

## 남강 상류유역의 하수도시설 확충으로 인한 하류 수계의 수질개선 효과 분석

주진걸<sup>1</sup>, 이정호<sup>1</sup>, 김종훈<sup>1\*</sup>, 김응석<sup>2</sup>

### Analysis of quality improvement effects by construction of sewer systems in Nam River Basin

Jin-Gul Joo<sup>1</sup>, Jung-Ho Lee<sup>1</sup>, Joong-Hoon Kim<sup>1\*</sup> and Eung-Seok Kim<sup>2</sup>

**요약** 남강 상류에 하수도 시설의 보급률을 현행 20.8%에서 65.2%로 향상시켰을 경우 남강과 덕천강 그리고 진양호의 수질 변화를 파악하기 위하여 QUAL2E 모형과 WASP 7 모형을 이용하여 목표연도인 2011년의 BOD, TN, TP의 농도를 모의하였다. 수질 예측시나리오는 3가지로 구분하였다. 1) 하수도 시설이 현재와 같을 경우, 2) 하수도 시설의 확충으로 BOD, TN, TP가 각각 사업 목표 저감량인 2350.5 kg/d, 216.0 kg/d, 44.0 kg/d 저감되었을 경우의 수질을 모의하였다. 또한 3) 남강과 진양호가 1급수가 되기 위해 저감해야 할 오염물 배출량을 모의하였다. 수질 모의 결과 남강 상류에서 하수도 보급률을 향상시켰을 경우 하천의 수질은 평균적으로 BOD 7.69%, TN 2.10%가 개선되는 것으로 나타났으며, 진양호의 수질은 BOD 10.25%, TN 1.37%, TP 2.94%가 개선되는 것으로 나타났다. 하지만 하수도 시설의 확충으로 남강과 진양호의 수질을 1급수로 유지할 수는 없는 것으로 모의되었다. 남강과 진양호를 1급수로 유지하기 위해서는 BOD의 배출량을 각각 27.2%, 37.05% 감소시켜야 하는 것으로 나타났다.

**Abstract** Effects of establishments of more sewer systems on water quality in Nam River, Deokchun River, and Jinyang Lake were analyzed for various scenarios using QUAL2E, WASP 7 water quality model. Three different scenarios were tested: 1) 20.8% of sewer diffusion rate which is same to the existing condition. 2) Expansion of sewer system to 65.2% which would emit less pollutants, BOD 2350.5 kg/d, TN 216.0 kg/d, TP 44.0 kg/d. 3) Pollutants emission to maintain first grade water quality in Nam River, Jinyang Lake, BOD and TN in the case 2 were 7.69%, 2.10% lower than those in the case 1 in the Nam River. And in the Jinyang Lake, BOD, TN, and TP in the case 2 were 10.25%, 1.37%, 2.94% lower than those in the case 1. However, the simulations showed that water quality could not hold down first grade water quality standard level with the establishments of more sewer systems. To satisfy the criteria in the Nam River and Jinyang Lake, BOD emission must be reduced 27.2%, 37.05% compared to those in the case 1.

**Key Words** : Nam River, Jinyang Lake, WASP 7, QUAL2E, Water Quality

### 1. 서론

하천의 수질을 개선하기 위한 노력으로 지난 수 십년간 많은 하수처리장 및 폐수처리장이 신설되거나 확장되었다. 하수도 보급률은 증가하였으며 처리되지 않은 오폐수의 하천 유입은 감소하였다. 이러한 성과들이 수질 개

본 연구는 환경부가 지원한 차세대핵심환경기술개발 사업에 의해 수행 되었습니다.

<sup>1</sup>고려대학교 공과대학 건축사회환경공학과

<sup>2</sup>선문대학교 공과대학 토목공학과

\*교신저자: 김종훈(jaykim@korea.ac.kr)

선에 미치는 영향에 대한 정량적인 평가가 필요하게 되었으며 SNSIM, MIT, WQRRS, QUAL1, WASP, CE-QUAL-RIV1, WQRRS, HEC-5 등의 모형을 이용하여 수체의 수질을 모의하고자 하는 연구들이 진행되었다[1]. 그 중 QUAL2E 모형은 하천의 수질을 모의하기 위하여 국내에서 가장 많이 사용되는 모형 중의 하나이며 그 실효성을 인정받고 있다[2]. 최형섭 등(1995)은 QUAL2E 모형을 이용하여 남강의 수질항목에 대한 반응계수의 민감도를 조사하였으며 오경두 등(1996)은 북한강에 QUAL2E 모형을 적용하여 수질을 모의하고 팔당 유입수

의 수질을 개선하기 위한 대안을 제안하였다. 채수권 등(2003)은 GIS를 사용하여 QUAL2E의 입력자료를 산정하였으며 서동일 등(2004)과 노준우 등(2006)도 하천의 수질을 모의하기 위하여 QUAL2E 모형을 사용하였다[3, 4, 5, 6, 7].

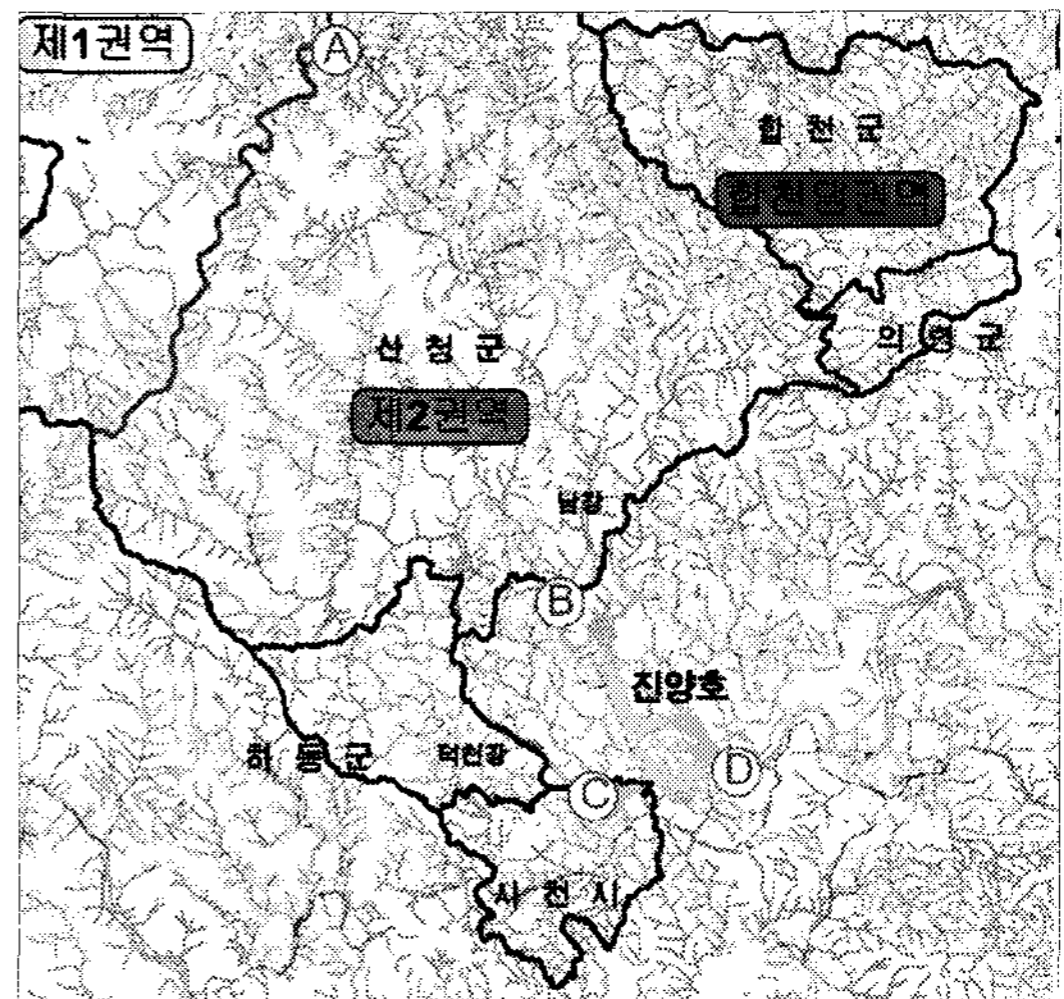
호수의 성층 현상 및 수질 변화 모의를 위해서는 WASP 모형이 많이 사용되었다. 신재기와 임창수(2000)가 WASP 모형을 이용하여 금강에서의 수질을 모의하였으며 이은형과 서동일(2002)이 용담댐 건설 후 대청호의 수질변화에 대하여 모의하였다[8, 9]. 또한 정팔진 등(2004)이 농촌의 소유역 저수지 수질을 모의하였으며 김진호 등(2007)이 미계측 유역에서 적용하기 위한 Modified-WASP 5 모형을 개발하였고 안승섭 등(2007)은 WASP 7 모형의 매개변수를 추정하는 연구를 하였다[10, 11, 12].

본 연구에서는 남강 상류유역에서 남강 및 덕천강으로 배출되는 오염부하량을 조사하였으며 남강 상류 하수도 시설 확충사업 시행으로 인한 오염물 배출저감이 남강, 덕천강과 진양호의 수질에 미치는 영향을 분석하였다. 남강 및 덕천강은 QUAL2E 모형을 사용하였으며 진양호는 WASP 7 모형을 이용하여 수질을 모의하였다. 이를 바탕으로 목표연도인 2011년에 남강, 덕천강 및 진양호가 1급수를 유지하기 위하여 저감해야 할 오염물 배출량을 산정하였다.

## 2. 연구대상 유역 현황

### 2.1 대상유역 일반현황

남강댐 유역은 경상남도 함양군, 산청군 전체와 의령군, 진주시, 사천시, 하동군, 합천군 일부지역 및 전라북도 남원시, 전라남도 구례군 일부지역 등 경상남도와 전라남·북도의 9개 시·군에 걸쳐있다. 주위에 지리산, 덕유산 등 높은 산맥이 위치하고 있으며 대체로 온난한 기후조건을 가지고 있다. 연강수량은 약 1,500 mm 내외이며 높은 산맥의 영향으로 지역적인 편차가 심한 편이다. 남강 전체의 유역면적은 3,466 km<sup>2</sup>이고 낙동강 합류점으로부터 80 km 상류지점에 남강댐이 위치하고 있다. 남강댐의 유역면적은 약 2,285 km<sup>2</sup>이며, 진양호의 면적은 28.2 km<sup>2</sup>이다. 남강댐 좌측으로 덕천강(450 km<sup>2</sup>)이, 우측으로 남강 본류(1,835 km<sup>2</sup>)가 댐 지점에서 합류한다. 남강댐부터 분수령까지의 유로장은 108 km이고 유역의 평균폭은 약 21 km, 형상계수는 0.19이다. 그림 1은 대상유역을 나타낸다.



[그림 1] 대상유역의 환경부 수질관측 지점

남강댐 상류 유역의 2004년 현재 하수도 보급률은 20.8%이며 목표연도인 2011년까지 보급률을 65.2%로 향상시킬 예정이다. 동 기간동안 하수처리 인구는 9,929명에서 28,463명으로 증가할 것으로 예상된다. 표 1은 하수도 시설 확충사업 전·후의 하수도 보급률 및 하수처리 인구를 나타낸다.

[표 1] 사업시행 전·후의 하수도 보급률

구 분	사업시행전(2004)			사업시행후(2011)		
	행정구역 인구	하수 처리인구	보급률 (%)	행정구역 인구	하수 처리인구	보급률 (%)
계	47,839	9,929	20.8	43,660	28,463	65.2
산청군	37,880	7,960	21.0	37,900	23,076	66.1
사천시	3,756	1,277	34.0	3,238	1,638	51.0
하동군	4,898	692	14.1	4,356	3,291	75.6
의령군	1,305	.	.	1,166	458	39.3

### 2.2 오염부하량 현황

경상남도에서 2003년 2월부터 2004년 2월까지 수행된 “경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획 수립 연구”에서 남강댐 수계의 연도별 오염부하량 현황 및 예측 자료를 획득하였으며 이를 표 2에 나타내었다[13].

[표 2] 년도별 배출부하량 (단위 : kg/day)

구분		2005년	2007년	2011년
BOD	점오염원	5,831.7	5,550.2	7,490.9
	비점오염원	13,586.2	13,899.2	14,369.3
	합계	19,417.9	19,452.4	21,860.2
TN	점오염원	2,294.6	2,220.3	2,328.9
	비점오염원	9,550.3	9,743.1	10,032.3
	합계	11,844.9	11,966.5	12,361.2
TP	점오염원	251.8	243.5	275.5
	비점오염원	887.4	915.0	956.4
	합계	1,139.2	1,159.5	1,231.9

2005년 현재 남강댐으로 유입되는 오염물 배출부하량은 BOD 19,419.9 kg/d, TN 11,844.9 kg/d, TP 1,139.2 kg/d이다. 이 중 하수도 시설을 확충하였을 때 배출이 저감되는 부분은 생활계 배출부하량이며 2005년 현재 BOD 2,530.1 kg/d, TN 876.9 kg/d, TP 96.7 kg/d가 배출되고 있다. 총 오염물 배출부하량에서 TN과 TP가 차지하는 비중에 비하여 생활계 오염물은 BOD가 차지하는 비중이 크다. 2011년까지 하수도 시설 확충으로 생활계 부하량 중 BOD, TN, TP가 각각 888.5 kg/d, 81.1 kg/d, 14.98 kg/d 저감될 것으로 예측된다.

### 2.3 수질현황

환경부 측정망 자료를 활용하여 사업유역의 2005년 현재 월별 수질현황을 조사하여 표 3에 나타내었다. 수질 측정지점은 그림 1의 A, B, C, D 지점이며 수질 항목으로는 BOD, TN, TP를 선택하였다.

[표 3] 대상유역의 수질현황(단위 : mg/l)

측정지점	항목	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
A	BOD	1.100	1.900	0.300	0.400	1.400	1.100	2.200	1.100	1.300	2.300	1.100	0.800
	TN	3.168	1.865	2.645	2.068	1.799	2.791	1.206	1.218	1.579	2.340	1.755	1.616
	TP	0.038	0.050	0.071	0.040	0.042	0.042	0.068	0.045	0.102	0.249	0.031	0.038
B	BOD	0.800	0.900	1.100	0.700	1.100	0.900	1.300	2.000	1.700	0.900	0.600	0.800
	TN	0.953	1.145	1.445	1.099	1.205	1.031	1.639	1.451	1.245	1.090	0.768	0.857
	TP	0.012	0.014	0.011	0.012	0.016	0.024	0.029	0.044	0.023	0.020	0.014	0.007
C	BOD	0.800	1.000	0.900	0.800	0.800	0.900	1.000	2.100	1.600	1.000	0.500	1.100
	TN	0.951	1.105	1.493	0.945	1.128	1.128	1.475	1.183	1.048	0.955	0.711	0.796
	TP	0.015	0.013	0.012	0.010	0.015	0.022	0.022	0.026	0.013	0.013	0.011	0.008
D	BOD	0.900	1.000	1.000	0.900	1.000	1.000	1.300	1.900	1.300	0.800	0.600	0.900
	TN	0.902	1.034	1.137	1.260	1.285	0.960	1.538	1.610	1.294	1.142	0.766	0.863
	TP	0.015	0.015	0.011	0.011	0.015	0.025	0.025	0.056	0.028	0.021	0.016	0.012

## 3. 하천 수질 모의 및 예측

### 3.1 QUAL2E 모형

하천에서의 수질을 모의하기 위하여 QUAL2E 모형을 사용하였다. QUAL2E 모형은 미국 EPA에서 QUAL-II 모형을 PC에서 사용가능하도록 만든 것으로 이전의 모형에 비해 조류와 용존산소와의 상호관계, 온도보정계수, 댐에 의한 하천수의 산소공급 및 비보존성 물질과 3가지의 보존성 물질, 입·출력 방법개량 등을 보완시킨 1차원 수질 예측 모형이다.

QUAL2E 모형을 구성하는 기본방정식은 1차원 이송 확산 물질 이동방정식 (1-dimensional advection - dispersion mass transport equation) 으로 식 1과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial(A_x \bar{U} C)}{\partial x} dx + A_x dx \frac{dC}{dt} \pm S \quad (1)$$

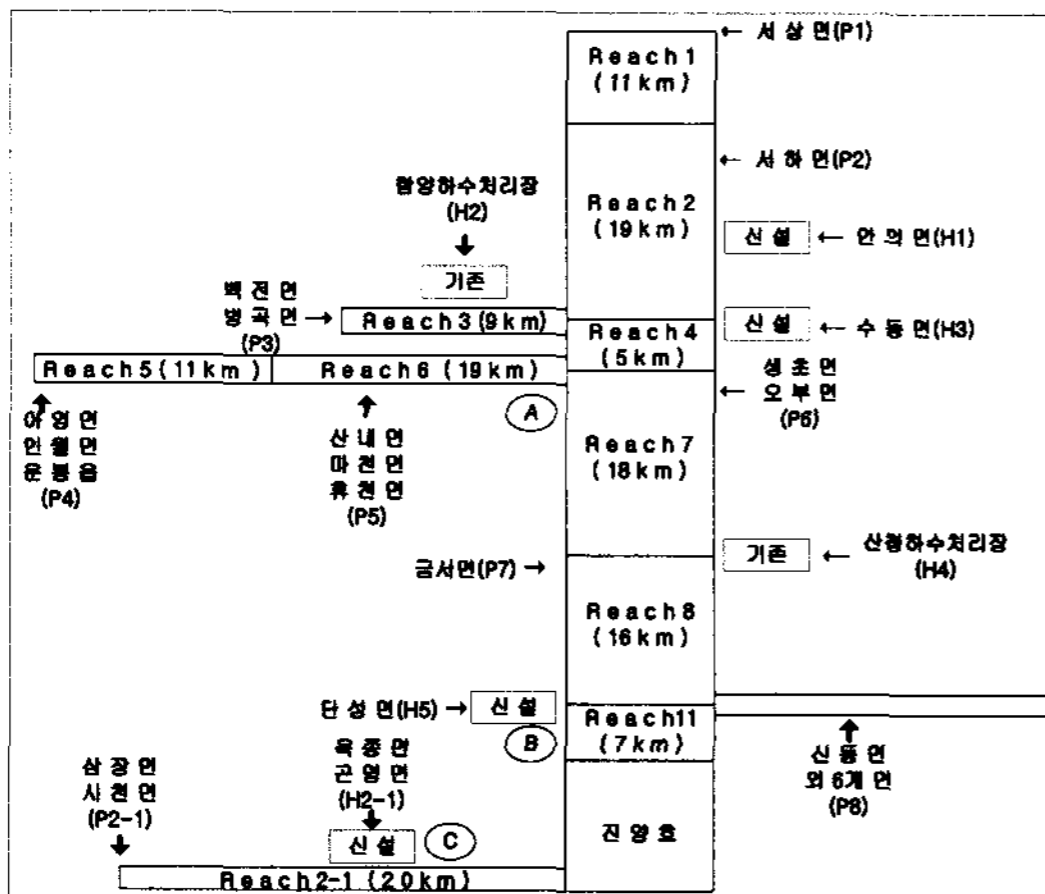
여기서, M은 물질의 질량, x는 종방향 거리, t는 시간, C는 농도, A<sub>x</sub>는 통수단면적, D<sub>L</sub>은 종방향 확산계수,  $\bar{U}$ 는 평균유속이고, S는 외부로부터의 부하량 유입·유출률을 나타낸다.

QUAL2E를 사용하기 위해서는 대상 하천의 수리자료, 각각의 엘리먼트의 상태, 지형 및 기후정보, 계수 및 수리학적 자료, 하천의 초기 상태에 관한 자료, 수원 및 점오염원 자료 등이 필요하다. 본 연구에서는 남강댐 상류 하

수도시설 확충사업 유량 및 수질조사 보고서 및 경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획의 자료를 바탕으로 모의를 실시하였다[13, 14]. 또한 하천의 형태, 지형, 기후 등의 자료는 건설교통부, 수자원공사에서 운영하는 웹사이트[15]를 통하여 자료를 획득하였다.

### 3.2 오염물 유입지점 모식도

QUAL2E의 실행을 위해서는 대상 하천을 각각 동일한 간격의 엘리먼트로 구성하여야 한다. 또한 각각의 reach는 20개의 엘리먼트를 갖는 등의 제약조건에 대해서도 고려해 주어야 한다. 이러한 제약조건을 고려하여 본 연구에서는 남강(대남천 상류~진양호 합류점, 79.8 km) 및 덕천강(평촌천 상류~진양호 합류점, 29.3 km)을 1 km 구간으로 구분하였고 하천의 시작 지점 및 오염물의 유입지점을 표시하였다. 그림 2는 남강과 덕천강의 오염물 및 유량 유입 지점에 관한 모식도이다.



[그림 2] 남강 및 덕천강의 QUAL2E 입력 모식도

### 3.3 구간별 수리계수 및 반응계수

물질수지를 계산하기 위해 통수단면적과 평균유속이 필요하며 수체의 체적과 재포기계수 등의 산정에 수심이 필요하다. 본 연구에서는 실측자료를 이용하여 각 지점별로 유속과 유량을 산정하고 동일 구간(reach)내에서 유량과 유속, 수심과의 관계를 회귀분석법에 의해 구하여 구간별로 구해진 회귀분석 계수를 입력함으로써 식 2로 수리학적 특성을 결정하였다.

$$\bar{U} = a Q^b \quad (2)$$

$$A_x = \frac{Q}{U}$$

$$d = \alpha Q^\beta$$

여기서, Q는 유량, d는 수심, a, b,  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 회귀분석법에 의해 구해진 유량계수이다.

본 연구에서 사용한 수리계수는 남강댐 상류 하수도시설 확충사업 유량 및 수질조사 보고서의 자료를 사용하여 산정하였으며, Manning의 조도계수 n 값은 자연하천 유역에서 권장되는 0.04를 사용하였다[14]. 적용된 구간별 수리계수는 표 4와 같다.

[표 4] 남강 및 덕천강의 수리계수

구분	a	b	$\alpha$	$\beta$	Manning n
Reach 1~2	0.122	0.488	0.725	0.219	0.04
Reach 3~6	0.197	0.475	0.726	0.199	0.04
Reach 7~8	0.142	0.381	0.140	0.484	0.04
Reach 9~10	0.027	0.540	0.647	0.295	0.04
Reach 11	0.142	0.381	0.140	0.484	0.04
Reach 12	0.107	0.435	0.206	0.952	0.04

반응계수는 하천의 수질 모의를 위한 가장 중요한 매개변수 가운데 하나로, 모의하고자 하는 변수들의 하천에 따른 변화를 해석하기 위해 필요하다. 모의에 사용한 반응계수는 경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획(경상남도 2005)을 바탕으로 하였으며, 실측자료와 비교하여 각각의 매개변수들을 수정하여 적절하다고 판단되는 매개변수를 산정하였다. 본 연구에서 사용한 매개변수는 표 5와 같다.

[표 5] 반응계수

반응계수	추정 결과	반응계수	추정 결과
K1(day-1)	0.08	$\sigma$ 3(mg/m <sup>2</sup> /day)	0.01
K2(day-1)	0.68~4.14	$\sigma$ 4(day-1)	0.005
K3(day-1)	-0.05	$\beta$ 4(day-1)	0.36
K4(mg/m <sup>2</sup> /day)	0.25	$\sigma$ 5(day-1)	0.01
$\beta$ 3(day-1)	0.02		

### 3.4 지점별 유입유량 및 오염부하량

지점별 유입유량 및 오염부하량은 경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획(경상남도, 2005)을 바탕으로 하였다. 목표연도인 2011년을 기준으로 사업 미시행시의 수질(Case I), 사업시행 시 수질 예측(Case II), 1급수 수질 기준(BOD<sub>5</sub> 1mg/l 이하)을 만족시키기 위한 오염물 삭감시의 수질 예측(Case III)에 관하여 모의하였다. 각 지점에서의 유입유량은 하천 기준유량을 면적 가중치를 사용하여 산정하였으며 유입 오염부하량은 유역의 면적별 발생 오염부하량 유탈율을 적용하여 산정하였다. 또한 하수관거 정비사업을 통하여 삭감되는 발생부하량은 유역의 신설 혹은 확충되는 처리 용량에 비례하여 삭감하였다. 산정된 지점별 유입유량 및 오염부하량은 표 6과 같다.

[표 6] 유입유량 및 오염부하량

지점	유입유량 (m <sup>3</sup> /s)	Case I			Case II			Case III		
		BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)
H1	0.388	1.06	2.71	0.07	0.98	2.69	0.07	0.82	2.07	0.05
P1	0.304	1.15	2.99	0.08	1.05	2.95	0.08	0.86	2.27	0.06
P2	0.417	2.16	4.55	0.14	1.72	4.38	0.13	1.47	3.43	0.10
H2	0.454	1.29	3.10	0.08	1.14	3.05	0.08	0.96	2.36	0.06
P3	0.603	3.61	7.32	0.50	3.58	7.30	0.50	3.02	5.76	0.39
P4	0.210	3.58	6.48	0.21	2.73	5.91	0.18	2.31	4.67	0.14
H3	0.595	0.07	0.02	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	1.182	0.67	1.95	0.05	0.61	1.92	0.05	0.51	1.48	0.04
P6	0.375	2.70	5.43	0.17	2.56	5.38	0.17	2.21	4.35	0.14
P7	0.912	2.15	2.64	0.09	2.11	2.64	0.09	0.84	2.15	0.07
H4	0.767	1.67	2.36	0.08	1.67	2.36	0.08	1.87	1.85	0.06
P8	1.142	1.49	1.92	0.07	1.45	1.92	0.07	1.26	1.55	0.05
P9	0.529	2.82	3.42	0.13	2.58	3.35	0.12	2.20	2.67	0.10
H2-1	1.770	1.40	3.12	0.08	1.29	3.09	0.08	1.07	2.46	0.06
P2-1	1.072	1.36	2.20	0.07	1.23	2.16	0.06	1.01	1.71	0.05

[표 7] Case 별 하천수질 모의 결과(단위 : mg/l)

구분	2005년	2011년			
		Case I	Case II	Case III	
A	BOD	1.14	1.29	1.16	0.97
	TN	2.28	2.74	2.68	2.21
	TP	0.13	0.14	0.14	0.11
B	BOD	1.14	1.24	1.15	0.89
	TN	2.38	2.56	2.52	2.04
	TP	0.14	0.15	0.15	0.13
C	BOD	1.15	1.24	1.17	0.95
	TN	0.87	0.90	0.87	0.84
	TP	0.08	0.08	0.08	0.07

3.5 모의 결과

남강 상류 유역의 하수관거 정비 사업으로 인한 하천 수질 모의결과 목표연도인 2011년 기준으로 사업시행 시 BOD, TN은 각각 평균 7.69%, 2.10%가 저감되는 것으로 나타났으며 TP는 저감되지 않는 것으로 나타났다. 또한 목표수질 상수원수 1급(BOD 1 mg/l이하)의 수질 기준을 만족하기 위해서는 비점오염원 배출부하량을 2011년 기준으로 BOD 3952.3 kg/d(16.4%), TN 2027.2

kg/d(16.3%), TP 202.0 kg/d(16.43%)를 추가로 감소 시켜야 하는 것으로 모의되었다. 표 7은 하천수질 모의 결과를 나타내며, 표 8은 하천 수질의 개선 효과를 나타낸 것이다.

4. 호소수 수질 모의 및 예측

4.1 WASP 7 모형

진양호에서의 수질을 모의하기 위하여 WASP 7 모형을 사용하였다. WASP 7 모형은 수질 및 수리학적 모의 모형으로 미국 EPA의 Great Lake Program의 일부로 1981년 처음 개발된 후, 수차례의 적용을 통한 결과분석을 바탕으로 수정과 보완을 거쳐 온 모형이다. WASP 7 모형은 호수 및 하천의 수질모의에 널리 이용되고 있는 것으로 국내외에서 이미 적용한 사례가 많을 뿐만 아니라 그 계산 능력의 우수성이 입증된 모형이다[12]. WASP 7 모형의 계산격자망은 여러 개의 segment로 구성되며, 수평방향과 수직방향의 배열을 통하여 2차원, 3차원 모

[표 8] 하천수질 개선 효과

구분	배출부하량						수질 개선					
	BOD		TN		TP		BOD		TN		TP	
	저감량 (kg/day)	저감율 (%)	저감량 (kg/day)	저감율 (%)	저감량 (kg/day)	저감율 (%)	저감량 (mg/l)	저감율 (%)	저감량 (mg/l)	저감율 (%)	저감량 (mg/l)	저감율 (%)
Case II	2350.5	10.8	216.0	1.8	44.0	3.6	0.097	7.69	0.043	2.10	0.000	0.00
Case III	5942.8	27.2	2243.2	18.1	246.0	20.0	0.320	25.46	0.370	17.90	0.020	16.22

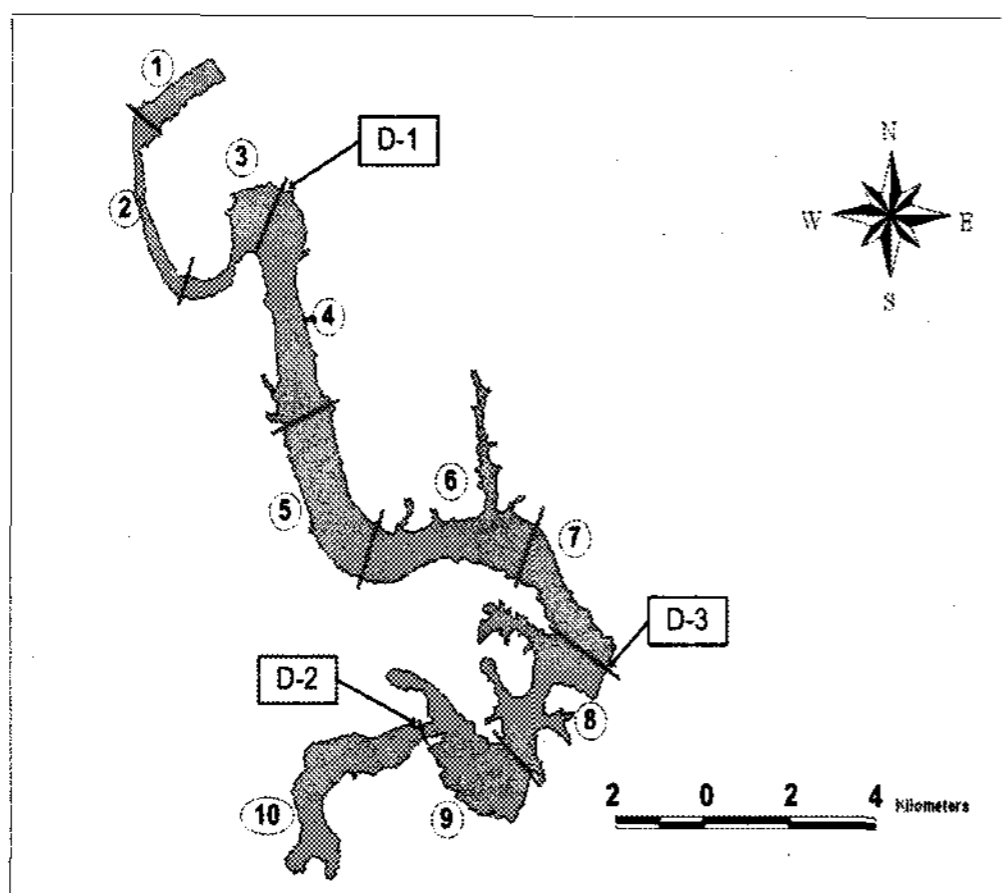
델로 확장할 수 있다. 이 모델의 지배방정식은 연속성과 물질수지 법칙이 이용되는 질량 보존 방정식으로 다음 식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) \\ & + S_L + S_B + S_K \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $C$ 는 분할된 구획의 수질성분 농도(mg/l),  $t$ 는 시간(day),  $S_L$ 는 외부로부터의 오염부하량(g/m<sup>3</sup>/day),  $S_K$ 는 동역학적 반응에 의한 내부 변화량(g/m<sup>3</sup>/day),  $U_x, U_y, U_z$ 는 각각 길이방향, 횡방향, 깊이방향에 대한 각각의 유속(m/day),  $E_x, E_y, E_z$ 는 각각 길이방향, 횡방향, 깊이방향의 확산속도(m<sup>2</sup>/day)를 나타낸다.

### 4.2 Segment의 구분

본 모의에서는 수질측정지점의 위치, 수체의 특성, 각 segment에서의 체류시간, 각 segment의 체적 등을 고려하여 진양호 표면을 그림 3과 같이 10개의 segment로 구분하였다. 또한 그림 3의 1번, 10번 segment를 제외한 모든 segment를 상층부와 하층부의 2개 segment로 구분하여 총 18개의 segment로 구분하여 모의를 시행하였다.

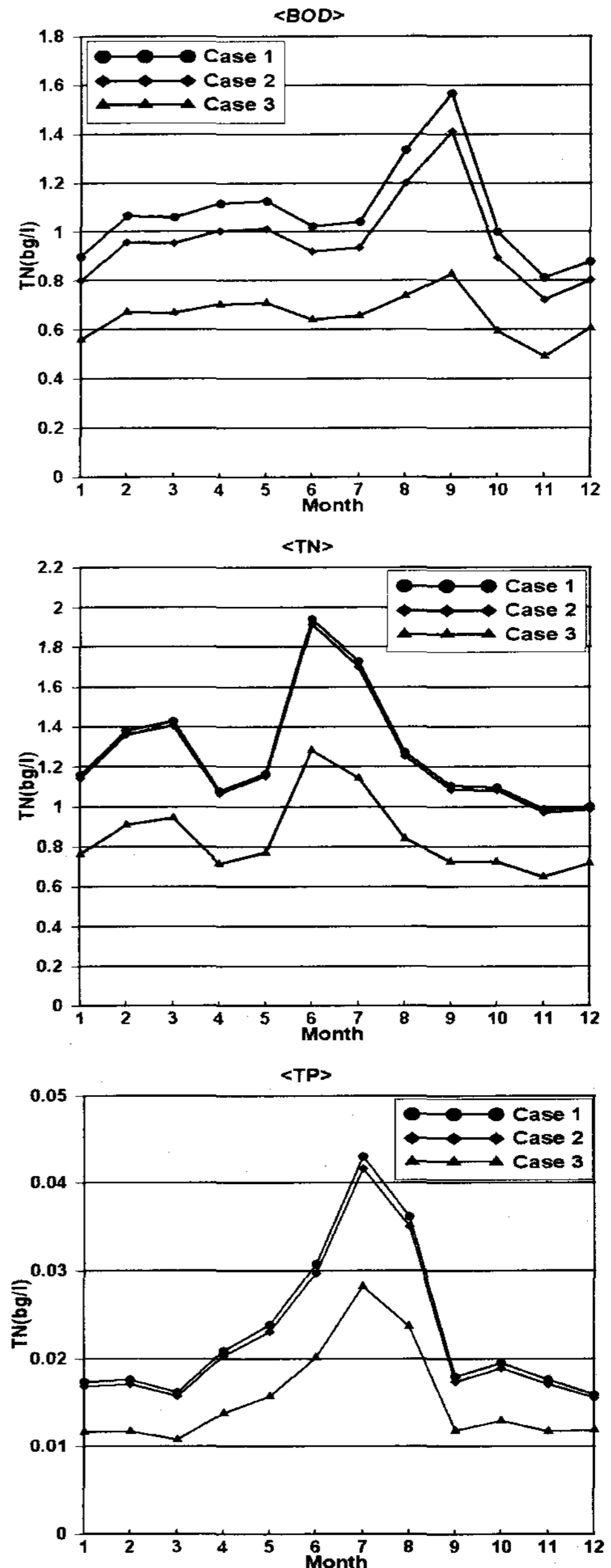


[그림 3] 진양호의 segment 구분과 수질모의 지점

또한 남강과 덕천강으로부터 진양호로 유입되는 유량을 산정하기 위하여 1976년부터 2005년까지의 관측값인 국가 수자원관리 정보시스템 [14]의 월별 평균유량을 사용하여 2006년~2011년까지의 남강과 덕천강의 월별유량을 계산하였다.

### 4.3 수질모의 결과

QUAL2E 모의와 마찬가지로 하수도 확충사업의 유무에 따른 진양호의 수질을 모의하여 비교하였다. 수질은 그림 3에서 볼 수 있듯이 남강 유입부와 인접한 D-1, 덕천강 유입부인 D-2, 댐 지점인 D-3 지점에서 비교하였다. 또한 1급수 수질 기준을 만족시키기 위한 오염물 삭감시의 수질에 관하여 모의하였다.



[그림 4] 진양호의 월별 수질 변화양상

진양호의 수질 모의결과 목표연도인 2011년 기준으로 사업 시행 시 BOD, TN, TP 는 각각 평균 10.25%, 1.37%, 2.94%가 저감되는 것으로 나타났다. 또한 목표수질 상수원수 1급(BOD 1 mg/l이하)의 수질 기준을 만족하기 위해서 2011년까지 BOD 8,098.2 kg/d(37.1%), TN 3,574.1 kg/d(28.9%), TP 436.5 kg/d(35.4%)를 추가로 감소 시켜야 하는 것으로 모의되었다. 표 9는 진양호의 수질 모의 결과를 나타낸 것이며, 그림 4는 D-3 지점에서의 월별 수질변화를 나타낸 것이다. 표 10은 각 지점의 평균 수질개선 효과를 나타낸다.

**【표 9】** 진양호 수질 모의 결과(단위 : mg/l)

구분	2005년	2011년			
		Case I	Case II	Case III	
D-1	BOD	1.093	1.168	1.048	0.701
	TN	1.329	1.328	1.308	0.881
	TP	0.025	0.025	0.024	0.016
D-2	BOD	0.802	0.856	0.770	0.660
	TN	1.188	1.179	1.166	0.802
	TP	0.019	0.018	0.018	0.017
D-3	BOD	1.007	1.070	0.959	0.549
	TN	1.219	1.213	1.195	0.782
	TP	0.025	0.025	0.024	0.012

### 5. 결론

본 연구에서는 남강 상류에 하수도 시설을 확충하여 하수도 보급률을 현행 20.8%에서 65.2%로 향상시켰을 때 남강, 덕천강 및 진양호의 수질 변화를 예측하고자 수질 모의를 실시하였다. 하수도 시설 확충사업 시행 후 BOD, TN, TP 배출부하량은 19,509.7 kg/d, 12,145.2 kg/d, 1,187.9 kg/d로 사업 미시행과 비교하여 각각 2,350.5 kg/d, 216.0 kg/d, 44.0 kg/d 저감되는 것으로 나타났다. 저감된 배출부하량으로 인한 수질 변화를 모의하기 위하여 하수도 확충사업을 하지 않았을 때의 수질(Case I)과 하수도 보급률을 65.2%로 향상시켰을 경우의 수질(Case II)을 각각 모의하여 비교하였다. 이 때 남강과 덕천강의

수질은 QUAL2E 모형을 사용하여 모의하였으며 진양호의 수질은 WASP 7 모형을 사용하여 모의하였다. 수질모의 결과 하천에서의 수질은 하수도 시설 확충공사로 인해 평균적으로 BOD 7.69%, TN 2.10%가 개선되는 것으로 나타났다. 또한 진양호에서의 수질은 평균적으로 BOD 10.25%, TN 1.37%, TP 2.94%가 개선되는 것으로 나타났다. 또한 남강의 수질을 1급수로 향상시키기 위해서(Case III)는 배출부하량을 Case I 대비 27.2%, 진양호의 수질을 1급수로 향상시키기 위해서는 Case I 대비 37.05% 저감시켜야 하는 것으로 나타났다.

결론적으로 남강 상류에 계획된 하수도 시설 확충 사업을 통하여 하류 수계의 수질을 향상시킬수는 있으나 목표연도인 2011년에 남강, 덕천강 및 진양호의 수질을 1급수로 유지할 수 없는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 남강 하류 수계의 수질을 1급수로 향상시키고자 할 경우 요구되는 오염물 배출부하량 저감량을 산정하여 향후 수질개선 사업 시 고려되어야 할 기준을 정량적으로 제시하였다.

### 참고문헌

- [1] 송교욱, “낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링”, 부산수산대학교 박사학위논문, 1992.
- [2] 한국건설기술연구원, “PC용 하천 수질관리 모델의 개발”, 1987.
- [3] 노준우, 김수전, 김정근, 고익환, “금강수계 오염총량관리를 고려한 저수지 방류량산정”, 한국수자원학회 논문집, 제39권 제7호, pp. 627~636, 2006.
- [4] 서동일, 이종현, 이은형, 고익환, “QUAL2E를 이용한 금강 하류의 수질 모델링 및 오차 원인 분석”, 대한환경공학회지, 제26권 제8호, pp. 933~940, 2004.
- [5] 오경두, 전병호, 이흥근, 백도현, “북한강 수역 수질관리를 위한 QUAL2E 모형의 적용”, 대한토목학회 논문집, 제16권 제2-3호, pp209~217, 1996.
- [6] 채수권, 민선홍, 김성태, 김건홍, “GIS기반의 QUAL2E 모형을 이용한 하천오염 평가”, 환경관리학회지, 제9권 제1호, pp115~125, 2003.

**【표 10】** 진양호 평균 수질개선 효과

구분	배출부하량						수질 개선					
	BOD		TN		TP		BOD		TN		TP	
	저감량(kg/day)	저감율(%)	저감량(kg/day)	저감율(%)	저감량(kg/day)	저감율(%)	저감량(mg/l)	저감율(%)	저감량(mg/l)	저감율(%)	저감량(mg/l)	저감율(%)
Case II	2350.5	10.8	216.0	1.8	44.0	3.57	0.106	10.25	0.017	1.37	0.001	2.94
Case III	8098.2	37.1	3574.1	28.9	436.5	35.4	0.395	38.27	0.418	33.74	0.008	33.82

- [7] 최형섭, 박태주, 허종수, “남강의 수질예측을 위한 QUAL2E 모델 적용”, 한국환경농학회지, 제14권 제1호, pp7~14, 1995.
- [8] 신재기, 임창수, “금강 중하류에서의 수질모의에 관한 연구”, 한국수자원학회논문집, 제33권 제2호, pp 145~157, 2000.
- [9] 이은형, 서동일, “용담댐의 영향분석을 위한 금강의 수질모델링”, 한국수자원학회논문집, 제35권 제5호, pp525~539, 2002.
- [10] 김진호, 신동석, 권순국, “미계측 유역관리를 위한 WASP5 모형의 개선 및 적용성 검토”, 한국농림기상학회지, 제9권 제1호, pp29~36, 2007.
- [11] 안승섭, 서명준, 박노삼, 정광옥, “수질예측을 위한 WASP7 모형 매개변수의 추정”, 한국환경과학회지, 제16권 제5호, pp625~632, 2007.
- [12] 정팔진, 고흥석, 현미희, 이은주, “WASP 5 & WASP builder을 이용한 농업용저수지 유역의 수질 관리”, 한국물환경학회지, 제20권 제5호, pp422~431, 2004
- [13] 경상남도, “경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획”, 2005.
- [14] 환경관리공단, “남강댐 상류 하수도시설 확충사업 유량 및 수질조사 보고서”, 2004.
- [15] 한국수자원관리 종합정보 홈페이지  
(<http://www.wamis.go.kr>)

**주진걸(Jin-Gul Joo)**

[정회원]



- 2003년 8월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2005년 8월 : 고려대학교 토목환경시스템공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 고려대학교 토목환경시스템공학과 (공학박사수료)

<관심분야>  
수공학, 비점오염원

**이정호(Jung-Ho Lee)**

[정회원]



- 2001년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 고려대학교 토목공학과 (공학박사수료)

<관심분야>  
수공학, 수자원시스템공학

**김중훈(Joong-Hoon Kim)**

[정회원]



- 1984년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 1986년 12월 : 미국 Virginia tech. (공학석사)
- 1992년 2월 : 미국 University of Texas at Austin (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학과 교수

<관심분야>  
수자원시스템공학, 도시수문학

**김응석(Eung-Seok Kim)**

[정회원]



- 1995년 2월 : 동국대학교 토목공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>  
수자원시스템, 상하수도시스템