

연세대학교 수공학연구실

허준행 (연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수)

1. 수공학연구실 개요

(1) 연혁

연세대학교 토목공학과는 1958년 12월 건설공학과가 신설되고 1960년 3월 토목, 건축, 기계전공의 첫 입학생이 입학하였으며, 1962년 12월 건설공학과가 토목공학과, 건축공학과, 기계공학과로 분리되면서 본격적인 토목공학과와의 위상을 정립하게 되었다. 1993년 3월 신설된 도시공학과와 토목공학과를 1996년 3월 사회환경시스템공학부로 통합하여 오늘에 이르고 있다.

토목공학과와 수공학 연구실은 1962년 1월 대학원 석사과정이 개설되었고 1973년 3월에는 대학원 박사과정이 개설되었으며 1963년 3월부터 이원환 교수가 부임하여 본격적인 수공학분야의 강의와 연구가 시작되었다. 1984년 3월 정연규교수가 부임하여 환경공학분야 강의를 시작하였으며, 1984년 9월 조원철교수가 부임하여 환경유체 및 해안·항만공학분야를 담당하게 되었다. 1993년 3월 도시공학과와 신설로 정연규교수는 도시공학과로 부임하였으며, 1994년 3월 허준행교수가 부임하여 수문 및 수자원공학분야

를 담당하고, 1997년 9월 최성욱교수가 부임하여 수리학분야를 담당하고 있다.

(2) 세부전공

연세대학교 수공학연구실의 세부 연구분야는 크게 수문 및 수자원공학, 수리학, 하천공학, 해안 및 항만공학, 지하수공학, 환경유체역학분야로 구분되며 세부적인 연구 내용은 표 1과 같다.

(3) 인적구성

1995년 2월에 정년퇴임하신 이원환 명예교수를 비롯하여 수공학연구실 현재의 교수진은 조원철 교수, 허준행교수, 최성욱교수로 구성되어 있으며, 대학원생은 박사과정 9인 (파트타임 5인), 연구조교 1인, 석

표 1. 수공학연구실 연구분야의 분류 및 세부연구과제

연구 분야	수문 및 수자원공학	수리학	하천공학	해안 및 항만공학	지하수공학	환경유체역학
연구 분야	Chaos & Fuzzy 강우자료해석 유출해석 도시수문 우수배제 수문관측 신뢰성분석 저수지운영 실시간제어 수문지형학 수문통계학 대표유역시험 한강유역의 강우 형태 분석 소유역분할유출 모형확립	하천수리 토사수리 환경수리 수리측정 수리실험 내배수시설의 수리 수공시설물 주변의 수리 한강하류부의 홍수 수리특성	하천환경 하천생태계 주운 유사 국부세굴 하천계획 하도망 특성 분류 제방 홍수제어 어도 하천수질 하구수리	해안수리 조석 CMS 모형 태풍구조해석 파동해석 해안환경 해안관측 항만계획 방파제 오염물확산 ACES 모형	지하수수리 물질이동 지역이동 가스이동 매개변수추정 지하수자원 관리 지하저장 시설의 수막 방파제 및 공극 압력 GIS 응용 지하수법 토양오염 지하저장탱크의 누유감지 대책	COMPACT 모형 도로터널 환기 지하주차장환기 지하철 환기 공기동력학 오염물질의 대 기중 확산 지하공간에서의 공기 동력학 지하공간의 환경 열수송관망 해석

표 2. 연세대학교 수공학연구실 석사 및 박사학위 배출현황

연도	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	'75	'76
석사	1					1	2		1		2
박사											
연도	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87
석사	2	2	2	1		4	1	6	1	3	
박사				1	1	1		1		1	4
연도	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	합계
석사	6	4	4	4	2	2	3	6	4	4	68
박사	1		2			1	2			2	17

표 3. 수공학 관련 학부 및 대학원 교과목

학 부			대 학 원		
전공	학년	개설 과 목	전공	석사 과정 과 목	박사 과정 과 목
토 목 전 공	2학년	유체정역학 및 실습 유체동역학 및 실습	토 목 공 학 전	수문통계학 도시수문학 개수로수리학 동수역학 수리모형학 수문해석 및 합성 수문기상학 수공구조물의 설계	수자원계획학 추계학적 수문학 해안수리학 경계층 및 난류이론 유사론 수공학의 특수문제
	3학년	수리학 및 실험 수문학		지하수 수리수치해석 파동역학	하천공학특론 수질수리학
	4학년	수자원공학 해안·항만공학 하천공학 사회환경시스템설계			
도 시 전 공	2학년	환경위생공학 대기오염공학개론	도 시 공 학 전 공	상수도정수 및 설계 하수처리 및 설계 환경생물공학 배기가스 처리공학 입자상 오염물질처리	산업폐수처리 작업장 환기공학 물리화학적 수처리공학
	3학년	하수처리공학 수처리공학 및 실험 수질수리학			
	4학년	배기가스처리공학 폐기물처리공학 및 실험			

사과정 12인으로 구성되어 있다.

(4) 학위배출현황

수공학연구실의 본 대학원 석사 및 박사학위배출은 1966년 2월 변근주교수의 석사학위와 1980년 2월 김재한교수의 박사학위를 시작으로 학위가 배출되었으며 현재까지의 석사 및 박사 배출현황은 표 2와 같다. 아울러 1972년 3월부터 시작된 산업대학원 토목 및 환경공해 전공에서는 한중옥교수의 석사학위를 시작으로 150여명의 석사학위를 배출하였다.

2. 교 육

현재 연세대학교 사회 환경시스템공학부 수공학 관련 학부 및 본 대학원 강의내용을 토목전공과 도시전공으로 분류하면 표 3과 같다. 참고로 학부과정은 사회환경시스템공학부내에 토목공학전공과 도시공학전공으로 분류되어 있으나 본 대학원의 경우에는 환경분야가 토목공학과 대학원에 속해 있다.

3. 연 구

(1) 수문 및 수자원공학 분야

수문학은 지구표면 및 내외부에 존재하는 물의 생성, 거동, 분포 및 부존 등에 관한 문제를 정성적 및 정량적으로 구명하는 자연과학의 한

분야로서 지역적 특수성이 매우 강한 분야이다. 물의 순환을 연구하는 다양한 세부 분야에 대하여 본 수공학연구실에서는 다음과 같은 분야에 지속적인 연구가 이루어져 왔으며, 그 결과로 국내외 많은 연구논문이 발표되었다. 현재까지 이룩된 연구성과와 진행중인 연구분야를 간단히 소개하면 다음과 같다.

- 강우해석 : 1960년대 초부터 이원환 명예교수를 중심으로 강우해석이 시작되었으며, 현재까지 다수의 논문이 발표되어 실무에 널리 사용되고 있다. 국내에서 처음으로 빈도개념을 도입하여 강우 빈도해석을 실시하였으며, 확률강우강도식을 전국 주요지점에 대하여 제시하였다. 통합확률강우강도식, 한국 대표확

를강우강도식 등으로 이어지면서 1994년 이후에는 보다 진보된 강우빈도해석 방법을 통한 확률강우강도식이 유도 제시되었다. 특히 강우자료는 국내에서 가장 많은 지점에 대하여 오랜기간에 걸친 자기우량자료를 보유하고 있으며 강우자료 해석에 지속적인 연구가 진행되고 있다.

• 도시유출해석 : 강우해석 결과를 기본자료로 하며, 유역 수문 지형자료를 입력자료로 사용하는 유출해석을 다양한 유출모형을 사용하여 실시하고, 그 적용성 검토에 관한 연구를 하고 있다. 도시유출 수문특성에 대하여 중점적으로 연구하고 있으며, 자체적으로 대표 시험유역을 선정하여 강우 유출자료를 수집하고 있으며, 축적된 자료를 이용하여 도시유출모형의 적용성에 대한 지속적인 연구가 진행되고 있다. 또한 다양한 모의실험을 통한 민감도 분석을 실시하여 도시유출모형의 매개변수를 효율적으로 산정할 수 있도록 하였다. 1996년 6월부터 시행되고 있는 재해영향평가제도에서 개발사업으로 인한 유출증가분의 저감대책에 관한 세부연구도 진행중에 있다.

• 불확실성/위험도 해석 : 자료의 구축과 모형의 적용 등에 있어서 수반되는 불확실성의 요소에 대하여 해석하고 있으며, 하수관망 해석과 댐, 펌프장에서 위험도 분석을 실시하고 있다. 특히 자료와 확률분포형적용으로 인한 불확실성을 고려한 안전계수 개념을 도입하여 실제 설계수량 결정에 관한 연구가 진행중이며, 기존의 설계수량에 대한 신뢰한계의 개념에서 벗어나 수공구조물이 건설된 후 여러 가지 인위적 또는 수문학적 사상의 변화로 인하여 실질적으로 발생하게 되는 설계수량의 위험도 분석에 관한 새로운 개념의 연구도 진행중에 있으며, 이에 관한 다수의 논문이 국·내외 학회에 발표되었다.

• 시스템 운영해석 : 펌프장 가동의 최적화를 위하여 Fuzzy 시스템을 도입하였으며, 최근에 수력발전소 최적운영을 위한 의사지원 시스템(decision support system)을 개발하고 있다. 향후 한강수계내 댐군의 최적 연계운영 체계를 구축하는 연구를 준비중에 있다.

• 홍수빈도해석 : 주요 유역출구점의 홍수자료들

구축하여 최근 빈도해석에서 많이 사용되고 있는 다양한 확률분포형을 이용한 지점빈도해석을 실시하여 보다 정확한 수공구조물의 설계홍수량을 제시하였으며, 자료기간이 짧은 지점에서 빈도해석의 정확성을 높이기 위하여 최근에 제안된 역사적 홍수정보(historical flood information)를 이용한 홍수빈도해석에 관한 연구도 수행하였다. 현재 지역 홍수빈도해석을 위하여 동일 유역별로 홍수자료를 수집, 정리하고 있으며 이와 더불어 지수홍수법(index flood method)을 이용한 지역 홍수빈도해석을 위한 이론적인 식 유도 및 프로그램 개발과 적용성 검토에 대한 연구에 주력하고 있으며, Scale개념을 이용한 지역 홍수빈도해석에 관한 연구도 추진중에 있다.

• 가뭄해석 : 이상 기후의 확산과 한발로 인하여 가뭄현상이 최근에 심각한 문제로 대두되고 있으며, 이에 대한 합리적인 대처방안으로 가뭄해석을 실시하였다. 전국 주요지점에 대하여 저유량 자료를 구축하여 빈도해석을 실시하였으며, 낙동강 유역에 대하여 다변량 추계학적 모형을 적용하여 가뭄해석을 실시하였다. 현재 다른 유역을 대상으로 연구중에 있으며, 갈수량의 정의를 실무에 적합하게 적용하여 하천 유지유량 산정을 위한 연구를 진행중에 있다.

현재까지 다양한 분야에 대하여 수문학적 연구를 진행하여 왔으며, 향후 한강수계 전체에 대하여 강우에서 시작하여 유출, 위험도, 댐군의 최적운영, 가뭄해석, 홍수해석 등을 전체적으로 연계하는 중·장기 연구사업을 계획, 진행중에 있다.

(2) 수리학분야

불규칙한 경계지형을 효과적으로 묘사하는 곡선좌표계의 장점을 고려하고 바닥지형이 복잡한 대상영역에서 큰 계산시간간격을 사용할 경우에도 수치적 안정성을 갖는 완전음해법에 고속화 수치기법의 일종인 다중격자법을 결합하여 수치해석의 안정성과 효율성을 높인 2차원 흐름모형을 개발하여 북한강 상류에 대한 관측치 및 수리모형실험 결과와 비교분석하였다. 자연하천에서 홍수와 전파에 따른 하천의 동적반응을

예측하기 위한 연구로서 홍수파 해석 및 홍수파에 의한 하상고 변동, 횡단면 형상변동 및 하상구성토사의 입도분포 변화를 모의할 수 있는 수치모형을 개발하였으며, 현재 확률밀도함수, 엔트로피 개념, 곡선좌표에서의 기하학적 기법을 이용하여 유도한 자연하도에서의 속도분포를 고려한 준2차원 하상변동모형에 대해서 연구중이다. 추계학적 상태·공간 형태의 Muskingum-Cunge 모형을 실제하천에 적용 가능하도록 개선, 발전시키고, 한강하류부 구간에 적용하여 주요 홍수사상에 대한 모형의 여러 선택사항에 따른 결과를 분석하였다.

한편, 최근 실시한 학술용역에 대해서 기술하면 다음과 같다.

- 팔당댐 방류량산정법 개선에 관한 연구 : 팔당댐으로부터 방류되는 각종 방류량을 신속하고도 정확하게 파악할 수 있는 산정기법과 관련도표를 작성 제시하여 팔당댐 수문조작기준과 한강하류부의 유관기관에 정확한 방류량자료를 통보해 줄 수 있는 연구성과를 개발 제시하기 위해서, 방류량 산정을 위한 수리모형실험을 실시하였다. 모형실험은 지정된 홍수량에 대하여 수문개방도별 방류량과 하류부 유황변화를 고려하여 기존의 방류량산정식을 검토하고 새로운 하상저하등 여건변동에 따른 수문조작기준 설정과 신방류량산정 기법과 댐하류부 및 고안지점의 수위와 유량과의 관계곡선을 새로이 도출하였다.

- 자라섬 보존방안 수리모형 실험 : 북한강하도내의 자라섬을 영구보존하기 위하여 자라섬 상류인 북한강과 가평천으로부터 유입되는 홍수 규모별 수리현상을 컴퓨터모형 RMA-2V를 이용한 수치모형실험과 수리모형실험을 통하여 밝히고, 자라섬의 영구 보존 대책안에 따른 남이섬 및 가평읍 하천 주변에 미치는 수리학적 영향 즉, 하상변동 및 유황변화를 구명하고 이에 대한 대책을 제시하기 위해서, 고정상 수리모형실험을 실시하여 수위, 유속, 유황 및 유황을 분석하는 한편, 이동상 수리모형실험을 토대로 자라섬 상·하류 구간의 하상변동 상태 즉, 세굴, 침식 및 퇴적지역의 발생여부를 분석하였다.

- 정릉천 복개구간 수공시설물의 통수능 분석 : 준

용하천인 정릉천 중·상류부의 약 2.5km에 이르는 복개구간에 대하여 수공시설물에 관련된 기존의 수리·수문학적 문제점을 기존 자료 및 현장 실측자료를 토대로 강우유출해석 및 2차원 흐름모형에 의한 수리특성을 분석하여, 정릉천을 따라 건설되는 서울시 북부도시고속도로의 교각에 의한 복개구간의 흐름변화와 이에 대한 복개구조물의 통수능을 분석하고 기수립된 계획과의 비교·검토를 통하여 도시고속도로 건설공사의 적절한 방향을 수립 및 홍수시 방재 기능을 극대화할 수 있는 대책을 수립하였다.

(3) 하천공학분야

하천의 정상적인 기능 유지에 필요한 주요 용도별 필요유량 결정 방법, 구간 및 대표지점에 대한 하천유지유량과 하천관리유량의 결정 방법을 개발하여 금강유역 본류 구간에 적용하여 용도별 필요유량, 5개 구간 및 대표지점에 대한 하천유지유량과 하천관리유량을 산정하였으며, 청평댐과 의암댐사이 구간에 존재하는 자라섬의 보존방안 연구를 위한 이동상 수리모형실험을 실시하여 자라섬 보존시설 설치에 따른 자라섬 상·하류 구간의 하상변동 상태 즉, 세굴, 침식 및 퇴적지역의 발생여부를 분석하였다. 또한 하천환경분야에서는 계절성 및 결측자료를 포함하는 수질 시계열 자료의 추이분석을 위한 비매개변수 검정기법 및 변화량 추정기법을 한강 수계의 8개 수질항목에 적용하여 각 수질항목별 변동 특성, 수질자료사이의 상관성 및 최근 10년간의 변화양상을 분석하였으며, 한강과 같이 하폭이 큰 하천의 하류부에 2차원 유한요소모형인 RMA-2V 모형과 동적수질 예측이 가능한 RMA-4 모형을 적용하여 하천의 수리학적 특성에 따른 오염물질의 거동특성을 분석하였다.

(4) 해안 및 항만공학분야

조석수위에 인접한 사각형 박지의 순환특성을 박지형상, 박지입구의 위치 및 크기 그리고 흐름특성인자 등에 따라 구명하기 위하여 천수방정식으로부터 유도되는 와도전달방정식과 흐름함수방정식을 지배방정식으로 하는 유한해석모형(Finite Analytic Method)을

개발하였다. 이 모형을 이용한 여러 가지 수치실험을 통하여 입구형태에 따른 박지내 무차원 유속의 평균값을 결정하는 회귀식과 무차원 유속의 최대값을 제시할 수 있는 회귀식을 결정하였다. 장주기파에 의한 항 또는 만내에서의 반응을 예측하기 위하여 비선형 편미분방정식으로 표현되는 2차원 부정류의 운동방정식과 연속방정식을 음해형 유한차분법에 의하여 해석하는 수학적 모형에 관한 연구를 수행하였으며, 저면 마찰저항, 바람, Coriolis 항 등의 영향 및 이류항, 입사파항, 방사현상 등의 영향을 고려한 수치모형을 개발하였다. 입사파항과 항의 형태, 반사경계조건, Courant 수, Chezy 계수 등 항내 반응특성과 계산결과에 영향을 미치는 인자들에 대한 영향을 검토하였다.

(5) 지하수공학분야

지하다공매질내의 지하수 흐름, 열 및 용질이동을 모의할 수 있는 3차원 모형인 HST-3D모형을 이용한 난지도 매립지의 흐름 및 오염물질의 이동해석을 수행하였다. 모형의 적용결과 지하수의 흐름은 제1매립지와 제2매립지를 중심으로 방사상으로 진행되고 있으며, 한강으로 다량이 유출되고 있는 것으로 나타나 지속적인 기반암의 오염과 한강의 오염이 발생할 것으로 예측되었다. 이에 따라 더 이상의 오염방지를 위해 차수벽 등의 설치를 제안하였고, 수평 및 연직방향으로의 흐름 및 용질의 변화양상을 3차원적으로 모의하였다.

최근 터널굴착 등의 지하공간개발이 활발해짐에 따라 지하수로 인한 공학적인 문제점들이 나타나 이에 관한 방안중의 하나로 터널주위의 지하수 흐름해석을 수행하였으며, 비균질, 이방성 지반을 고려한 유입량의 변화양상을 모의하였고, 해석의 도구로서의 수치모형을 개발하였다. 이와 함께 대규모 유류저장시설인 지하공동에서 수압을 이용한 저장시 지하수의 거동을 모의할 수 있는 유한요소모형을 개발하였으며, 불규칙한 형상의 복수공동에서의 흐름해석을 종단면, 횡단면에 대해 실시하였다. 인공수막의 설치에 따라 유류의 기밀성을 보장하는 여러 가지 수리학적 인자

에 대하여 고찰하였으며, 이론적인 식과 수치모형과의 결과를 상호 비교하여, 기존의 기밀조건식의 타당성을 입증하였다.

지하수 흐름해석에 있어서 매우 중요한 부분인 수리지질학적 매개변수의 역산기법에 관한 연구로서, 회귀분석을 이용하여 매개변수를 추정하고 이를 통계학적으로 검토하였다. Theis식을 이용한 회귀모형을 개발하였고, 도해법과의 비교를 통해 그 효용성을 확인하였고 일치법의 복잡한 절차를 거치지 않고도 정확한 추정을 가능케 하였다. 수치모형을 이용한 역산기법의 연구가 진행중이며, 수정된 Gauss-Newton기법과의 결합을 통해 수렴성과 정확성을 증대시킬 수 있음을 확인하였다.

유한요소법을 이용한 지하수 흐름 및 용질이동해석시 공간 및 시간이산화로 계산시간이 길어지며, 출력치로부터 원하는 부분의 결과치를 얻기까지 다소 불편함이 따르게 된다. 이를 극복할 수 있는 대안으로 공간의 이산화가 이루어진 후에 시간에 대해서는 정확해의 개념으로 직접해를 구할 수 있는 방안을 제시하였다. 이때는 지수부에 행렬로 표현되는 계산상 아주 복잡한 형태의 결과를 구할 수 있으나 고유치기법(eigenvalue technique)을 이용할 경우 계산상 엄청난 효율을 보이며, 시간이산화의 문제를 극복하므로써, 계산시간을 크게 줄일 수 있으며, 원하는 지점에서 원하는 시간에서의 계산값을 한 번의 계산으로 구할 수 있는 장점이 있다.

(6) 환경유체역학분야

환경유체역학의 한 분야인 도로터널환기분야에서는 도로터널의 증가와 터널을 이용하는 교통량의 증가로 인해서 심각하게 대두되는 터널내부에서의 공기질 문제뿐만 아니라, 터널에서 배출되는 오염된 공기로 인한 출·입구 부근에서의 공기질 문제를 다루고 있다. 특히 이 분야는 도로터널 공기질을 동적으로 분석하는 컴퓨터 모형 HT-AQM을 이용하는데, 이 프로그램은 터널에서의 정상상태의 공기동역학 방정식(연속방정식과 1차원 운동량 방정식)과 오염물질 이동방정식을 결합하여 해를 구하는 것으로 주어진 터

널의 기하학적 및 동역학적 설계조건, 교통량, 환기량(급기량 및 배기량) 및 터널외부의 바람, 공기오염도 등의 조건들에 대하여 터널내부의 공기속도, 압력(동압 및 정압), 및 오염물질을 계산할 수 있다. 또한 이러한 결과를 통해서 시행가능한 환기방식을 도출하고, 이렇게 도출된 각 환기방식들에 대한 경제성 분석 및 구조적인 분석을 한 후 최종적으로 채택될 환기방식에 기초한 터널내의 공기질관리계획(AQM)을 확립하였다.

1987년 남산의 터널들을 개수할 때와 서울의 도시고속도로 북부간선 2공구의 터널 설계에 이 모형을 적용하였으며 향후 연구과제로 지하주차장과 기타 닫힌 공간에서의 오염물질을 제어할 수 있는 최적 환기 시스템의 개발을 추진중에 있다. 또 지하철의 환기시스템을 분석하고 설계할 수 있는 SES (Subway Environmental System)이 거의 완성단계에 있다.

4. 시설

(1) 실험시설

본 수공학연구실은 2개의 연구실, 1개의 자료실과 실내 및 실외 수리실험실로 구성되어 있다. 2개의 연구실과 교수실의 컴퓨터는 학교 Main 컴퓨터뿐 아니라 각 개인 컴퓨터마다 LAN으로 Network화하여 사용하고 있다. 개수로 실험을 위한 실외 저수조 및 고수조가 있으며 부대시설로 2, 30, 50, 120마력 펌프

가 설치되어 있어 최대 430 l/sec 의 유량을 공급할 수 있다. 주요 실험장치로는 개수로 실험장치(실내제원 : 길이 12m, 폭 0.9m, 높이 0.6m / 실외제원 : 길이 32.6m, 폭 10.33m), 관수로 실험장치, 레이놀즈 실험장치, 부채안정장치, 유속측정장치(pitot관, propeller미속계, 현장유속계, 전자식유속계), 유량측정장치(각종 weir장치, 오리피스, 벤츨리미터), 초음파 수심측정장치, 지하수위측정장치, 침투류시험장치, 자동자료획득장치, 자기우량계, 하천측정용 열기구 및 측량용사진기(RolleiFlex 6006), 고무보트(30마력 외장 모터 포함) 등이 있다.

(2) 수공학자료

수공학 자료실에는 수문학, 수자원공학, 수리학, 하천공학, 해안 및 항만공학, 지하수공학 및 환경유체역학과 관련된 각종 서적과 보고서 및 본 대학원 석사 및 박사학위 논문과 산업대학원 학위논문집이 소장되어 있고, 수공학관련 국·내외 유명 학술지가 비치되어 있으며, 수공학 관련 관측자료로 우리나라 주요지점의 자기우량기록지를 포함한 다양한 자료가 비치되어 있다. 또한 수공학연구실에서는 1995년부터 매년 1년간의 연구업적 및 석·박사학위논문 초록, 연구보고서 초록을 포함하는 정기간행물을 발행하여 전국 대학 토목공학과 및 도서관으로 발송하고 있으며, 금년부터는 학위논문의 영문판을 제작하여 국내뿐 아니라 해외로도 발송할 계획이다. ●