으며 산업화 이후 경제성장과 생활수준의 향상에 따른 수자원의 무분별한 고도이용, 지구온난화에 따른 이상갈수, 하천수질악화 및 돌발적인 수질사고 등에 대비한 안정적인 환경용수의 확보와 수질의 개선이 절실하게 요구된다. 이렇게 인간의 직접적인 영향을 미치는 수환경의 개선은 양호한 수변경관 및 친수공간의 보전과 창출에 기여할 뿐 아니라 생태계의 보호 및 보존에 중요하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하천의 수질모델링은 가장 신뢰성 높은 수질모델을 이용하여 목적 수질을 유지·달성하기 위한 오염 부하량의 분배와 규제, 대처방안을 보다 합리적으로 수립하고 이행하기 위한 대안을 제시하는데 중점을 두고 있다.

수질관리에 있어서 수질모형을 이용한 개선방안에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 좀더 정확한 결과를 도출하기 위하여 최근 여러 분야에서 적용되고 있는 GIS를 접목하여 현재의 수질현황과 대책을 나타내어 보았다.

따라서, 본 연구는 수영강 유역 및 유역의 수질오염에 관련한 주요 오염원을 조사하고 유량흐름에 따른 수질의 변화를 GIS와 QUAL2E를 이용하여 시각적으로 도시화 하여 도시중심에 위치한 수영강의 쾌적한 환경에 도움을 주고자 한다.

1.2 연구동향

수질오염의 가장 근본적인 문제는 수자원과 관련된 우리의 생활양식이다. 주거지의 오수 배출방법, 산업활동 그리고 여가활동 등으로 인한 수자원의 무분별한 개발 및 사용은 오염물질이 축적되어 하천의 수질을 더욱 악화시키고 있다. 따라서 하천의 효과적인 관리를 위해서는 지속적인 연구에 의한 정확한 평가와 수질예측, 이에 따른 장기적인 수질 보전대책이 필요하다.

수질모형을 넓은 의미로 생각하면 흐름계산을 위한 동수역학적 모형의 적정성 및 수리학적 입력계수 등의 정확성도 중요할 것이나, 좁은 의미의 수질모형에 대해서는 모의 수질항목의 종류와 그들의 상호반응을 나타내는 반응식으로 이루어지는 모형의 구조 및 그에 따른 반응계수의 값들이 수질모형의 효용성을 결정짓는 중요한 요소라 할 수 있다.

수질모델링은 20세기 초 개발된 이후 괄목할 만한 진보를 이루었다. 이러한 발전은 다섯 개의 주요 단계로 나눌 수 있으며 각 단계는 사회적인 관심 및 그 단계에서 이용 가능한 컴퓨터의 계산 능력과 관련이 있다.

초기 수질 모델링 작업의 대부분은 도시 외 허용배출부하량 문제에 초점을 두었다. 도시의 허용배출부하량에서 최초의 수질문제를 다룬 것은 Ohio강에 대해 Streeter and Phelps(1925)가 모델을 개발한 것이다. 이 모델과 후속의 연구를 통해 하천과 하구의 용존산소(Dissolved Oxygen) 수준을 평가할 수 있는 방법이 확립되었다.(Velz 1938, 1947 ; O'Connor 1960, 1967). 또한 수질연구에서의 미생물 활동에 관해 연구된 박테리아 모델이 개발되었다(O'Conner 1962).

당시는 컴퓨터를 이용한 계산이 불가능하였으므로 모델은 정확해로 해석되었다. 이는 모델을 선형 반응역학과 단순한 지형형태 및 정상상태의 수계에 한하여 적용할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 다룰 수 있는 문제의 범위는 계산 방법의 이용가능 정도에 따라 제한되었다.

1960년대에는 디지털 컴퓨터가 광범위하게 이용 가능해짐에 따라 수질 모델 및 수질 문제에 적용할 수 있는 방법에 큰 발전이 이루어졌다. 초기에는 분석학적인 문제를 수치적으로 풀이하는데 많은 발전이 이루어졌다(Thomann 1963). 산소는 여전히 관심의 대상이었으며 컴퓨터를 사용하여 좀더 복잡한 지형시스템과 반응역학 및 시간변화에 대해 해를 구할 수 있게 되었다. 특히 수질모델은 넓은 하구나 만과 같은 2차원 시스템으로 확장되었다. 또한 이 시기의 수질모델이 적용되는 방법에 변화가 이루어졌다. 특히, 컴퓨터를 이용하여 수질문제를 종합적으로 접근할 수 있게 되었다. 단일 점오염원에 의한 국부적 영향에 초점을 두는 대신에 배수구역을 하나의 시스템으로 다루기 시작하였다. OR(Operations Reserch) 분야에서 개발된 기법이 모델과 결합하여 비용-효과적인 대안이 제시되었다.(Toro and Sobal 1964, Deininger 1965, Ravelle 등 1967). 여전히 점오염원에 초점을 맞추었지만 컴퓨터를 이용하여 종합적인 면을 고려할 수 있게 되었다.

1970년대에 또 다른 변화가 발생하였다. 사회적 인식이 용존산소와 도시 점오염원에서부터 환경의 전반에 대한 관심으로 바뀌게 되었다. 생태학적 접근이 시도됐으며 어떤 시기에서는 환경개선은 모든 개발을 포기하는 것을 의미하기도 하였다.

이 기간에 다루어진 주요 수질문제는 부영양화였다. 따라서 모델을 연구하는 사람들은 생물학적 과정이 포함되는 기계적인 모델에 대해 영역을 확장하였다. 해양학연구(Riley 1946, Steele 1962)를 이용하여 환경공학자들은 상세한 영양물질/먹이-연쇄모델을 개발하였다(Chen 1970, Chen and Orlob 1975, Di Thomann 등 1971, Canale 등 1974). 따라서 컴퓨터의 계산능력을 이용하여 가역반응 및 비선형 반응역학이 포함될 수 있었다.

이 기간 동안 도시의 점오염원이 통제되기 시작하였으며 실제로 미국 대부분의 도시는 배출수에 2차 처리시설을 설치하였다. 많은 지역에서 용존산소 문제가 개선되었지만 점오염원 조절만으로 불충분한 지역의 경우

비점오염원에 대한 관심을 갖게 되었다. 비점오염원은 영양염류의 주된 공급원이므로 부영양화의 관점에서 비점오염물질에 대한 관심이 고조되었다.

70년대 후반 환경에 대한 인식은 수질관리에 대한 시스템적 접근방식을 불러일으켰다. 그러나 다음과 같은 세 가지 주된 이유 때문에 적합한 방법이 아니다. 첫째로 부영양화는 계절적인 식물의 성장에 대한 문제이므로 도시의 점오염원 문제라기보다는 동적인 문제였다. 시스템 분석방법이 이와 같은 세 가지 주된 이유 때문에 적합한 방법이 아니다. 시스템 분석방법이 이와 같은 동적문제를 최적화하기 위해 설계될 수도 있지만 이를 위해서는 선형, 정상상태 및 점오염원 문제를 훨씬 복잡하고 과도한 계산이 필요하였다. 둘째로 환경운동은 환경정화를 재촉하는 분위기를 조성하였다. 이로 인해 “어떤 대가”를 치르더라도 환경개선이 되어야 한다는 정서에서 “무배출”의 개념이 국가적인 목표로 언급되기에 이르렀다. 셋째로 이 기간의 경제는 호경기였다. 따라서 경제적인 타당성 문제가 심각하게 제기되지 않았다. 결과적으로 경제적인 해법을 찾기 위한 비용 편익 수지에 대한 생각이 활발하지 못하였다. 법적인 기준이 대부분의 오염물 조절방법의 기본이 되는 정통적인 공학기술의 자리를 대신하였다. 이 기간동안 진전은 있었지만 위와 같은 비현실적인 목표는 결코 달성되지 못하였다.

가장 최근과 같은 모델 개발 단계는 70년대 중반의 에너지 위기에 의해 발전되었다. 늘어나는 적자와 함께 에너지 위기는 오염조절방법에 경제적 현실에 대한 인식을 새로이 하게 만들었다. 그러나 초기의 반응은 70년대 초의 과민반응에 대한 충분한 대가를 지불해야만 했으며 결과적으로 독성물질과 같은 문제로 관심을 바꾸게 되었다.

이 기간동안 모델링 분야에서 발전된 것은 독성물질의 운반 및 소멸에 고형물질의 역할이 중요하다는 것을 인정한 것이었다(Thomann and Di Toro 1983, Chapr and Reckhow 1983, O'Connor 1988). 특히, 침강 및 재

부상되는 입자와 관계하는 독성물질의 결합은 자연수계에서 물질의 운반 및 소멸을 결정하는 중요한 원인이 되었다. 또한 식물성 플랑크톤 및 고형 유기물과 같은 유기미립자는 고등유기체에 의해 잡아먹히거나 이동될 수 있다(Thomann 1981). 이와 같은 먹이-연쇄 반응은 학자들에게 유기탄소 순환이 전부가 아니라는 생각을 하게 하였다. 오히려 먹이 연쇄는 오염물질을 전달하거나 농축하는 역할을 하는 것으로 생각되었다.

1980년대이후 GIS를 이용한 하천의 수질관리를 미국 환경청(EPA:Environmental Protection Agency)에서 개발되었다. EPA에서는 DBMS, GIS, 웹 기술을 바탕으로 하이퍼미디어 자료처리가 가능하고, 사용자 검색이 편리하며, 플랫폼에 관계없이 자료처리가 가능한 환경정보시스템을 구축하여 운영하고 있으며 현재는 환경감시 및 평가계획(EMAP : Environmental Monitoring and Assessment Plan)을 수행하면서 단순한 정보입력 및 검색시스템의 기능을 넘어서서 환경정보를 가공·분석하여 고부가가치 환경정보를 제공할 수 있는 시스템으로 발전시켜 나가고 있다. 특히 하천유역의 환경 및 생태연구를 보조하기 위한 다목적 환경분석시스템으로서 BASINS 3.0(Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Source)을 개발하여 환경정보의 취득을 용이하게 하고, 유역환경 연구와 모의의 통합된 틀을 제공하며, 점오염원과 비점오염원의 관리 및 분석을 지원하고 있다.

일본의 환경정보시스템으로 대표적인 것은 환경청이 구축한 행정정보시스템(TERRA : Timely Environment Resource for Reliable Adimistration)과 국립환경연구소 내의 환경정보 센터가 있다. 이는 전국을 대상으로 하는 국토정보 및 환경생태자료를 지속적으로 축적하고 환경관련기관들을 연결하는 환경정보망을 구축해오고 있으며, 전국을 대상으로 하는 국토수치정보화일, 자연환경기초조사, 정밀수치정보 등의 자료를 정비하여 환경정보시스템의 입력 자료로 활용하고 있다.

또한, 외국의 경우 GIS 단독사용에 의한 수질 분석은 한계가 있기 때

문에 GIS와 수질모의와의 연계에 대한 연구가 진행되고 있으며 이와 동시에 GIS를 이용하여 비점오염원에서의 유출오염부하량 계산을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이와 같은 맥락에서 운영체계상의 고급언어와 데이터베이스 등을 이용하여 모델들의 입력 자료를 제공하는 연구가 진행되었는데 Zhang등의 “Hydrologic Modeling with GIS”가 그 대표적인 예라고 할 수 있다. 이런 연구는 1990년대에 이르러 더욱 발전하여 대부분의 유역모델에 GIS가 적용되는 수준에 이르렀고 특히 최근 미국의 텍사스 주립대학의 CRWR(Center for Research in Water Resources)에서 수질 및 수문모델에의 GIS적용에 많은 연구 성과를 보이고 있다.

우리나라의 환경과 수질관리에 GIS를 적용한 연구를 살펴보면 류중희 등의 “수질관리와 환경정보의 표현과 질의시스템 개발(Water Quality Management & Environmental Information Display and Query System Development)”, 국립환경연구원에서 실시한 “수질관리를 위한 GIS활용연구”, “수질정보종합관리 시스템 개발”, 과학기술처의 “환경정보관리를 위한 GIS개발”, 조기성 등의 “유역환경정보관리시스템 구축 및 활용에 관한 연구”등이 있으며 이외에도 다수의 연구가 수행되었으나 대부분이 국지적 환경관력 정보의 자료구축 단계에 머무르고 있는 실정이다.

1.3 연구방법

최근 기상이상으로 인한 폭우와 산업화로 인한 생활의 질이 상승함으로 인하여 하천 수질의 오염이 증대되고 있다. 현재 각 국가별로 다양한 기관에서 수질오염방지를 위한 연구가 활발하게 진행되고 있으나 과도한 비용 등으로 인하여 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

본 연구는 부산광역시의 수영강 유역을 대상지역으로 모델에 입력될 인자들의 공간데이터 취득 및 구축을 한 후, QUAL2E 모델을 이용한 대상지역의 수질모의와 QUAL2E 모델의 모의 결과를 시각적으로 나타내었다. 수질자료는 수영강 하천정비기본계획(2002)자료와 환경부자료를 이용하였으며 2001년 10월, 12월 수질 측정 자료를 이용하여 수질을 모의 하였다.

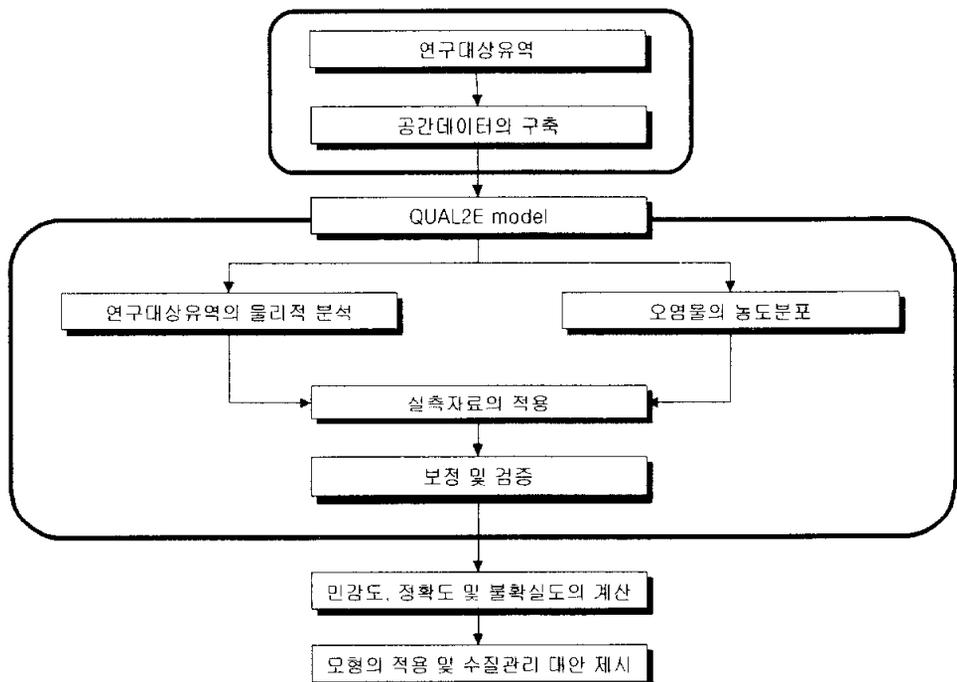


그림 1 연구방법

제 2 장 이론적 고찰

2.1 수질모형

2.1.1 수질모형의 정의

수질모형을 넓은 의미로 생각하면 흐름계산을 위한 동수역학적 모형의 적정성 및 수리학적 입력계수 등의 정확성도 중요할 것이나, 좁은 의미의 수질모형에 대해서는 모의 수질항목의 종류와 그들의 상호반응을 나타내는 반응식으로 이루어지는 모형의 구조 및 그에 따른 반응계수의 값들이 수질모형의 효용성을 결정짓는 중요한 요소라 할 수 있다.

2.1.2 수질모형의 분석방법

수질모형은 크게 확정론적 방법과 추계학적 방법으로 구분할 수 있다.

확정론적인 모형은 물리적인 법칙과 초기조건, 경계조건 및 입력자료의 정량적인 표현 등에 기초한 이론적인 구조를 가지고 있다. 모형에 관련된 조건들이 적절하게 기술되었을 때 확정론적 모형의 결과는 정확해야하나, 대부분의 경우 수질문제의 복잡성 때문에 자연현상에 대한 완벽한 모형화는 대단히 어렵다. 일반적으로 확정론적 모형으로부터 얻게 되는 해는 기본가정에 의한 단순화, 수식의 근사화 과정 등이 계산결과에 도입되기 때문에 언제나 어느 정도의 불확실도를 가지게 된다.

추계학적 모형은 어떤 유역에서 실측된 수질자료들을 이용하여 시계열의 확률 통계학적 거동을 재현시켜 장래에 발생될 수질을 예측하고자 하는 모형으로서 추계학적 기법을 도입하여 해석하는 것이다.

2.1.3 수질모형의 적합성

하천 수질관리 및 적정성 평가를 위해 가장 근본적으로 요구되는 사항은 현재 수질의 정확한 평가와 수질의 적절한 예측이다. 따라서 대상유역

에 가장 알맞은 모형을 선정하여 평가하고 예측함으로써 앞으로의 수질오염에 대한 적절한 대책을 수립하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

일반적으로 수질모형의 선정 시 고려되어야 할 사항은 모형의 적용성, 입력자료, 사용의 난이도, 그리고 비용 등을 들 수 있다. 그 중 가장 중요한 것은 유역에 알맞은 가장 단순한 모형을 선택하는 것이다. 정교한 모형일수록 요구되는 자료가 방대할 뿐만 아니라 모형의 보정과 검증이 복잡하고 시간과 비용이 과다하게 요구될 수 있기 때문이다. 따라서 가용자료와 모델링할 대상수질항목, 수질예측의 정확도 등을 고려하여 사용목적에 부합되는 가장 단순한 모형을 선택하여야 할 것이다.

매개변수 추정을 위한 수질모형의 선정배경은 다음과 같다.

첫째, 모형의 선정을 위하여 국내에 적용한 모형들을 대상으로 하여 적정성을 평가하였다. 국내에서 적용된 모형들로는 QUAL2E, WASP series, SWMM, SWAT모형 그리고 NGNPS 등을 들 수 있으며, 이 모형들 중 국내에서 가장 많이 적용된 모형이 QUAL2E로 한강에 적합한 모델로 제안한 바 있다.(수공학웁삼, 1993).

둘째, 본 연구에서 모델링할 수질항목으로는 DO, BOD이며 국내에서 적용된 모형 중 이에 부합되는 모형으로 QUAL2E와 WASP series를 들 수 있다.

셋째, 수영강 유역의 경우 측정된 유량과 수질자료가 미비하므로 시간 변화에 따른 수질을 모의하고 예측하는 동적모형인 WASP series의 경우 입력되는 매개변수들의 수가 너무 많아서 모형의 보정 및 검증에 어려움이 있으며, 수행시간이 QUAL2E에 비하여 상당히 긴 시간을 필요로 하였다.

넷째, 본 연구는 반응계수 k_1 , k_3 , k_4 를 추정하는 것으로 강우 시는 반응계수의 추정에 오차를 가질 확률이 높으므로 비강우를 가정하여 수행하였다. 그러므로 비점오염원을 산정하는 NGNPS와 미계측유역에서의 비점오염원을 산정하는 SWAT, 전형적인 도시지역 유출, 수질모형인

SWMM보다 QUAL2E가 부합된다고 판단하였다. 그러므로 매개변수의 추정을 위한 모델로 국내에서 가장 많이 이용되었으며 다양한 수질항목을 모의할 수 있는 QUAL2E를 선정하였다.

2.2 QUAL2E model

2.2.1 QUAL2E model의 이론

QUAL2E는 확정론적 모형으로 수체를 하나의 시스템으로 가정하고 시스템 내부에서 진행되는 모든 물리, 화학, 생물학적 작용을 수식화하여 이를 적용, 해석함으로써 수질의 변화정도를 예측하는 모형이다. 생태계에 대한 가상모형은 유역, 기상, 수리, 생물 등 수많은 요인으로 지배되어 있어서 극히 복잡하다. 비록 가상모형이 이들 모든 요인들을 조사 연구하여 만들어졌다고 하여도, 자연계에 있는 모든 것을 정확하게 표현할 수는 없다. 그러므로 모형은 자연현상을 수학적으로 알기 쉽게 표현할 수 있도록 가정한다. 일반적으로 자연의 시스템을 어느 정도 정확하게 수식화 하느냐에 따라서 모형의 타당성이 평가되고 모형의 공간성, 시간성을 어떻게 가정하느냐에 따라서 정확도와 응용의 범위가 결정된다. 공간성은 모의실험을 하고자 하는 수체를 물리, 화학, 생물학적 현상이 균일한 일련의 구획으로 나누는데, 이 구획들의 집합이 갖는 공간적인 형태 즉, 모형의 공간적 차원으로 설명된다.

현재 가장 많이 실용화된 모형은 수체를 수면의 수평방향과 수직방향으로 나누어서 각 구획마다 균일한 수질을 유지한다고 가정하는 모형이다. 시간성은 모의 실험하고자 하는 수체의 시간간격을 단기간 혹은 장기적으로 보느냐에 따른 것이며, 또한 시간에 따른 가변성을 기준으로 동적 혹은 정상적으로 해석할 수 있다. 정상적 모형은 자연하천과 같이 시간에 대한 흐름이 일정하여 상류에서 하류까지 시간에 대한 수질항목의 변동이 적어 수질이 균일한 모형을 지칭한다. 동적모형은 댐에 대한 담수호와 같은 인공 호수에서 시간에 따른 수리현상의 변화 때문에 상류에서 하류에 이르기까지 시간에 대한 수질의 변화가 균일하지 못한 모형이며, 주로 부영양화 예측과 관리, 식물성 플랑크톤의 군집변화로 인한 제반 환경변화를 추적하는데 유용하게 사용된다. QUAL2E는 하천에서 수질을 예측하기 위해

개발한 것으로서, 국내에서 하천에 대한 모형 중 그 타당성이 널리 인정받고 있으며, 한강, 북한강, 낙동강, 금강, 섬강 등 국내의 많은 하천에 대해 모델링이 수행된 바 있다. QUAL2E 모형의 해석 방향은 유체흐름 방향이며 횡방향은 완전혼합을 가정으로 한 1차원 모형이다.

해석 형태로는 정상상태해석이 가능하나 완전 동적해석이 아닌 준동적 상태로 동적해석은 하천의 최상류부, 점 오염원 및 비점 오염원에서의 유량을 비롯한 수질자료들이 정상상태로 입력되기 때문에 상류로부터 하류부까지의 수질은 점차 정상상태로 수렴한다. 하천 시스템 내에서 물질이동 및 변환은 유체의 흐름에 의하여 농도부하가 이동되는 유속에 의한 유송과 유체흐름의 난류성, 물질농도차이에 의해 발생하는 확산, 화학 및 생물학적 반응에 의한 물질의 증감, 시스템 내의 오염부하량 유입 또는 유출에 의한 부하의 증감에 의해 좌우된다. 이와 같은 수질모형의 모의수행과정은 그림 2와 같다.

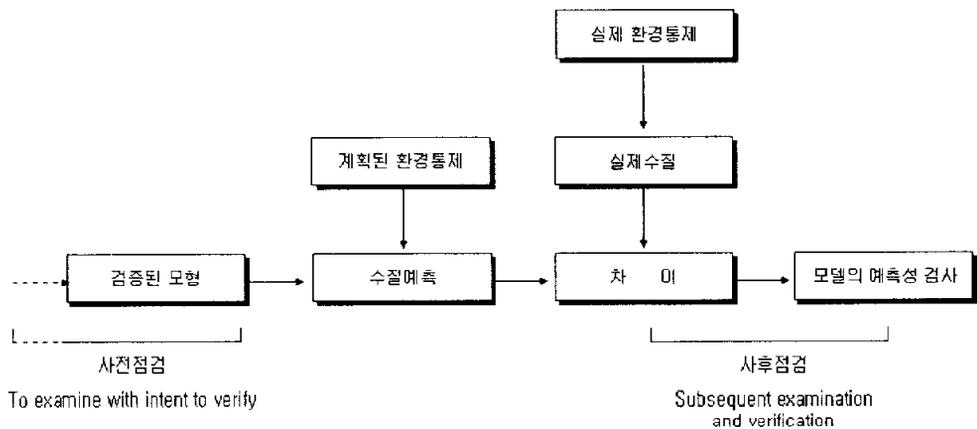


그림 2 모형의 주요 구성요소 (모형의 검증)

2.2.2 QUAL2E model의 기본방정식

QUAL2E 모형을 구성하는 기본방정식은 1차원 이류-확산 물질이동방정식(One-Dimensional Advection-Dispersion Mass Transport Equation)이다. 물질(물)이동방정식에는 하천의 계산요소(Comp. Element)에 대한 물질의 '흐름에 의한 이동(advection)'과 '확산에 의한 이동(dispersion)', 수체내부에서 발생하는 '반응과 상호작용(reaactions and interactions)', 그리고 수체외부로부터의 '유입 또는 외부로의 유출(external sources and sinks)' 등을 포함한 4가지 사항을 포함한 방정식으로 다음과 같으며 QUAL2E 모형의 모형 수행과정은 그림 3과 같다.

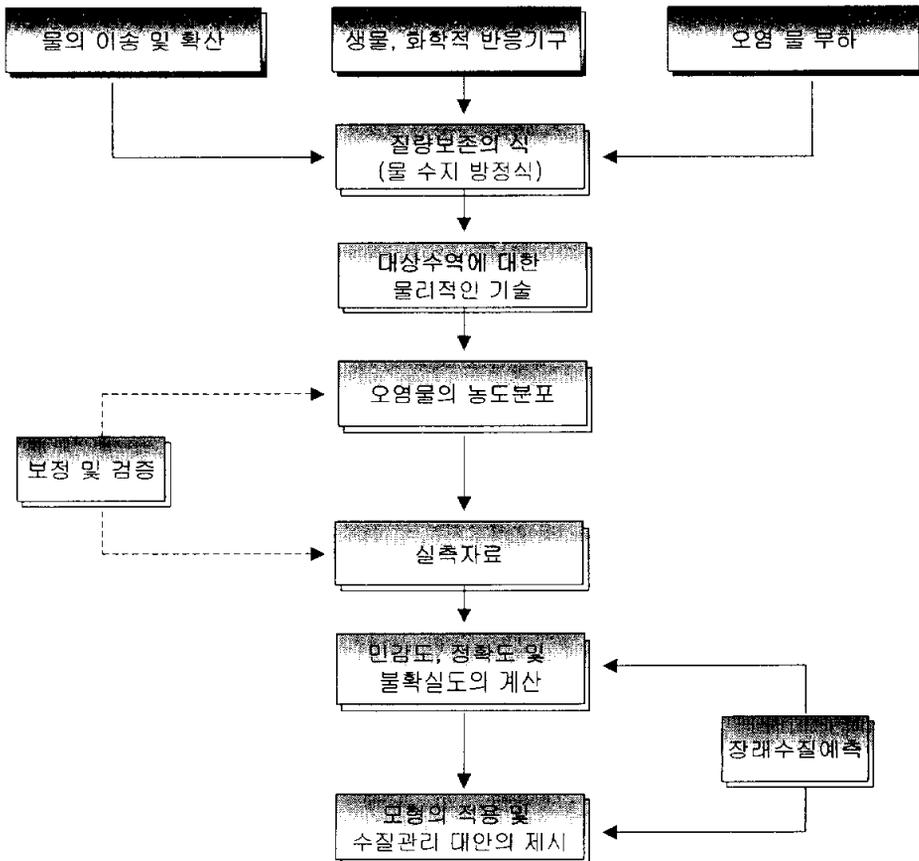


그림 3 QUAL2E 모형의 모형 수행과정

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial X})}{\partial x} dX - \frac{\partial(A_x \bar{U} C)}{\partial X} + (A_x dX) \frac{dC}{dt} + S \quad (2.1)$$

여기서, M = 물질의 질량(mass) [M], X = 거리 [L],

t = 시간 [T],

C = 농도 [ML^{-3}], A_x = 하도 단면적 [L^2],

D_L = 종방향 확산계수 [$L^2 T^{-1}$],

\bar{U} = 평균유속 [LT^{-1}],

S = 외부로부터 유입 또는 유출 [MT^{-1}]

그리고 dC/dt 는 수온(Temperature)과 보전성물질(Conservative Materials)을 제외한 14가지 수질항목에 대하여 제시되어 있다. S 는 사용자에 의하여 지정되는 시스템 외부로부터의 유(출)입들로서 시스템의 상태를 지정하게 되는데 이들은 일반적으로 유량, 수질, 기상 등으로 구분되며 이들 외에 QUAL2E에서는 특별히 다음의 4가지 사항들을 사용자가 지정할 수 있다.

- 1) 상류수원 입력자료(Headwater Input) - 물질수지, 증대유량(Flow Augmentation)
- 2) 점오염/도수(Point Sources/ Withdrawals) - 하수처장, 우수유출, 도수, 하수처리효율 등
- 3) 증분 유입 - 비 점오염원, 지하수로의 손실
- 4) 하류경계조건 - 확산계수가 큰 감소하천의 하구 등

위 식은 $\partial M/\partial t = V(\partial C/\partial t)$ 이고, $V = A_x \cdot d_x$ 이므로 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial X})}{A_x \partial x \partial X} - \frac{\partial(A_x \bar{U} C)}{A_x \partial X} + (A_x dX) \frac{dC}{dt} + S/V \quad (2.2)$$

QUAL2E 모델이 수치해를 구하는 방법을 살펴보겠다. 해를 구하기 위해서 물수지 방정식을 부피(V)로 나누면 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial(A_c E \frac{\partial c}{\partial x})c}{A_c \partial t} - \frac{\partial(A_c U c)c}{A_c \partial t} - rc + p + \frac{S}{V} \quad (2.3)$$

물수지방정식의 반응항은 위의 식에서 두 가지 항으로 분리된다.

$$\frac{dc}{dt} = rc + p \quad (2.4)$$

우변의 첫번째 항은 농도에 비례하는 1차 반응을 나타내고, 두번째 항은 내부 발생 또는 제거를 나타낸다(예를 들면, 퇴적물로부터 유입, 조류 성장에 따른 영양물질의 손실 등). 두번째 항에서 어떤 것들은 일정한 양을 나타내는 것도 있지만, 어떤 것은 수질농도의 비선형 함수로 나타나는 것도 있다.

QUAL2E 계산요소에 대한 일반적인 개요를 다음과 같이 제시하였다. 역차분법(backward difference)을 사용하여 식 (2.5)를 계산요소 I에 대하여 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{-\partial(A_c E \frac{\partial c}{\partial x})_{i-1} + \partial(A_c E \frac{\partial c}{\partial x})_i}{V_i} + \frac{\partial(A_c U c)_{i-1} - \partial(A_c U c)_i}{V_i}$$

	유입		유출		유입		유출
축적	확산		운반				
	+	$r_i c_i$	+	p_i	+	$\frac{S_i}{V_i}$	(2.5)
	일차반응	내부발생/제거	외부 유입/유출원				

이제 남아있는 공간 도함수를 근사시키기 위해서 후방차분법이 이용될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_i}{\partial t} &= \frac{(AD)(C_{i+1} - C_i)}{V_i \Delta X_i} + \frac{(AD)(C_{i-1} - C_i)}{V_i \Delta X_i} \\ &+ \frac{Q_{i-1}C_{i-1} - Q_i C_i}{V_i} + k_i C_i + P_i + \frac{S_i}{V_i} \end{aligned} \quad (2.6)$$

또한, 시간에 대한 후방차분법은 다음과 같이 적용될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} &= \frac{(AD)_i (C_{i+1}^{n+1} - C_i^{n+1})}{V_i \Delta X_i} + \frac{(AD)_{i-1} (C_{i-1}^{n+1} - C_i^{n+1})}{V_i \Delta X_i} \\ &+ \frac{Q_{i-1}C_{i-1}^{n+1} - Q_i C_i^{n+1}}{V_i} + k_i C_i^{n+1} + P_i + \frac{S_i}{V_i} \end{aligned} \quad (2.7)$$

식 (2.6)과 식 (2.7)을 선형 방정식으로 나타내기 위해서 다시 정리될 수 있다.

$$e_i C_{i-1}^{n+1} + f_i C_i^{n+1} + g_i C_{i+1}^{n+1} = z_i \quad (2.8)$$

여기서, $e_i = -\left[(AD)_{i-1} \frac{\Delta t}{V_i \Delta X_i} + \frac{Q_{i-1} \Delta t}{V_i} \right]$

$$f_i = 1 + [(AD)_i] \frac{\Delta t}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_i \Delta t}{V_i} - k_i \Delta t$$

$$g_i = -[(AD)_i] \frac{\Delta t}{V_i \Delta x_i}$$

$$z_i = C_i^n + \frac{S_i \Delta t}{V_i} + P_i \Delta t$$

이 방정식은 농도를 시간함수로서 효율적으로 풀 수 있는 삼각행렬로써 가우스 소거법에 의하여 해를 구하게 되며, 외부적인 생성/소멸항이 수식화 과정에서 상수로 취급된다.

2.2.3 QUAL2E model의 수리학적 특성

위 식을 이용하여 물질수지를 계산하려면 하천의 하도단면적 A_x 와 평균유속 U 이 필요하며 수체의 체적, 재폭기계수 등을 산정하려면 수심 d 가 필요하다.

(1) 유량계수법

이 방법은 수리 모델링을 수행하는데 또는 실측자료를 이용하여 각 지점별로 유속과 유량을 산정하고 동일 제구간 내에서의 유량과 유속, 유량과 수심과의 관계를 회귀분석법에 의하여 구하게 되며 구간(reach)별로 회귀분석 계수를 입력하여 유속 및 수심이 계산되도록 하고 있다.

$$\begin{aligned} U &= a Q^h \\ A_x &= Q / U \\ d &= \alpha Q^\beta \end{aligned} \tag{2.9}$$

여기서, n = Manning의 조도계수,

S_e = 에너지선의 경사도,

R = 평균 동수반경,

A = 유로 단면적

(2) 유로 단면 이용방법 (사다리꼴 유로 단면)

유로 단면이 정비되어 사다리꼴의 형태로 되어 있는 경우는 모델 내에서 Manning공식을 이용하여 해석한다.

$$Q = (1.486/n) R^{2/3} A S_e^{1/2} \quad (2.10)$$

여기서, 1.486 = 경험식에 나온 계수값, n = Manning 조도계수,

S_e = 에너지선의 경사도, R = 평균동수반경,

A = 유로단면적

(3) 확산계수(D_L)의 계산

Elder Equation에 의하여

$$D_L = 3.82 \times k \times n \times U \times d^{5/6} \quad (2.11)$$

k 는 확산계수(무차원)이며, Zison 등(1978)에 의하면 하천수질모형의 적용에서 확산은 경우에 따라서 무시할 수도 있으며 특히 수치해법이 F.D.M인 경우, '수치적인 확산효과(Numerical dispersion 또는 Numerical damping)'가 유체의 확산효과와 비슷한 효과를 가져 올 수 있으므로 특별히 정확성을 기해야할 경우가 아니라면 종방향으로의 확산은 무시할 수 있는 것으로 보고 되었다.

2.2.4 QUAL2E model의 수질항목

QUAL2E 모형은 정적 상태의 수지상 하천시스템에서 수질을 모의할

수 있는 1차원 모형이다. 따라서 QUAL2E 모형에서 요소들의 계산은 각 계산구간내부에서 하상의 경사, 하천의 종단면적 그리고 마찰계수 등을 포함한 각 소구간의 수리학적 또는 지형학적 특성과 BOD분해율, 저층의 용출율, 조류의 침강속도 등을 포함한 생화학적 분해속도 등이 일정하다고 가정되어 있다. 현재 QUAL2E 모형에서 모의할 수 있는 수질항목은 총 15가지이며 그 항목은 아래의 표 1과 같다.

표 1 QUAL2E에서 모의되는 수질항목

모의 수질 항목		
용존산소 (DO)	암모니아성 질소	대장균
생화학적 산소 요구량 (BOD)	아질산성 질소	임의 비보존성 물질
수온	질산성 질소	보존성 물질 I
엽록소로서의 조류	유기 인	보존성 물질 II
유기 질소	용존 인	보존성 물질 III

QUAL2E모형은 표의 각 수질항목간의 상호반응에 대하여 물질의 대류에 의한 수평이동과 확산에 의한 이동에 대한 수식과 물질반응식을 포함하고 있다.

QUAL2E모형에서는 상기의 수평이동과 확산이동에 대한 수식과 물질반응식을 이용해서 두 가지 형태의 해석이 수행된다. 첫 번째 QUAL2E 모형해석은 시간 의존성 알고리즘을 이용하여 정상상태가 될 때까지 수행하는 것이고 두 번째 모형해석은 일반적인 시간의존성 형태에서도 수행될 수 있으며 이러한 수행 형태는 조류에 대한 일간 모의로 제한되어져 있다.

보통 하천수질의 변화를 예측하는데 있어 가장 중요한 고려사항으로 적절한 용존 산소농도를 유지할 수 있는가 하는 것이다. QUAL2E 모형은 양적평형수식을 통해 용존산소 평형을 수행하게 된다.

QUAL2E모형은 물질의 양적 변화를 예측하기 위해 질소순환과 인순환 등의 영양물질의 변화를 예측하는 동역학적 모형을 포함하고 있으며, 질소순환은 유기질소, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 아질산성 질소의 4가지로 이루어져 있다. 인 순환 역시 유기인과 용존인으로 이루어져 있다.

QUAL2E모형에서 모의하는 수질항목들은 다른 수질항목의 오염물질 반응에도 영향을 주게 되는데, QUAL2E모형에서 고려되는 오염물질 상호반응간의 관계는 그림 4와 같다.

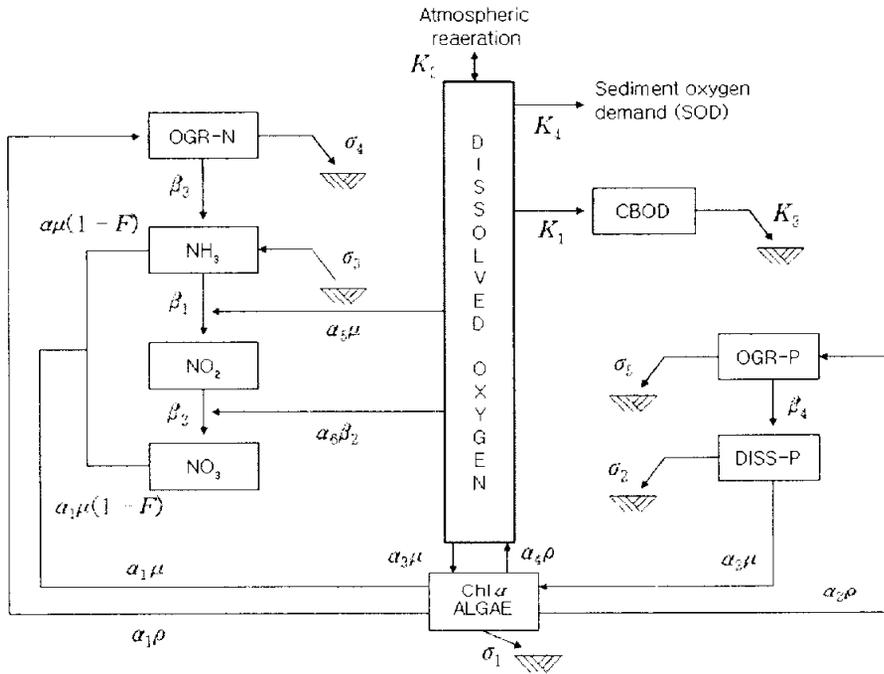


그림 4 QUAL2E 모형의 오염물질 반응과정

(1) 조류

조류의 성장에 의한 증가, 사멸 및 침전에 의한 감소를 고려하여 다음의 식 (2.12)으로 표현할 수 있다.

$$\frac{dA}{dt} = \mu A - \rho A - \frac{\sigma_1}{d} A \quad (2.12)$$

여기서, A : 조류의 농도(mg-A/L)

t : 시간(day)

μ : 조류의 성장률(day⁻¹)

ρ : 조류의 사멸율(day⁻¹)

σ_1 : 조류의 침전율(ft/day)

d : 평균수심(ft)

(2) 유기질소

유기질소는 조류의 사멸에 의한 유기질소 증가, 유기질소의 가수분해 등을 고려하여 다음의 식 (2.13)으로 나타낸다.

$$\frac{dN_4}{dt} = \alpha_1 \rho A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4 \quad (2.13)$$

여기서, N_4 : 유기질소농도(mg-N/L)

β_3 : 가수분해율(day⁻¹)

α_1 : 조류내의 질소함유율(mg-N/mg-A)

σ_4 : 유기질소의 침전율(day⁻¹)

(3) 암모니아성 질소

암모니아성 질소는 유기질소의 가수분해에 의한 증가, 암모니아성 질소의 산화에 의한 감소, 하상퇴적물로부터의 부상에 의한 증가, 조류의 섭취에 의한 감소를 고려하여 다음의 식 (2.14)으로 나타낸다.

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \frac{\sigma_3}{d} - F_1 \alpha_1 \mu A \quad (2.14)$$

여기서, N_1 : 암모니아성 질소의 농도(mg-N/L)

N_3 : 질산의 농도(mg-N/L)

β_1 : 암모니아성 질소의 산화율(day⁻¹)

β_3 : 유기질소의 가수분해율(day⁻¹)

α_3 : 암모니아성 질소의 하상퇴적물로부터의 부상
율(mg-N/ft²-day)

F_1 : 조류의 암모니아성 질소의 섭취율

$F_1 = P_M N_1 / (P_M N_1 + (1 - P_M) N_3)$ 의 식으로 정의하고, P_M 은 조류의 암모니아성 질소의 선호도를 나타낸다.

(4) 아질산성 질소

아질산성 질소는 암모니아성 질소의 산화에 의해 증가하고, 아질산의 산화에 의해 감소하며 식 (2.15)과 같다.

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2 \quad (2.15)$$

여기서, N_2 : 아질산의 농도(mg/L)

β_2 : 아질산의 산화율(day⁻¹)

(5) 질산성 질소

질산성 질소는 아질산의 산화에 의해 증가하고, 조류의 섭취에 의해 감소하며 식 (2.16)과 같다.

$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 N_2 (1 - F_2) \alpha_1 \mu A \quad (2.16)$$

여기서, F_2 : 조류의 질산성 질소의 섭취율

(6) 유기인

유기인은 조류의 쇠퇴에 의해 증가하고, 용존인으로서 변화함으로써 감소하며, 침전에 의해 감소하며 식 (2.17)과 같다.

$$\frac{dP_1}{dt} = \alpha_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \alpha_5 P_1 \quad (2.17)$$

여기서, P_1 : 유기인의 농도(mg-P/L)

β_4 : 유기인의 용존인으로서의 변화율(day⁻¹)

α_2 : 조류내의 인함유율(mg-P/mg-A)

α_5 : 유기인의 침전율(day⁻¹)

(7) 용존인

용존인은 유기인으로부터 변화에 의해 증가하며, 하상퇴적물로부터 부상에 의해 증가하고, 조류의 섭취에 의해 감소하며 식 (2.18)과 같다.

$$\frac{dP_2}{dt} = \beta_4 P_1 + \frac{\sigma_2}{d} - \alpha_2 \mu A \quad (2.18)$$

여기서, P_2 : 용존인의 농도(mg-P/L)

α_3 : 하상퇴적물로부터의 용존인의 부상율(mg-P/ft²·day)

(8) 탄소성 생물화학적 산소요구량

CBOD는 탈산소 및 침전에 의해 감소하며 식 (2.19)과 같다.

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L \quad (2.19)$$

여기서, L : CBOD의 농도(mg/L)

K_1 : 탈산소율(day⁻¹)

K_3 : 침전에 의한 감소율(day⁻¹)

(9) 용존산소

용존산소는 채폭기 및 조류의 광합성에 의해 증가하고, 탈산소, 하상퇴적물, 암모니아성 질소 및 아질산성 질소의 산화에 의해 감소하며 식 (2.20)과 같다.

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - \frac{K_3}{d} - \alpha_5\beta_1N - \alpha_6\beta_2N \quad (2.20)$$

여기서, O : 용존산소의 농도(mg/L)

O^* : 주어진 온도 및 압력하의 포화산소농도(mg/L)

α_3 : 조류의 광합성에 의한 산소생산량(mg-O/mg-A)

α_4 : 조류의 호흡에 의한 아질산의 산화에 따른 산소소모율
(mg-O/mg-A)

K_3 : 하상퇴적물에 의한 산소감소율(g/ft²-day)

β_2 : 아질산의 산화율(day⁻¹)

β_1 : 암모니아 산화율(day⁻¹)

α_5 : 암모니아 산화에 따른 산소 섭취율(mg-O/mg-N)

α_6 : 아질산의 산화에 따른 산소 섭취율(mg-O/mg-N)

(10) 대장균

대장균은 사멸에 의한 감소가 주기적이며 식 (2.21)과 같다.

$$\frac{dE}{dt} = -K_5 E \quad (2.21)$$

여기서, E : 대장균의 농도(mg/L)

K_5 : 대장균의 사망률(day⁻¹)

(11) 임의의 비보전성 물질

임의의 비보전성 물질은 쇠퇴 및 침전에 의한 감소, 하상퇴적물로부터 부상에 의한 증가가 있으며 식 (2.22)과 같다.

$$\frac{dR}{dt} = -K_6 R - \sigma_6 R + \frac{\sigma_7}{d} \quad (2.22)$$

여기서, R : 비보전성 물질의 농도(mg/L)

K_6 : 비보전성 물질의 쇠퇴율(day⁻¹)

σ_6 : 비보전성 물질의 침전율(day⁻¹)

σ_7 : 하상퇴적물로부터 부상율(mg/ft²-day)

2.3 GIS(Geographic Information System)

2.3.1 GIS의 정의

GIS는 컴퓨터를 기반으로 하는 지리정보를 효율적으로 수집, 저장, 분석, 출력할 수 있는 시스템을 의미한다. 지형공간에서의 모든 정보를 컴퓨터상에서 GIS에 의한 분석을 통하여, 이를 바탕으로 인간이 사는 공간을 효율적으로 관리하기 위한 것이다. 이러한 GIS는 캐나다, 미국, 호주와 같은 광활한 대륙을 개발하고 통제하기 위한 수단으로 나온 환경의 산물이기도 하다.

지리정보시스템을 한마디로 정의하려고 하는 용어들을 크게 대별하면 기술적인 면과 문제해결의 면으로 나뉘는데, 기술적인 면의 정의는 컴퓨터와 관련된 점을 강조해서 사용자의 의도대로 지형에 관련된 공간 데이터에 대한 수집, 저장, 갱신이 용이하며, 변환과 관리를 하는 도구 일체라 하였으며, 문제해결(problem solving)은 시스템의 해석적인 면을 부각시켜 문제해결 환경에 있어서 지형관련 데이터의 통합을 포함한 의사결정지원 시스템이라 하고 있다. 이와 같은 여러 가지 학술적 개념을 종합하면 "컴퓨터를 이용하여 지형, 지세, 토지이용, 도시계획, 지역계획 등 공간을 대상으로 하는 정보를 수집·관리하고 그러한 정보들을 사용목적에 따라 다양한 분석을 통하여 필요한 결과물을 생산하는 공간분석에 관한 종합정보관리시스템" 이라고 정의를 내릴 수 있다.

2.3.2 GIS와 다른 분야의 연계성

GIS의 원활한 사용을 위해서는 여러 다른 학문 분야에 대한 체계적이고 충분한 이해가 전제된 연계가 이루어져야 한다. 이러한 학계간의 연계성은 그림 5와 같다. GIS에 있어서 가장 기본적인 공간분석을 위한 제반 개념을 제공하는 지리학과 원격탐사를 통하여 기초 데이터를 구축한 후, 지표상의 상호 위치관계를 해석할 수 있는 측량 및 GPS를 통한 자료를

입력하여 Database를 구축하고, 통계학, 수학 등의 수치적 개념을 통한 데이터 분석을 한다. 이렇게 분석된 자료를 통하여 얻고자 하는 정보를 추출하게 되며, 이러한 자료를 web상을 통하여 다양한 형태로 정보를 제공하게 된다. 이처럼 GIS 자체의 독립적 사용보다는 학계와 기관과의 연계를 통해 운용되어야 한다.

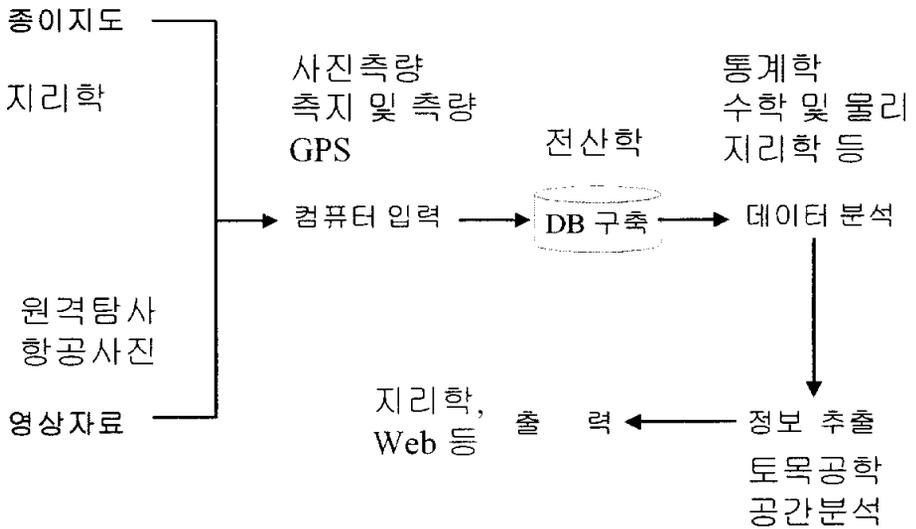


그림 5 GIS와 학계간의 연계성

2.3.3 GIS의 활용

GIS는 도형과 속성정보를 지닌 지리정보를 이용하여 인간이 필요로 하는 각종 유용한 정보를 제공하는 시스템이다. 따라서 GIS의 활용은 시설물의 관리나 환경의 개선에서부터 토지, 국방, 자원, 도시 계획 등에 이르기까지 광범위한 활용 분야를 가지고 있다. 우리나라에서도 상대적으로 GIS의 보급은 늦었으나 현재 수문학 분야 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. GIS의 활용분야별로 기여도를 최대한 높이기 위하여 분야별로 요구되는 GIS의 특성이나 구비 요건에 맞게 적용하여야 한다. 이러한 GIS의 대표적인 응용시스템으로는 시설물관리시스템(FM), 토지정보시스템(LIS),

환경정보시스템(EIS), 도시정보시스템(UIS), 자원정보시스템(RIS), 국방정보시스템(DIS) 등이 있다.

최근 이러한 응용시스템의 상호연관성 및 의존성을 고려한 통합 정보 체계인 “지형공간정보체계(Geo-Spatial Information System; GIS)”의 연구 및 활용성이 증가하고 있다.

2.3.4 GIS를 통한 수질분석

최근 하천 수질의 급격한 오염에 대한 여러 가지 수질 예측 모델들이 연구되고 있으며, 이러한 수질분석을 통한 수질관리를 사전에 예방할 수 있는 한 방법으로 공간자료에 의한 관련정보를 효율적으로 관리, 분석할 수 있는 GIS의 적용이 커지고 있다.

하천수질관리에 있어 수질 예측 모델과 함께 GIS를 적용할 경우, 하천 수질의 각 인자들간의 변화추이를 시각적으로 볼 수 있어 효과가 매우 크며, 일반인들에게도 쉽고 정확한 자료를 제공할 수 있다. 이러한 자료는 오염현황이나 변화추이를 효과적으로 비교, 파악하는데 좋은 자료로 제공된다.

제 3 장 적용대상유역의 자료분석

3.1 적용대상유역 및 오염원 현황

3.1.1 적용대상유역

본 연구대상유역은 부산광역시의 대표 하천이며, 지방 2급 하천인 수영강 유역이다. 유역면적은 199.57km²이고, 유로연장은 28.0km이다.

그림 6과 같이 연구대상유역은 상류와 하류로 크게 구분할 수 있으며, 상류유역에는 상수도 전용댐인 회동댐이 있다. 하류유역은 도시하천으로 바다를 접하고 있는 감조하천이 존재하고 있다. 회동댐 상류유역은 수영강 전체유역의 약 50%에 달하고 있으며 하류유역에는 크고 작은 교량이 9개소 이상이 있다. 본 유역이 토지이용현황은 임야가 59.1%, 농경지가 12.9%, 수계가 1.9%, 초지가 1.0%, 도시지역이 25.1%로 이루어져 있다.

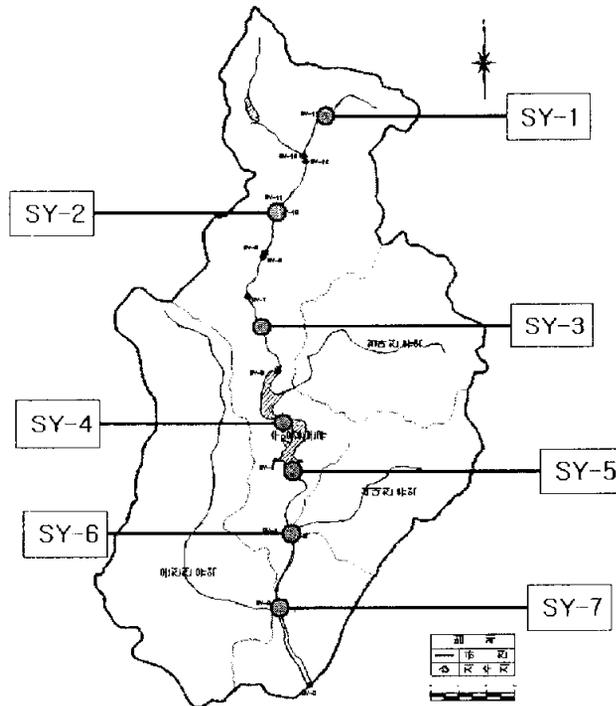


그림 6 연구대상유역

3.1.2 오염원현황

수영장 유역내 오염원 현황은 점오염원으로 총인구는 1,141,387인, 폐수 배출업소 765개소, 소 726두, 돼지 1,097두 등으로 대부분 시가화 구역으로 조사되었으며 비점오염원으로 농경지(전·답)가 9.9%(19.78 km^2), 임야가 59%(117.80 km^2), 대지가 14.1%, 기타가 17.0%로 양산지역과 부산광역시 기장군, 금정구에서 대부분 분포하고 있는 임야가 가장 넓은 면적을 차지하고 있다. 유역내 폐수 배출업소는 부산광역시 관내 총 765개소로 조사되었고 가축 사육수는 양산시, 기장군지역에서 소726두, 돼지 1,097두이나 모두 비규제대상으로 조사되었다.

수영장 유역에서는 539,590 $m^3/日$ 의 하·폐수가 발생하고 있으며, 이 중 생활하수가 500,230 $m^3/日$ 로 전체의 92.7%를 차지하며 산업폐수가 37,340 $m^3/日$ (7.3%)가 발생하는 반면 축산폐수 발생량은 극히 적은 것으로 나타났다.

3.2 자료분석

수영강 유역의 수질조사지점은 그림 7과 같이 두명교, 두구교, 석대2호교, 동천교, 원동교, 민락교 등의 6개 지점의 수질측정자료를 이용하였다. 수질모의에 필요한 하천망은 크게 상류, 중류(회동수원지), 하류로 구분하였으며, 구간(Reach)은 수리학적 유사구간을 7개, 지점(element)은 1 km의 길이로 28개로 분할하여 하천망을 구축하였다. 이렇게 28개로 분할된 element별로 Headwater(수원), Standard(정상적인 하천), Point source(점오염원), Withdrawal(취수장), Dam(댐), Junction(합류점) 등으로 분류하였다.

이러한 분류를 통한 현황을 비유량법에 의해 수영강의 하천 유황을 간수량, 저수량, 평수량, 풍수량으로 추정 및 산정하여 HEC-RAS로 축점별 유속, 수위를 산출하여 표 2과 같이 나타내었다. 표 2에서 알 수 있듯이 평수량을 기준으로 볼 때 Reach 7(하류)에서 가장 큰 값을 나타내고 있다. 그 외에 갈수량, 저수량, 풍수량 또한 유역의 최하부인 Reach 7에서도 최대값을 나타냈음을 알 수 있다.

수영강 분류

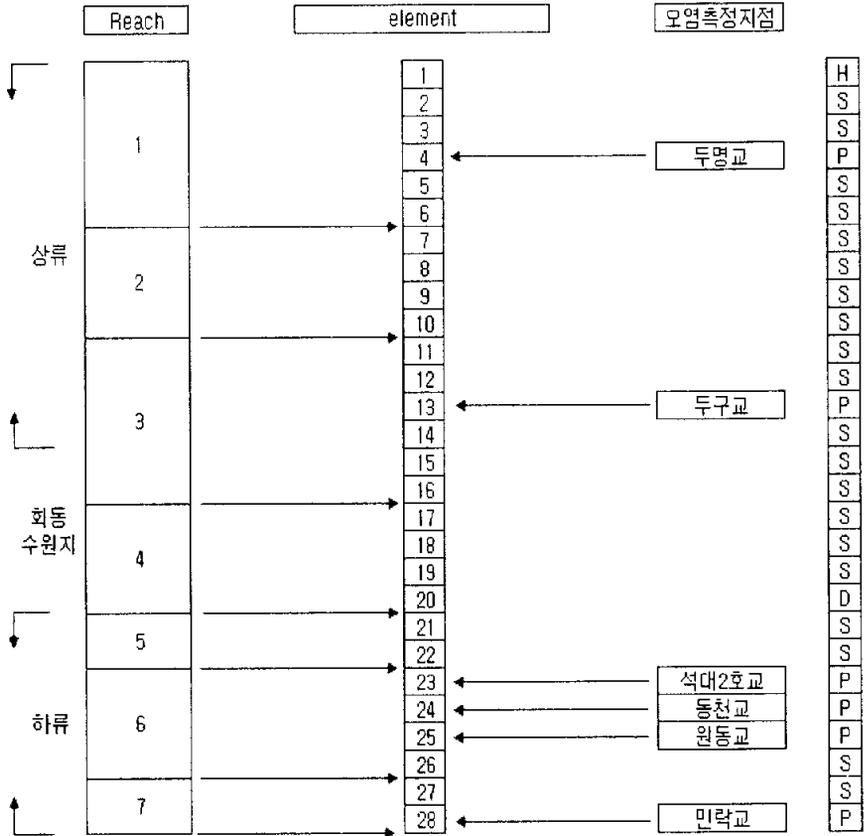


그림 7 하천망 구축

표 2 하천 유황 및 유속 및 수위

		갈수량	저수량	평수량	풍수량
Reach 1	유량	0.05	0.12	0.24	0.41
	유속	0.35	0.48	0.61	0.71
	수위	0.01	0.02	0.04	0.06
Reach 2	유량	0.16	0.39	0.79	1.34
	유속	0.05	0.11	0.19	0.27
	수위	0.96	1.04	1.14	1.25
Reach 3	유량	0.22	0.53	1.06	1.81
	유속	0.16	0.24	0.36	0.46
	수위	0.10	0.13	0.15	0.18
Reach 4	유량	0.37	0.89	1.78	3.04
	유속	0.01	0.02	0.03	0.04
	수위	8.14	8.14	8.14	8.14
Reach 5	유량	0.40	0.96	1.91	3.27
	유속	0.76	0.89	1.00	1.00
	수위	0.06	0.11	0.11	0.11
Reach 6	유량	0.50	1.21	2.42	4.12
	유속	0.01	0.01	0.02	0.03
	수위	1.48	1.48	1.48	1.48
Reach 7	유량	0.73	1.76	3.52	6.01
	유속	0.01	0.02	0.02	0.03
	수위	4.38	4.38	4.38	4.38

표 2와 같이 각 Reach별로 산정된 값을 적용하여 유량계수법에 의해서 유속계수 · 지수 수심계수 · 지수를 산정하였고, QUAL2E 모델에 이용하였다. 유량계수법에서 산정되는 4개의 미지수는 식 (3.1)과 식 (3.3)에서 a , h , α , β 이다. 이 방법은 수리 모델링을 수행하는데 또는 실측자료를 이용하여 각 지점별로 유속과 유량을 산정하고 동일 제구간 내에서의 유량과 유속, 유량과 수심과의 관계를 회귀분석법에 의하여 구하게 되며 구간 (reach)별로 회귀분석 계수를 입력하여 유속 및 수심이 계산되도록 하고 있다.

$$U = a Q^h \quad (3.1)$$

$$A_x = Q / U \quad (3.2)$$

$$d = \alpha Q^\beta \quad (3.3)$$

또한, 수영강 유역에 대한 수질 측정 자료를 표 3과 같이 나타내었다. 표 3에서 알 수 있듯이 수영강 유역을 7개 구간으로 나누었으며, 수질측정 지점에 따른 하천길이를 세분화하였으며, 수질의 보정 및 검정을 위하여 2001년 10월31일과 12월28일의 DO, BOD를 수질실측지점에 따라서 구분해 놓았다.

이와 같이 표 2와 표 3의 자료를 토대로 하여 QUAL2E 모델에 이용하였으며, 이러한 자료의 입력창을 그림 8, 그림 9, 그림 10에 나타내었다.

표 3 소유역별 수질측정자료

유역 번호 (reach)	산정 지점	산정 지점 및 위치	원 하 천 길 이	하 천 길 이	element 수, 누적수	부산 광역시 수질 측정 지점	부산광역시 수질측정자료(B OD)	부산광역시 수질측정자료(D O)
							10.31/12.28	10.31/12.28
SY-1	16_1	회동수원지 상류	1.8	2	4_4_55			
	15_1	회동수원지 상류	1.8	2	5_8_51	3_53_ 두명교	1.0/0.6	6.0/12.7
	14_1	회동수원지 상류	2.2	2	4_12_47			
SY-2	13_1	회동수원지 상류	2.0	2	4_16_43			
	12_1	회동수원지 상류	1.7	1.5	3_19_38			
	11_1	회동수원지 상류	0.4	0.5	1_20_36			
SY-3	10_1	회동수원지 상류	1.7	2	4_24_35	26_33_ 두구교	2.9/2.1	6.0/13.3
	9_1	회동수원지 상류	1.9	2	4_28_31			
	8_1	회동수원지	2.1	2	4_32_27			
SY-4	7_1	회동수원지	2.1	2	4_36_23			
	6_1	회동수원지	0.9	1	2_38_19			
SY-5	5_1	회동수원지 하류	1.0	1	2_40_17			
	4_1	회동수원지 하류	2.1	2	4_44_15	46_13_ 석대2호교	37.4/15.0	2.3/1.4
SY-6	3_1	회동수원지 하류	2.1	2	4_48_11	47_12_ 동천교	14.1/19	9.7/6.3
	2_2	회동수원지 하류	1.0	1	2_50_7	50_7_ 원동교	8.3/7.3	21/2.4
SY-7	2_1	회동수원지 하류	0.6	0.5	1_51_5			
	1	회동수원지 하류	2.0	2	4_55_4	55_0_ 민락교	1.7/3.1	5.2/4.8
합계			27.4	27.5	55			

QUAL2E (QAL2E499.INP)

File Edit Tool Utilities Import Help

Help Next Back Top Index

Stream Reach System

REACH NAME (1):

REACH NO.	REACH NAME	BEGIN RIVER (km)	END RIVER (km)	HEADWATER	Delta-X (km)
1	1	28	22	√	1
2	2	22	18		1
3	3	18	12		1
4	4	12	8		1
5	5	8	6		1
6	6	6	2		1
7	7	2	0		1

그림 8 Stream Reach 입력

QUAL2E (QAL2E499.INP)

File Edit Tool Utilities Import Help

Help Next Back Top Index

Computational Element

2 (1):

REACH NO.	TOTAL ELE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	6	H	S	S	S	S	S														
2	4	S	S	S	S																
3	6	S	P	S	S	S	S														
4	4	S	S	W	S																
5	2	P	S																		
6	4	S	S	S	P																
7	2	S	E																		

그림 9 Computational Element

QUAL2E (GRAPHIC'S QUAL2E499.INP)

File Edit Tool Utilities Import Help Next Back Top Index Run Restore

Graph Selection

Description:

QUAL2E output file: Graph Edit

Type of graph:
 Flow versus Distance
 Water Quality Constituents

Starting reach:
 Ending reach:

그림 10 Flow Rate 출력창

3.3 수질 보정 및 검정

3.3.1 수질 보정 결과

본 연구에서의 수질보정은 QUAL2E 모델을 모의하여 나타난 값과 실측치를 비교하여 수치해석치와 실측치의 오차를 반응계수(k_1 , k_3 , k_4)를 조정하고 허용범위내로 보정하는 것으로 실측치의 $\pm 10\%$ 의 범위안에서 보정하는 것이 보통이지만 변이량이 큰 경우 $\pm 20\%$ 까지 확장할 수도 있다.

본 연구에서는 수질측정지점의 실측자료를 시행착오법에 의하여 한국건설기술연구원과 EPA의 QUAL2E manual의 계수 범위를 참고하여 수질모의에 대한 보정을 표 4와 같이 하였으며 향후 연구가 지속된다면 알고리즘을 이용한 반응계수의 보정에 관한 연구를 통해 수질모형의 반응계수의 적합도의 향상에 관한 연구 지속할 것이다. 시행착오법에 의한 보정의 결과는 그림 11, 그림 12와 같다. 보정결과 비교적 유사한 결과를 보이거나 Reach 6의 석대-원동교 지점 4 km^2 구간이 실측치와 다소 차이가 있었다. 이는 모의치가 실측치 보다 과소평가로 나타나며 석대-원동교 지점에 유입되는 수질자료의 부족으로 인한 결과로 판단된다.

표 4 수영강 수질 보정

reach	element	number	실측값		보정값	
			DO	BOD	DO	BOD
1	1	1	6	1	7.26	1.00
	2	2			7.65	1.00
	3	3			7.76	1.00
	4	4			7.78	1.00
	5	5			7.76	1.00
	6	6			7.74	1.00
2	7	1			7.66	0.86
	8	2			6.16	0.75
	9	3			5.06	0.67
	10	4			4.26	0.60
3	11	1			6.00	0.58
	12	2	6	2.9	7.18	1.22
	13	3			7.83	1.20
	14	4			8.17	1.17
	15	5			8.35	1.15
	16	6			8.43	1.12
4	17	1			8.34	1.11
	18	2			6.99	1.09
	19	3			5.72	1.08
	20	4			4.27	1.39
5	21	1			3.33	10.66
	22	2	2.3	14.4	3.09	12.71
6	23	1	9.7	14.1	8.63	11.77
	24	2			8.00	10.20
	25	3	15	8.3	7.54	8.85
	26	4			7.66	8.58
7	27	1			6.04	5.07
	28	2	5.2	1.7	4.49	2.42

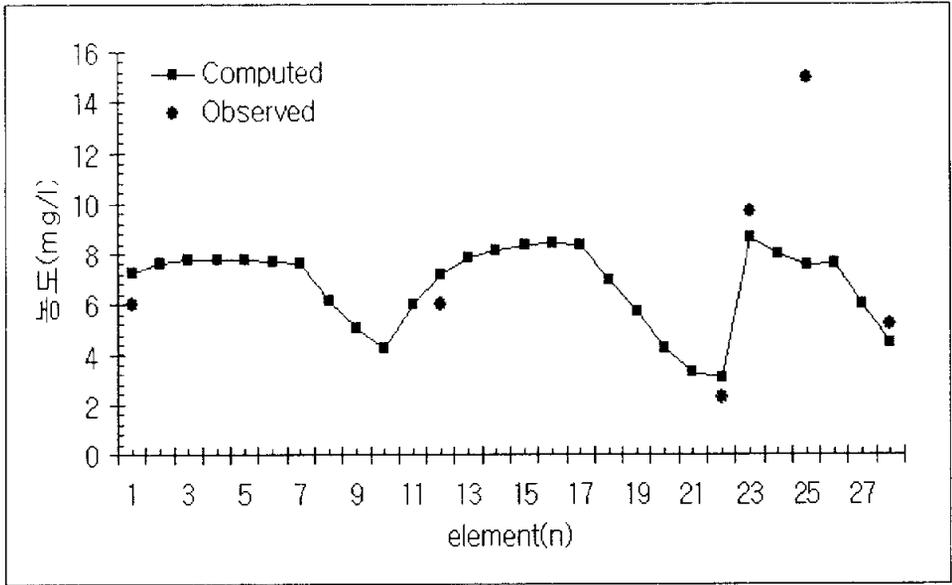


그림 11 수영장 수질 DO 보정

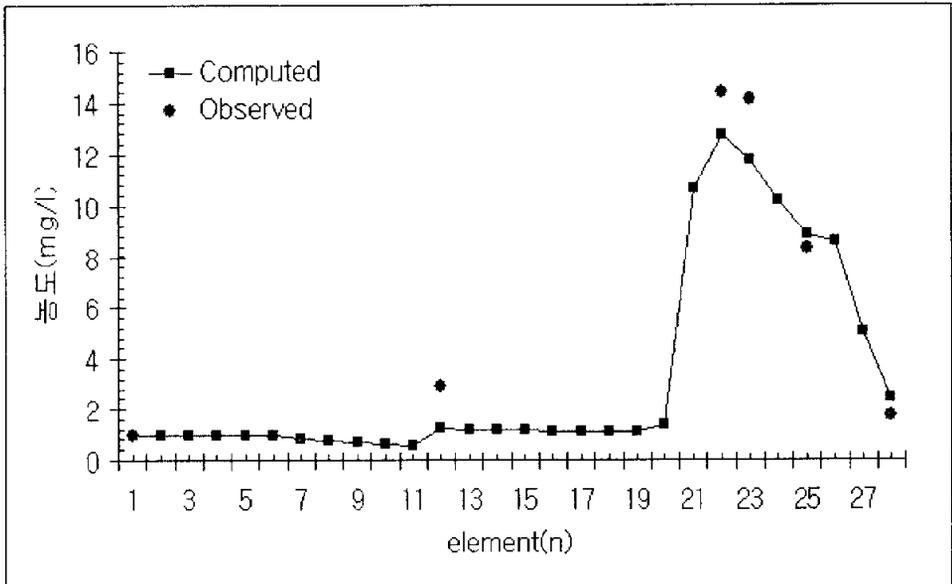


그림 12 수영장 수질 BOD 보정

3.3.2 수질 검증 결과

수영장 수질 모의의 검증은 2001년도 12월 자료를 사용하여 검증 하였으며 표 5와 같다. 표 5에서 알 수 있듯이 각 Reach별 element에서 값을 산정했으며, 검증 결과 그림 13, 그림 14와 같이 관측치와 산정치가 비교적 유사한 결과를 보이지만 보정결과와 동일하게 Reach 6의 석대-원동교 지점 4 km^2 구간이 실측치와 다소 차이가 있었다. 이는 모의치가 실측치 보다 과소평가로 나타나며 석대-원동교 지점에 유입되는 수질자료의 부족으로 인한 결과로 판단되어진다.

표 5 수영장 수질 검증

reach	element	number	실측값		검증값	
			DO	BOD	DO	BOD
1	1	1	12.7	0.6	9.46	0.62
	2	2			8.40	0.65
	3	3			8.03	0.67
	4	4			7.88	0.68
	5	5			7.80	0.70
	6	6			7.76	0.71
2	7	1			7.67	0.61
	8	2			6.17	0.54
	9	3			5.07	0.48
	10	4			4.26	0.43
3	11	1			6.00	0.42
	12	2	13.3	2.1	8.32	0.88
	13	3			8.44	0.86
	14	4			8.49	0.84
	15	5			8.52	0.83
	16	6			8.53	0.81
4	17	1			8.36	0.80
	18	2			7.01	0.79
	19	3			5.75	0.79
	20	4			4.28	1.19
5	21	1			2.29	12.99
	22	2	1.4	15	2.70	14.87
6	23	1	6.3	19	6.93	13.76
	24	2			7.86	11.92
	25	3	7.3	2.4	7.32	5.05
	26	4			6.78	4.55
7	27	1			5.34	5.00
	28	2	4.8	3.1	3.85	2.39

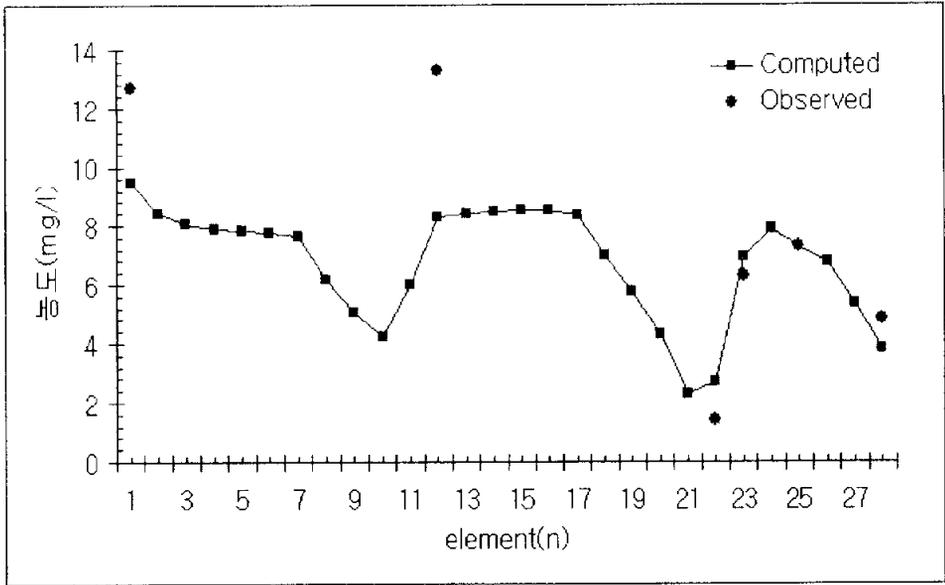


그림 13 수영장 수질 DO 검증

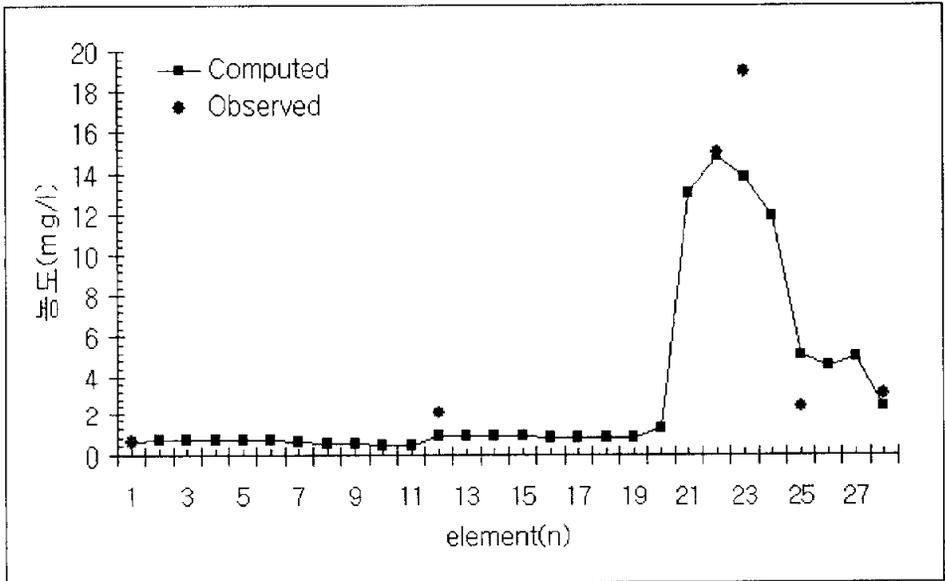


그림 14 수영장 수질 BOD 검증

제 4 장 수질관리를 위한 GIS의 응용

4.1 GIS의 응용방법

본 연구에서는 수질관리를 위하여 그림 15와 같이 QUAL2E 모형의 결과치를 ArcView Software와 연계하여 수질분포를 나타내었다. 먼저 QUAL2E의 결과값인 BOD와 DO를 Shapefile의 속성데이터로 입력하였다. 그리고 TIN으로 변환한 후 3차원 지형자료와 중첩하여 하천수질분포를 나타냄으로써 수질관리를 효율적으로 할 수 있었다.

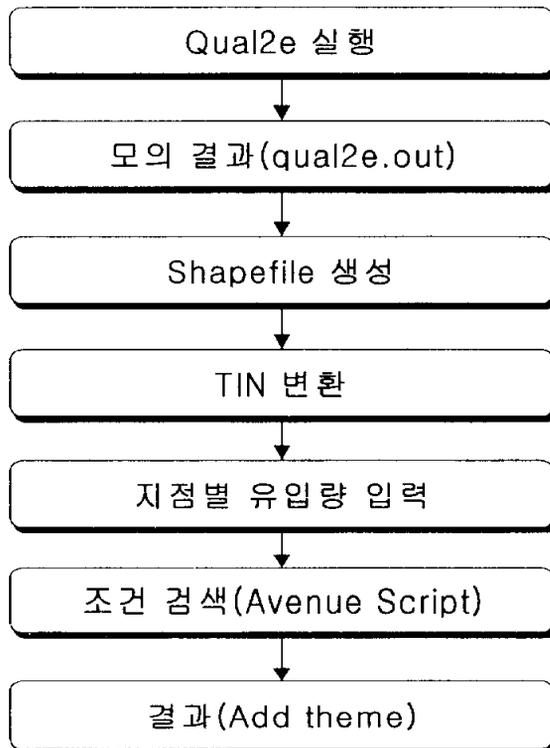


그림 15 GIS 응용방법

지점별 유입량 입력은 아래 그림 16과 같이 Avenue script를 이용하여 그림 17에서와 같이 최초유입량, 철마천 합류부, 석대천 합류부, 온천천 합류부에서의 유입량을 입력할 수 있도록 하였으며, 이러한 유입량 입력후 QUAL2E에 적용된 값을 찾아서 View창에 나타나게 하였다.

```

Create fields which will be added to the table
11 = Field Make: "최초유입부 (mg/l)" #FIELD.CHAR 5 0 1
12 = Field Make: "철마천합류부 (mg/l)" #FIELD.CHAR 5 0 1
13 = Field Make: "석대천합류부 (mg/l)" #FIELD.CHAR 5 0 1
14 = Field Make: "온천천합류부 (mg/l)" #FIELD.CHAR 5 0 1

Create a new Table
myFile = FileDialog Put("저장할 dbf" & fileName & ".dbf" "Output File")
if (myFile = nil) then
  exit
end
theVTab = VTab MakeNew(myFile & base)
myTable = Table Make(theVTab)

Add Fields to the Table
theVTab AddFields( {1 2 13 14} )

Populate table using MultiInput
i = 0
defaultID = 0
while(true)      Endless loop - user clicks cancel to exit
  i = i + 1
  defaultID = defaultID + 1

  | - MsgBox Multi-Input(지점별 유입량(BOD)을 입력하십시오)
  Add Record "+i AsString
  | 최초유입부 (mg/l) | 철마천합류부 (mg/l) | 석대천합류부 (mg/l) | 온천천합류부 (mg/l) |
  | defaultID AsString | "1" "2" "3" "4" "5" "6" "7" "8" "9" "10" "11" "12" "13" "14" "15"
  | "16" "17" "18" "19" "20" "21" "22" "23" "24" "25" "26" "27" "28" |)

  Check to see if the user clicked cancel to end input
  if (i count = 1) then
    break
  end

  Write the records to the table
  rec = theVTab AddRecord

  Validate numeric input for the ID field
  if (i Get(1) IsNumber Not) then
    MsgBox Warning("Invalid ID - Using default ID number " + i)
    theVTab SetValue(11 rec defaultID)
  else
    theVTab SetValue(11 rec i Get(1) AsNumber)
  end

  theVTab SetValue(12 rec i Get(2))
  theVTab SetValue(13 rec i Get(3))
  theVTab SetValue(14 rec i Get(4))

end
myTable GetKin Open
  
```

그림 16 Avenue Script의 적용

지점별 유입량(BOD)을 입력하십시오:

최초유입부 (mg/l): 3

철마천합류부 (mg/l): 6

석대천합류부 (mg/l): 10

온천천합류부 (mg/l): 8

OK Cancel

그림 17 지점별 유입량 입력

그림 16에 의하여 검색된 QUAL2E의 결과 값은 ArcView View창에 표현되며, 본 적용대상유역에 다양한 데이터를 적용해 보았다. 표 6은 지점별로 적용한 유입량 입력 데이터이며, 이러한 입력 데이터에 의하여 QUAL2E를 수행한 결과값은 표 7과 같다. QUAL2E를 수행하여 생성된 결과값을 ArcView에서 적용하면 그림 18 및 그림 19와 같은 수질현황을 볼 수 있다. View창에서 나타난 수질현황에서 수질 분포도를 클릭하여 정보를 추출할 수 있다. 이와 같은 기능들은 ArcView의 기능을 그대로 이용을 하고 있으며, 본 연구에서는 Avenue script를 이용하여 수질관리를 하는데 도움을 주고자 하였다.

표 6 GIS와의 연계를 위한 적용 입력 데이터

BOD 구분	유입부	철마천 합류부	석대천 합류부	온천천 합류부
(1)	1	1	1	1
(2)	10	10	10	10
(3)	3	6	10	8
(4)	8	6	1	3
(5)	1	3	6	10
(6)	10	6	8	1
(7)	3	10	1	6

표 7 QUAL2E를 수행한 결과값

Reach	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	1.00	10.00	3.00	8.00	1.00	10.00	3.00
	1.00	10.00	3.00	8.00	1.00	10.00	3.00
	1.00	10.00	3.00	8.00	1.00	10.00	3.00
	1.00	9.99	3.00	8.00	1.00	9.99	3.00
	1.00	9.99	3.00	7.79	1.00	9.99	3.00
	1.00	9.99	3.00	7.79	1.00	9.99	3.00
2	0.86	8.58	2.57	6.86	0.86	8.58	2.57
	0.75	7.52	2.26	6.01	0.75	7.52	2.26
	0.67	6.69	2.01	5.35	0.67	6.69	2.01
	0.60	6.03	1.81	4.82	0.60	6.03	1.81
3	0.62	6.15	1.94	4.86	0.68	6.03	2.07
	0.73	7.32	3.17	5.21	1.38	6.02	4.47
	0.74	7.38	3.23	5.22	1.42	6.02	4.59
	0.74	7.43	3.29	5.24	1.45	6.02	4.70
	0.75	7.48	3.34	5.25	1.48	6.02	4.81
	0.75	7.53	3.40	5.27	1.51	6.01	4.91
4	0.74	7.42	3.35	5.19	1.49	5.93	4.84
	0.73	7.31	3.30	5.11	1.47	5.84	4.77
	0.72	7.21	3.26	5.04	1.45	5.76	4.70
	0.71	7.13	3.33	4.87	1.51	5.70	4.54
5	0.88	8.79	7.18	2.63	4.10	7.03	2.50
	0.89	8.88	7.40	2.51	4.25	7.10	2.38
6	0.83	8.31	6.92	2.35	4.01	6.61	2.25
	0.74	7.37	6.13	2.08	3.58	5.82	2.01
	0.66	6.56	5.46	1.86	3.22	5.14	1.81
	0.65	6.46	5.32	1.85	3.96	4.00	2.28
7	0.41	4.12	3.39	1.18	2.52	2.55	1.46
	0.22	2.20	1.81	0.63	1.35	1.36	0.78

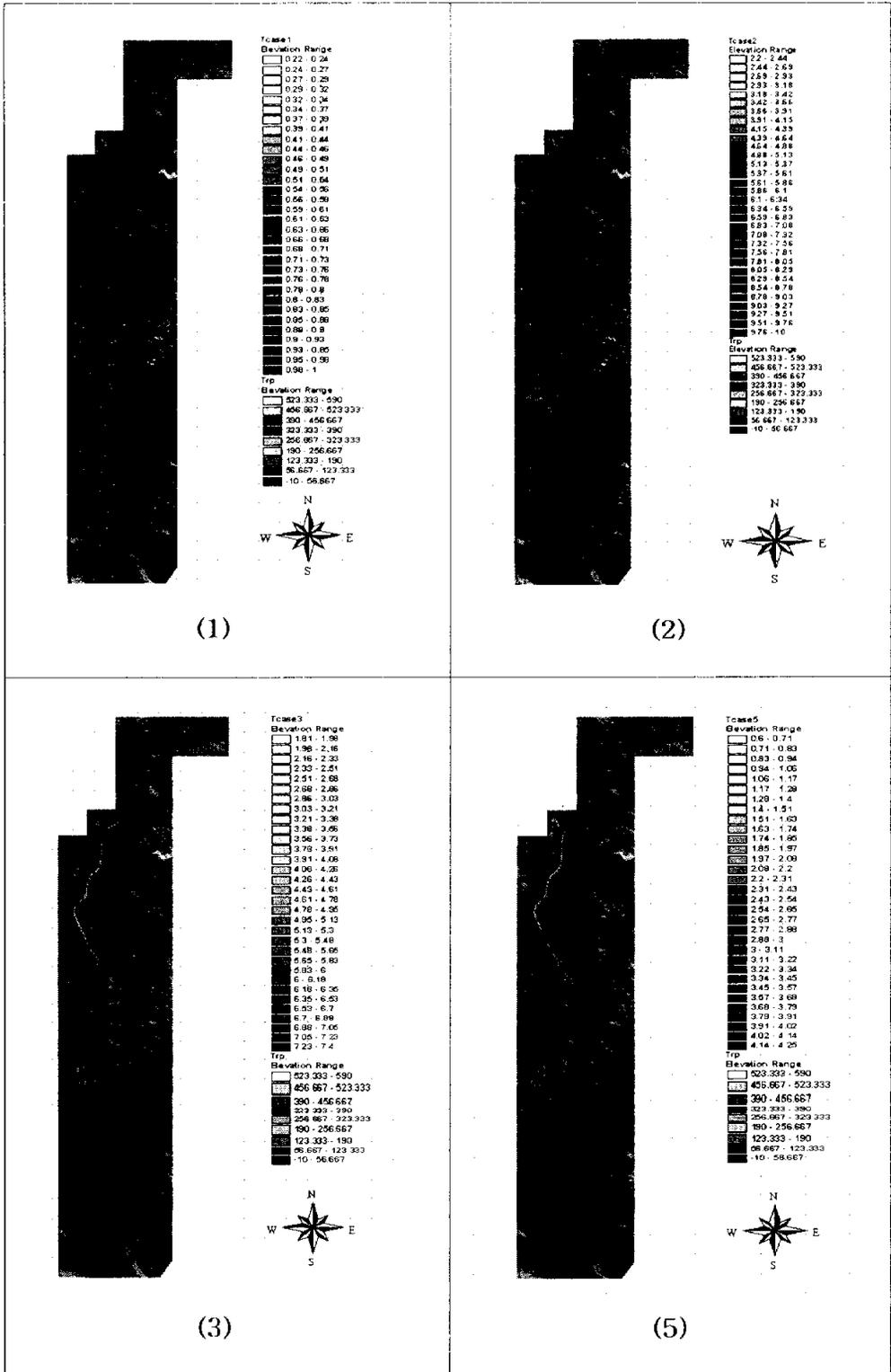


그림 18 GIS와 연계된 View창

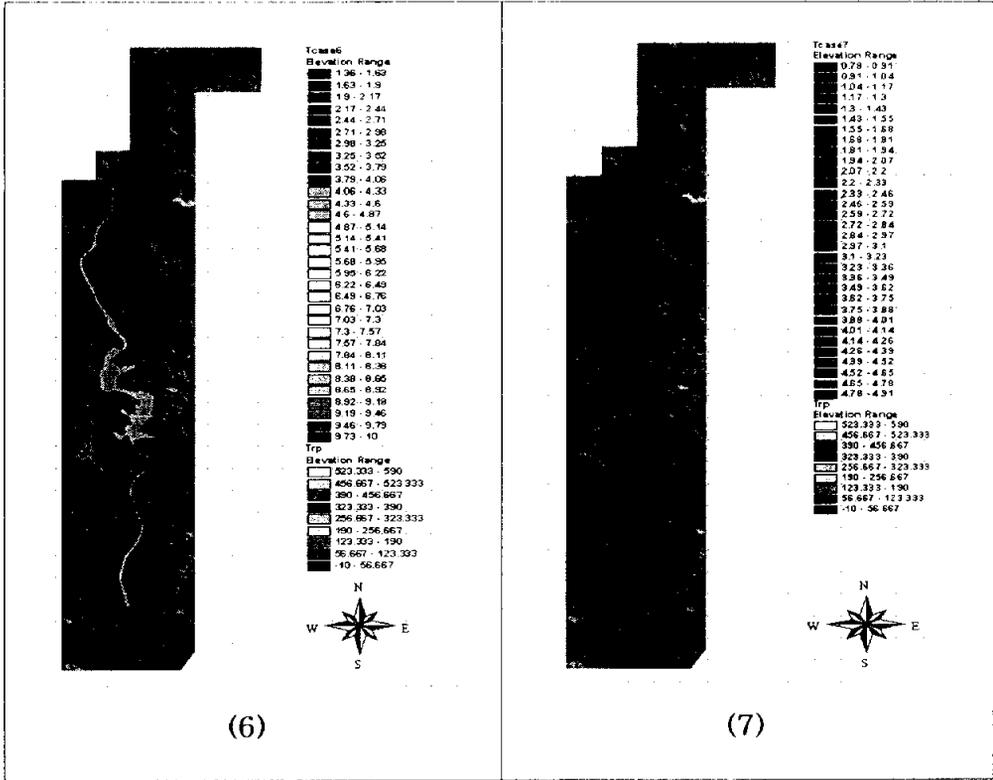


그림 19 GIS와 연계된 View창

이와 같이 ArcView View창에 2차원으로 수질현황이 표현이 되며, 그림 20 및 그림 21과 같이 3차원으로도 표현이 가능하여 일반시민들로 하여금 알기 쉽게 현재의 수질현황을 알려줄 수 있다.

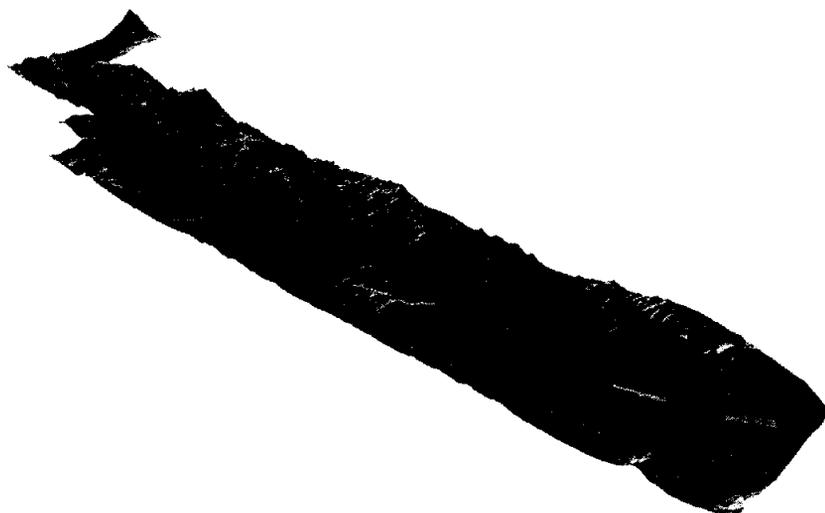


그림 20 3차원 TIN 분석(BOD)

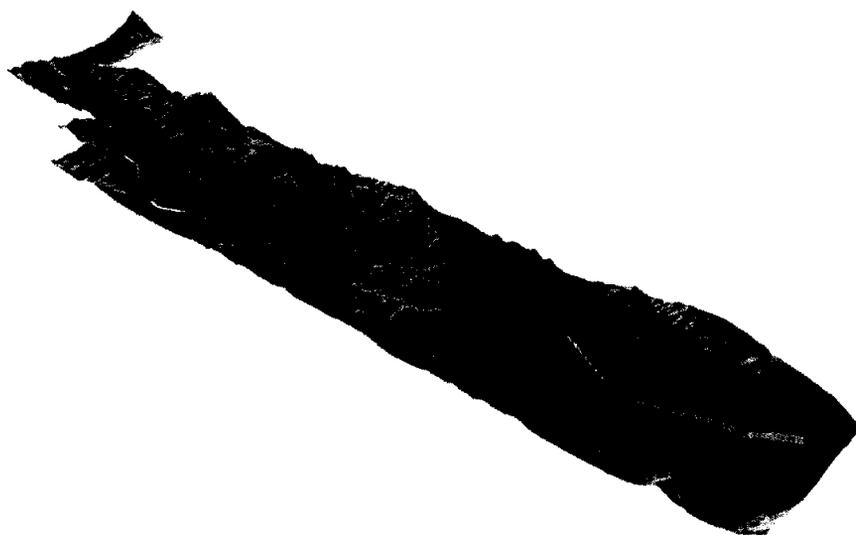


그림 21 3차원 TIN 분석(DO)

4.2 대상구역의 GIS 적용

GIS를 이용하여 하천의 수질형상을 표현하기 위하여 TIN의 중첩분석에 의해 나타내었다. 1/1000 수치지도로부터 하천망을 추출한 후 ESRI사의 ArcView Tool을 이용해 나타내었다. ArcView Tool을 이용한 .shp 변환을하여 수영강의 단면 분할을 통한 분석은 그림 22에서와 같이 나타났다. 또한 수영강의 DO와 BOD의 분포현황은 그림 23 및 그림 24와 같이 나타났다.

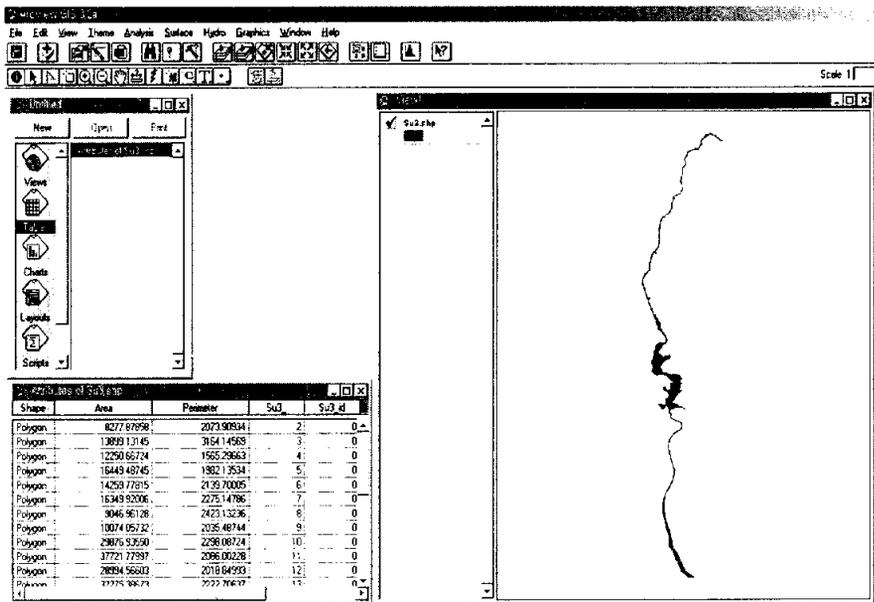


그림 22 수영강 구역의 요소분할

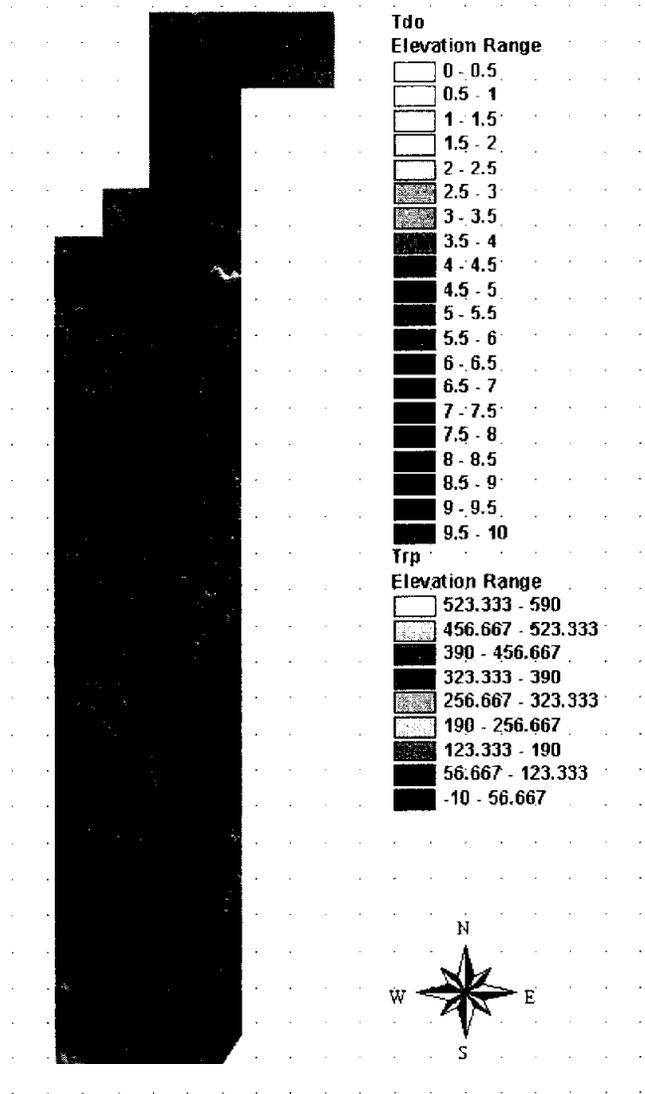


그림 23 수영강 유역의 DO분포

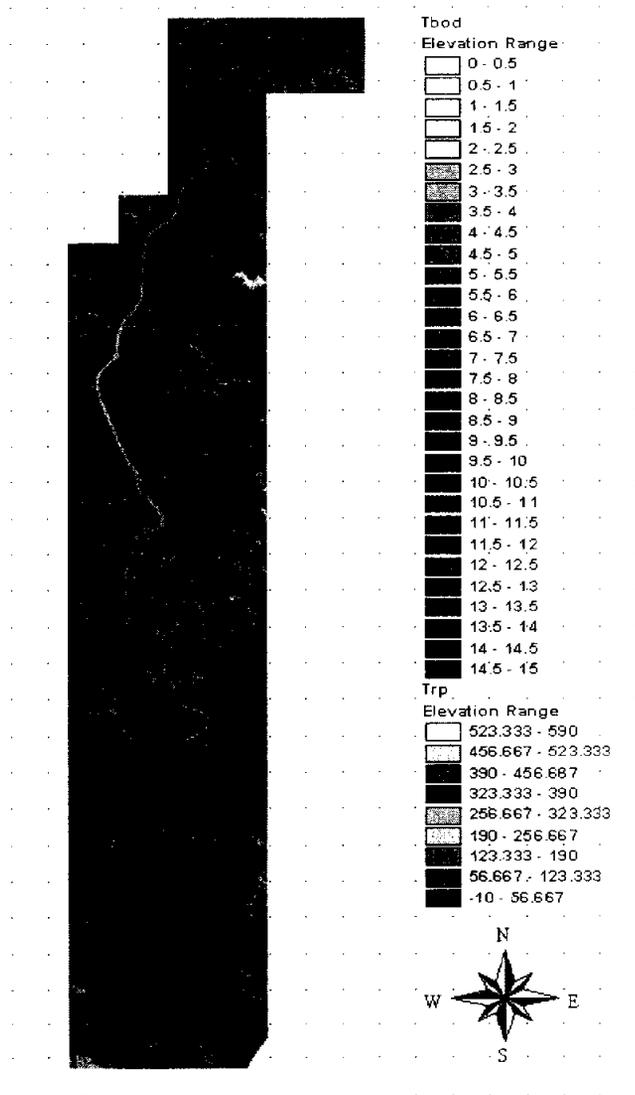


그림 24 수영강 유역의 BOD분포

4.3 결과 및 고찰

4.3.1 수영강 BOD와 DO 분포

지점별 수질의 도시(display)는 그림 25 및 그림 26과 같이 나타났다. 그림에서도 알 수 있듯이 중류의 회동수원지를 기점으로 각각 DO와 BOD를 10월과 12월의 경우 비교 분석한 결과, 최대 13%, 46%정도의 차이가 나며 이러한 결과는 수영강 하류지역의 경우 10월 BOD 부하량에 비하여 12월 BOD 부하량이 더 개선되었음을 알 수 있다. 이와 같이 지점별 수질을 도시하여 지점별 오염 부하량과 하천의 수질오염 분포를 쉽게 알 수 있게 나타내었다.

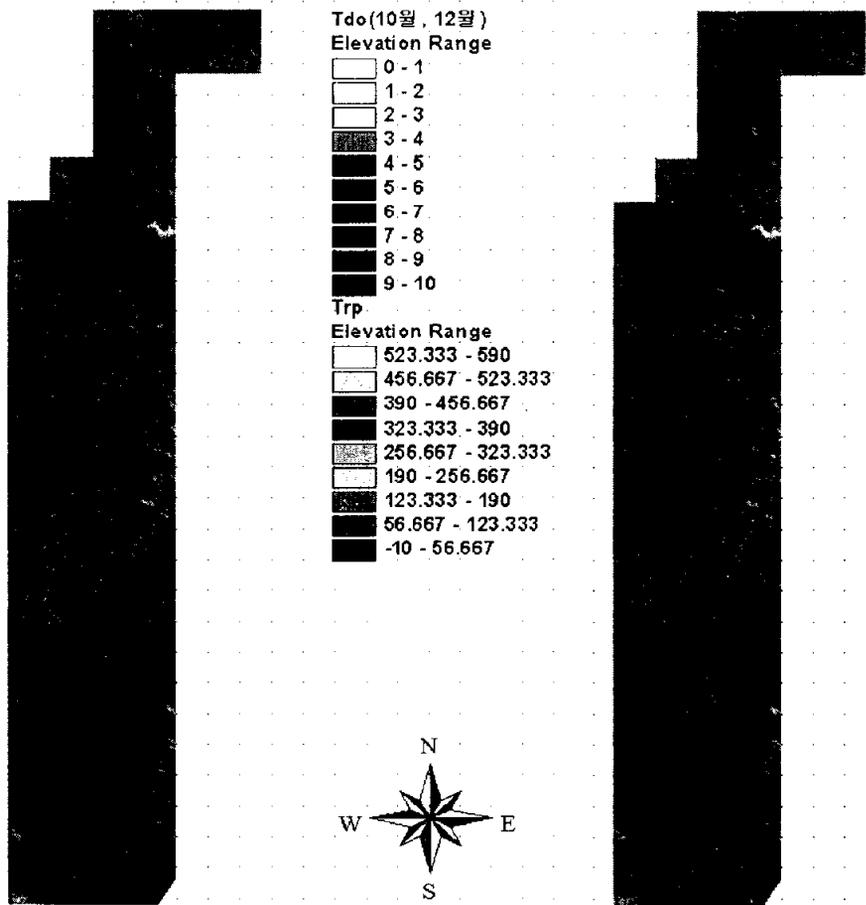


그림 25 수영장 DO분포 (10월, 12월)

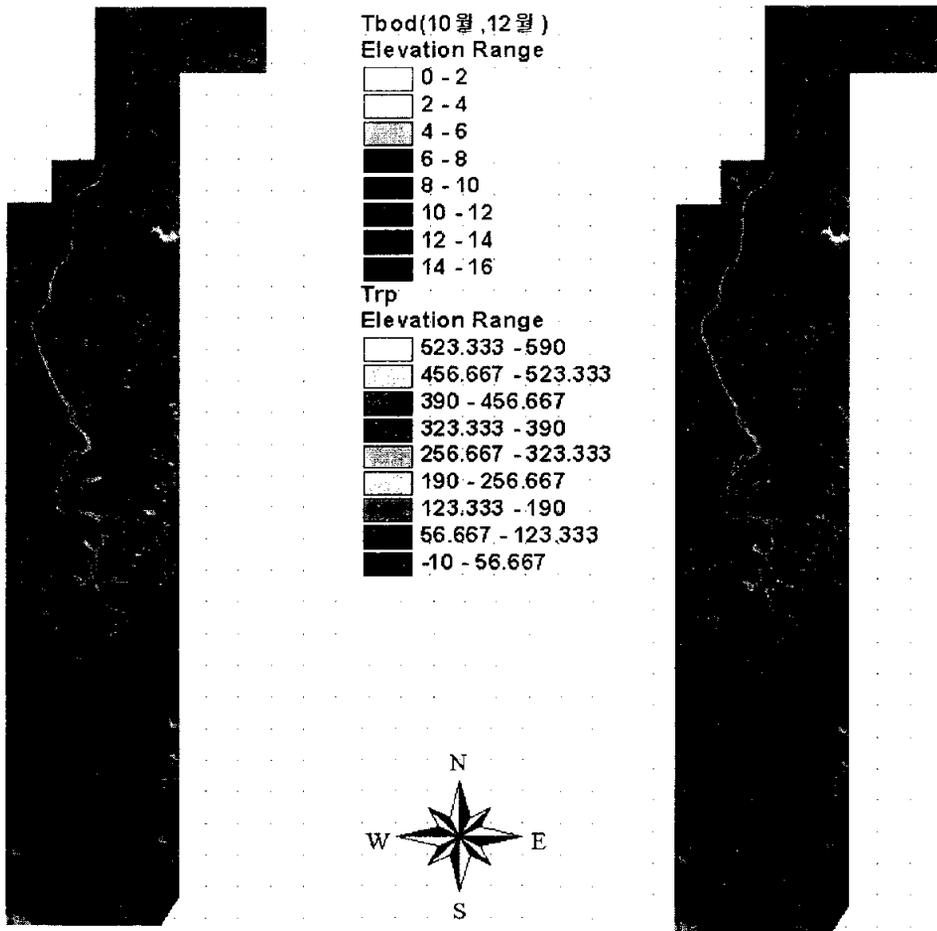


그림 26 수영강 BOD분포 (10월, 12월)

4.3.2 고찰

본 연구를 수행한 결과 수질예측결과 수질모의에 있어서 비교적 모의 결과가 양호하나 석대-원동지점의 경우 수질자료 및 하천의 수리학적 특성자료의 미비로 인하여 실측치와는 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다. 또한, GIS를 이용하여 하천의 수질형상을 표현한 결과 지점별 오염부하량의 분포를 쉽게 알 수 있으므로 유역환경 및 수질관리에 도움을 줄 수 있다. 부산광역시 수영강의 수질모의를 산출함으로서의 매개변수의 추출은 인구추정 등을 통한 오염원 및 오염량 산출을 통해 하천수질예측 모의를 하는데 있어서 활용자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

제 5 장 결론 및 향후과제

본 연구에서 수영강 유역을 대상으로 GIS를 이용한 수질모의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째. 수질예측결과 수질모의에 있어서 비교적 모의결과가 양호하나 석대-원동지점의 경우 수질자료 및 하천의 수리학적 특성자료의 미비로 인하여 실측치와는 차이를 보이고 있다. 따라서 본 유역의 점오염원 및 비점오염원에 대한 사항이 구체적으로 고려되어 수질모의가 실시되어져야 할 것으로 사료된다.

둘째. GIS를 이용하여 하천의 수질형상을 표현한 결과 지점별 오염부하량의 분포를 쉽게 알 수 있으므로, 유역환경 및 효율적인 수질관리에 도움을 줄 수 있었다. 또한, 중류의 회동수원지를 기점으로 각각 DO와 BOD를 10월과 12월의 경우 비교 분석한 결과, 최대 13%, 46%의 차이를 보였으며, 이러한 결과는 수영강 하류지역의 경우 10월 BOD 부하량에 비하여 12월 BOD 부하량이 더 개선되었음을 알 수 있었다.

셋째. 부산광역시 수영강의 수질모의를 수행함으로써의 매개변수의 추출은 인구추정 등을 통한 오염원 및 오염량 산출을 통해 하천수질예측 모의를 하는데 있어서 활용자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

넷째. 수질 모형의 매개변수 추정에 있어서 시행착오법의 경우 반복적인 작업을 통한 변수의 조정으로 인한 어려움이 있어, 향후 유전자 알고리즘을 이용한 반응계수의 보정에 관한 연구와 GIS의 실질적인 활용방안을 제시하는 것을 향후과제로 두었다.

참고문헌

1. EPA. "QUAL2E Manual."
2. EPA. "Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources, BASINS Version 3.0 : User's Manual, 2002.7. EPA, BASINS 3.0.
3. "<http://www.epa.gov/ost/basins/basinsv2.html>."
4. Robert V. Thomann, John A. Mueller. (1977). "Principles of Surface Water Quality Modeling and Control", Harper Collins *Publisbers*.
5. Steven C. Chapra. (1997). "Surface water-quality modeling"
McGraw Hill.
6. APHA(American Public Health Association). (1992). "Standard Method 18th ed.", Washington D.C.
7. Park, S.S. and C.G. Uchirin (1990). "Water Quality Modeling Study of the Lower South Branch of the Raritan River." *Bill. N.J. Acad. Sci.*, 35(1):17-23.
- 8 S. K. Ning. (2001). "Assessing pollution prevention program by QUAL2E simulation analysis for the Kao-Ping River Basin", *Taiwan Journal of Environmental Management*.
9. 김성태(2002). GIS 기반의 유전 알고리즘을 이용한 하천 수질예측. 박사학위논문, 인하대학교 토목공학과.
10. 이부상(1999). 하천수질예측에 관한 연구. 석사학위논문, 수원대학교 토목공학과.
11. 한국수문학회(1993). "제 1회 수공학 워샵 교재"
12. 최연웅(2001). 하천수질관리를 위한 GIS 수질모델의 통합에 관한 연구. 석사학위논문, 전북대학교 토목공학과.
13. 정상만, 박성규, 박영기(2002). "미호천 지역의 하천수질 예측모형 적용

에 관한 연구.” 수자원학회 학술발표회, pp. 600-603.

14. 부산광역시 건설주택국(2002). “수영강 하천정비 기본계획 심의.”
15. 엄명철, 임종완, 이광야, 김계현(2002). “GIS 하천수질정보를 활용한 수질모델링 시스템 개발.” **학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 317-322.
16. 오경두, 전병호, 이홍근, 백도현(1996). “북한강 수역 수질관리를 위한 QUAL2E 모형의 적용.” **학술발표회 논문집**, 대한토목학회, 제16권 제 2-3호.
17. 이소향(1998). **QUAL2E 모델을 이용한 한강 하류부의 수질모의**. 석사학위논문, 광운대학교.
18. 정상만, 임경호, 허강희(2002). “수질모형을 이용한 삼교천 유역의 장래 수질 예측 및 개선방안.” **학술발표회 논문집**, 대한토목학회.
19. 한국과학기술 연구원(1994). “수질 정보 종합 관리 시스템 개발.”

부 록

Script #1

```
' Create fields which will be added to the table...
f1 = Field.Make( "ID",#FIELD_SHORT, 5, 0 )
f2 = Field.Make( "Element",#FIELD_CHAR, 15, 0 )
f3 = Field.Make( "합류지점",#FIELD_CHAR, 15, 0 )
f4 = Field.Make( "BOD(mg/l)",#FIELD_CHAR, 15, 0 )
f5 = Field.Make( "DO(mg/l)",#FIELD_CHAR, 15, 0 )

' Create a new Table...

myFile = FileDialog.Put( "수질.dbf".asfilename, "*.dbf", "Output File")
if (myFile = nil) then
    exit
end
theVTab = VTab.MakeNew(myFile,dbase)
myTable = Table.Make(theVtab)

' Add Fields to the Table...
theVTab.AddFields( {f1,f2,f3,f4,f5} )

' Populate table using MultiInput...
i = 0
defaultID = 0
while(true) ' Endless loop - user clicks cancel to exit...
    i = i + 1
    defaultID= defaultID + 1

    l = MsgBox.MultiInput("data를 입력하세요:",

        "Add Record:"++i.AsString,
        { "ID:", "Element:", "합류지점:", "BOD(mg/l):", "DO(mg/l):",
        { defaultID.Asstring, "1","2","3","4","5","6","7","8","9","10","11","12","13","14","15",
        "16","17","18","19","20","21","22","23","24","25","26","27","28",})

' Check to see if the user clicked cancel to end input...
if (l.count < 1) then
    break
end

' Write the records to the table...
rec = theVTab.AddRecord

' Validate numeric input for the ID field...

if (l.get(0).IsNumber.Not) then
    MsgBox.Warning( "Invalid ID - Using default ID number.", "" )
    theVtab.SetValue( f1, rec, defaultID )
else
    theVTab.SetValue( f1, rec, l.Get( 0 ).AsNumber )
end
```

```
theVTab.SetValue( f2, rec, l.Get(1) )  
theVTab.SetValue( f3, rec, l.Get(2) )  
theVTab.SetValue( f4, rec, l.Get(3) )  
theVTab.SetValue( f5, rec, l.Get(4) )
```

```
end
```

```
myTable.GetWin.Open
```

Script #2

```
theView = av.GetActiveDoc

' loop through each active theme
firstTime = TRUE
for each t in theView.GetActiveThemes
  if (firstTime) then
    def = av.GetProject.MakeFileName("nwgrd", "")
  else
    def = FileName.GetCWD.MakeTmp("nwgrd","")
  end

  ' call proper script to convert theme to grid
  if (t.GetClass.GetClassName = "FTheme") then
    av.Run("Surface.FeatureToGrid",{t,def,theView})
  elseif (t.GetClass.GetClassName = "ITheme") then
    av.Run("Surface.ImageToGrid",{t,def,theView})
  elseif (t.GetClass.GetClassName = "GTheme") then
    av.Run("Surface.GridToGrid",{t,def,theView})
  elseif (t.GetClass.GetClassName = "STheme") then
    av.Run("Surface.TinToGrid",{t,def,theView})
  else
    continue
  end
  firstTime = FALSE
end
theView.GetWin.Activate
```

Script #3

```
' Create fields which will be added to the table...
f1 = Field.Make( "최초유입부(mg/l)",#FIELD_CHAR, 5, 0 )
f2 = Field.Make( "철마천함류부(mg/l)",#FIELD_CHAR, 5, 0 )
f3 = Field.Make( "석대천함류부(mg/l)",#FIELD_CHAR, 5, 0 )
f4 = Field.Make( "온천천함류부(mg/l)",#FIELD_CHAR, 5, 0 )

' Create a new Table...

myFile = FileDialog.Put( "수질.dbf".asfilename, "*.dbf", "Output File")
if (myFile = nil) then
  exit
end
theVTab = VTab.MakeNew(myFile,dbase)
myTable = Table.Make(theVtab)

' Add Fields to the Table...
theVTab.AddFields( {f1,f2,f3,f4} )
```

```

' Populate table using MultiInput...
i = 0
defaultID = 0
while(true)      ' Endless loop   user clicks cancel to exit...
    i = i + 1
    defaultID = defaultID + 1

    l = MsgBox.MultiInput("지침별 유입량(BOD)을 입력하시오:",

        "Add Record:" + i.AsString,
        ( "최초유입부 (mg/l) :", "질마천함류부 (mg/l) :", "식대천함류부 (mg/l) :", "운천천함류부
(mg/l) :",
        { defaultID.AsString, "1","2","3","4","5","6","7","8","9","10","11","12","13","14","15",
        "16","17","18","19","20","21","22","23","24","25","26","27","28",})

' Check to see if the user clicked cancel to end input...
if (l.count < 1) then
    break
end

' Write the records to the table...
rec = theVTab.AddRecord

' Validate numeric input for the ID field...

if (l.get(0).IsNumber.Not) then
    MsgBox.Warning( "Invalid ID - Using default ID number.", "")
    theVtab.SetValue( f1, rec, defaultID )
else
    theVTab.SetValue( f1, rec, l.Get( 0 ).AsNumber )
end

theVTab.SetValue( f2, rec, l.Get(1) )
theVTab.SetValue( f3, rec, l.Get(2) )
theVTab.SetValue( f4, rec, l.Get(3) )

end
myTable.GetWin.Open

```

감사의 글

知人の 권유와 배움의 목마름을 해소코져 늦게나마 대학원에 진학하여 열정을 불사르며 캠퍼스 언덕을 오른지가 엇그제 같은데 벌써 캠퍼스를 떠나야하는 아쉬움이 다가와 졸업논문을 쓰게되니 感懷가 새롭습니다.

먼저 대학원 진학과 본 논문이 완성되기까지 아낌없는 사랑과 정성으로 세심하게 지도해주신 김상용 지도교수님께 머리 숙여 진심으로 감사를 드립니다.

그리고 바쁘신 와중에도 본 논문이 알찬 결실을 맺을 수 있도록 면밀하게 검토해 주시고 다듬어주신 이상호 교수님과 이종섭 교수님을 비롯하여 깊은 학문적 가르침과 인격체로 거듭나게 해주신 김종수 교수님, 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종출 교수님, 이영대 교수님, 이동욱 교수님, 김명식 교수님, 정진호 교수님, 김수용 교수님, 이환우 교수님, 정두희 교수님, 국승규 교수님께 진심으로 존경과 깊은 감사를 드립니다.

또 대학원 생활동안 연구실에서 동고동락하며 이 논문이 완성되기까지 아낌없는 지원과 성원을 해준 정인주 박사님, 육승우, 조희호님에게 깊은 감사를 드리며, 항상 옆에서 조언을 아끼지 않았던 김문

수, 김선용, 김재호, 유정진 님에게 감사의 마음을 전함과 동시에 앞으로도 좋은 인연으로 계속 남기를 간절히 소망합니다.

또한 학교 생활에 지장이 없도록 여러 가지로 배려하고, 격려해주신 단장 유철민, 과장 장영목, 과장 백운학, 과장 박우영, 과장 조훈, 사원 박영익, 사원 이진희님에게 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 뒤늦게 공부하는 남편 뒷바라지하느라고 고생한 사랑하는 아내 한선영과 나의 사랑스런 공주님 박혜린, 왕자님 박민재와 아버지, 어머니, 장인어른, 장모님, 형님, 형수님, 누님, 매형, 동생들, 제수씨, 처남, 처남댁에게 이 결실을 바치고 싶습니다.

2004년 6월
박봉규 올림