

온천천 유지용수 공급에 따른 생태수문환경 변화분석

장 주 형 · 김 상 단 · 성 기 준 · 신 현 석*
국립수산과학원, *부경대학교 환경시스템공학부, **부산대학교 토목공학과
(2007년 5월 2일 접수; 2007년 8월 2일 채택)

Eco-Hydrologic Assessment of Maintenance Water Supply on Oncheon Stream

Ju-Hyoung Jang, Sangdan Kim*, Kijune Sung* and Hyun-Suk Shin**

National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

*Department of Environmental System Engineering, Pukyong National University, Busan 609-737, Korea

**Department of Civil Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Manuscript received 2 May, 2007; accepted 2 August, 2007)

The eco-hydrologic effects of maintenance water supply on Oncheon stream are studied using hydrologic, hydraulic and ecologic models. SWMM (Storm Water Management Model) is used for long-term simulation of runoff quantity and water quality from Oncheon stream watershed. Using the output hydrologic variables from SWMM, HEC-RAS (River Analysis System) is then used to simulate the hydraulics of water flow through Oncheon stream channels. Such hydrologic, hydraulic and water quality output variables from SWMM and HEC-RAS are served as input data to execute PHABSIM (Physical Habitat Simulation) for the purpose of predicting the micro-habitat conditions in rivers as a function of stream flow and the relative suitability of those conditions to aquatic life. It is observed from the PHABSIM results that the weighted usable area for target fishes has the maximum value at 2 m³/s of instream flow. However, mid and down stream areas that have concrete river bed and covered region are unsuitable for fish habitat regardless of instream flow increment. The simulation results indicate that the simple maintenance water supply is limited in its effect to improve the ecological environment in Oncheon stream. Therefore, it is imperative to improve water quality and to recover habitat conditions simultaneously.

Key Words : Eco-Hydrology, HEC-RAS, Oncheon Stream, PHABSIM, SWMM

1. 서 론

물은 우리 인류와 지구상의 생물이 공존하는데 있어 없어서는 안 될 가장 중요한 요소들 중 하나로서, 그 동안 생활·공업·농업·발전용수로 다양하게 이용되어 왔고, 동시에 자원 활용의 공간으로서 큰 역할을 담당하고 있다. 이러한 경제적 가치와 함께 하천은 하천생태계 고유공간뿐만 아니라 인간의 정서 함양 공간으로 인식되어 왔으며, 특히 전통적으로 인간과 가장 친밀하여 생태환경의 지표로서

인식되는 어류가 서식하는 공간으로서 가장 중요한 위상을 차지하고 있다¹⁾. 하지만 갈수기와 홍수기의 유량차이가 매우 심한 우리나라의 하천특성상 이러한 유량의 변화는 하천 생태계의 기능유지에 많은 영향을 주고 있으며²⁾ 특히 도시화의 진행으로 인한 불투수면적의 증가와 배수위주 정책으로 말미암아 하천의 유량이 갈수기에 급격히 감소하는 도시하천의 경우 하천생태계 기능유지를 위한 유지유량을 확보하는 것이 매우 중요한 문제이다³⁾. 일반적으로 하천의 유지유량은 갈수기의 수질을 대상으로 결정하였으나 최근에는 이외에도 생태계, 수상이용, 하천경관 등을 고려하는 방법들이 제시되고 있으며 특히 어류서식처를 고려하여 유지유량을 결정하는

Corresponding Author : Ju-Hyoung Jang, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea
Phone: +82-51-720-2965
E-mail: jangjhy@empal.com

방법들이 제시되고 있다⁴⁻⁶⁾.

어류는 고등 동물임과 동시에 먹이사슬의 상위에 위치하고, 광범위한 서식조건인 장단기 변동양상을 파악할 수 있는 지표종이며, 또한 친수활동이나 인간생활과의 관계에서 중요한 수생 생물로서 하천유량과 밀접한 관계가 있다. 특히 하천생태계에서 소비자인 어류는 서식공간의 수심과 유속 등에 대단히 민감하게 반응하기 때문에 적절한 유량을 보장해 주지 않으면 돌이킬 수 없는 타격을 받게 되기도 한다. 수생 무척추동물이나 기타 미소 동·식물은 어류 서식활동 및 하천의 시·공간 특성과 관계가 높기 때문에 어류에 주목하여 서식환경을 검토하면 하천생태계 서식환경을 간접적으로 고려할 수 있다⁷⁾. 하천생태계에서 어류를 보전하고 복원하기 위해서는 일반적으로 세 가지 기본적인 조건, 즉 좋은 수질, 충분한 수량, 그리고 서식을 위한 안정된 물리적 구조가 필요한데, 인위적으로 악화되는 하천의 수질을 개선하고 여울과 웅덩이가 반복되는 하도의 어류 서식처를 제공하기 위해서는 어류의 서식환경을 보호하고 유지하는데 필요한 적정유량으로 흐름영역을 확보하여야 한다⁸⁾.

부산광역시에서는 온천천 생태복원사업을 본격적으로 추진하여, 건강성을 잃은 온천천을 복원하고자 노력을 시도하고 있다. 사실 온천천 사업은 1) 하천변의 도시화로 인해 과거의 하천회랑을 하천으로 편입하는 것은 물리적으로 불가능하다는 것, 2) 지천 및 본류 유역의 대부분이 도시화됨으로 인하여 자연적인 유지유량 확보가 불가능하여 인위적으로 유량을 확보해야 하는 것, 3) 유역 자체가 합류식 배수구역으로 되어 있을 뿐만 아니라 하천주변에 매설된 차집관거의 용량이 턱없이 부족하여 작은 강우사상이 발생할 시에도 합류식 하수관거 월류수에 의해 하천수질이 매우 큰 영향을 받을 수밖에 없다는 것, 4) 생태하천으로서의 위상을 갖는 생물 서식처 복원을 위한 비전보다는 시민들의 친수 공간 또는 열린 공간에 대한 요구를 받아내기 위한 경관과 친수 위주의 각종 하천계획을 담은 공원하천으로서의 비전을 현재 지니고 있다는 것 등을 그 특징으로 가지고 있다. 이러한 온천천의 특징을 반영하여 부산광역시에서는 지난 2001년 『온천천 유지용수 확보사업 기본 및 실시설계 보고서』⁹⁾를 통하여 여러 가지 요소들 중에서 특히 경관, 동·식물의 보호, 수질보전과 같은 수변기능의 유지 및 회복이라는 관점에서 온천천의 하천관리유량 목표를 일일 5만톤 정도로 설정한 바 있다. 이에 따라 2005년 11월부터 낙동강 원수를 이용하여 온천천에 일일 2~5만톤의 하천유지용수를 공급하여 온천천의 하천생

태를 복원하기위한 사업을 추진하기에 이르렀다.

하천을 생태적으로 복원하기 위해서 가장 기본적인 두 가지 선결조건이 유량과 수질이라고 보았을 때, 이러한 낙동강 원수의 유입은 온천천이 하천으로서의 위상을 유지하는데 필요한 최소한의 말 그대로의 하천을 유지하는데 필요한 유량공급으로서의 의미를 지닐 수는 있다. 그러나 단순한 유지유량 공급만으로 온천천의 환경적·생태적 기능이 복원될 수 있을 것이라고 생각하기에는 많은 무리가 따르게 된다. 특히 온천천은 우기시 비점오염원의 유출이 가장 극심하다는 구 시가지지를 관통하여 흐르고 있으며, 온천천 배수구역의 경우 합류식 배수구역에 일반적으로 적용되는 차집관거 용량 대비 1/3 수준밖에 확보되어 있지 못하여 합류식 하수관거 월류수에 그대로 노출되어 있는 실정으로 생태복원을 논하기도 전에 하천 수질조건 확보라는 선결사항을 만족할 수 없는 상태에 놓여있다.

따라서 현재 온천천에 공급되고 있는 낙동강 원수의 유지용수가 가겨오게 될 여러 가지 수리·수문·수질·생태적인 의미를 통합적으로 고찰하기 위한 모형을 구축하고, 어류 서식조건 등에 대한 영향을 분석하여 최적 유지용수 공급량을 제시하고, 그에 따른 한계점과 선결과제를 도출하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 유역현황

온천천은 부산광역시에 위치하고 있는 수영강의 제1지류로서 수영강 하구로부터 약 3.1 km 상류지점에서 수영강 우안으로 유입하는 지방2급 하천으로 유역면적은 56.28 km² 유로연장은 14.85 km로서 수영강 전체 유역면적의 약 28% 정도를 점하고 있으며 유역의 형상은 협장한 수지상의 형태를 보이고 있다. 수치지형도의 표고점과 등고선으로 수치표고모형(DEM)을 생성하고 수문지형인자 추출법으로 Fig. 1과 같은 배수구역을 설정하였다.

2.2. SWMM 모형을 이용한 도시유출 및 수질모의

SWMM 모형¹⁰⁾은 도시유역에서 강우로 인해 발생하는 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에 대한 유출량 추적, 저류지 모의, 오염물질에 대한 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다. 소규모 배수유역에서 대규모 배수유역까지의 적용이 가능하고, 배수유역내 각종 수리시설물을 동시에 고려할 수 있고, 인위적인 배수체계를 가진 도시지역에서 소유역의 토지이용을 고려하여 다양한 오염물질의 농도를 예측하는데 용이한 장점이 있다.

또한, 합류식 하수처리구역의 경우 비강우시 지표면에 축적된 비점원 오염물질이 강우시 강우유출수

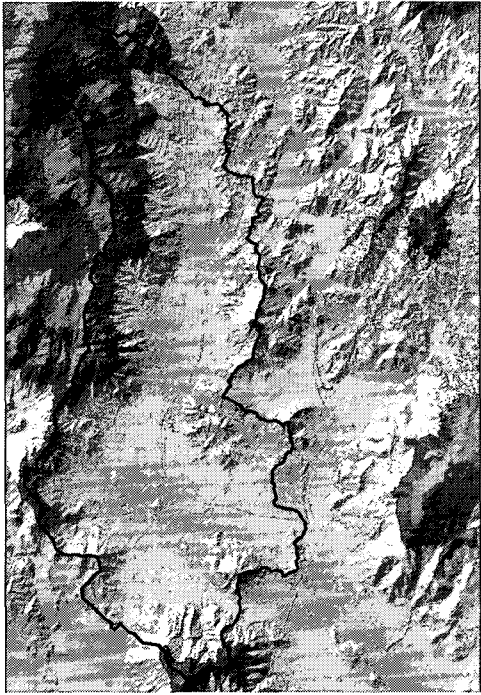


Fig. 1. Basin delineation from digital elevation model.

와 함께 유출되어 차집관거에서 하수처리장으로 유입되는 오수와 혼합되는데, 이 때 차집관거의 용량을 초과하는 경우에는 합류식 하수관거 월류수(Combined Sewer Overflows: CSOs)가 발생하여 하천 수질 악화의 주된 원인이 된다. SWMM은 다음과 같은 개념으로 이러한 현상을 재현할 수 있다. Fig. 2와 같이 합류식 하수관거를 통하여 각각의 Flow Divider로 유입된 유량(Q_i)은 차집관거의 최대용량($GEOM_1$)보다 적을 경우와 차집관거의 용량을 초과할 경우에 대하여 다음과 같은 방식으로 분배된다.

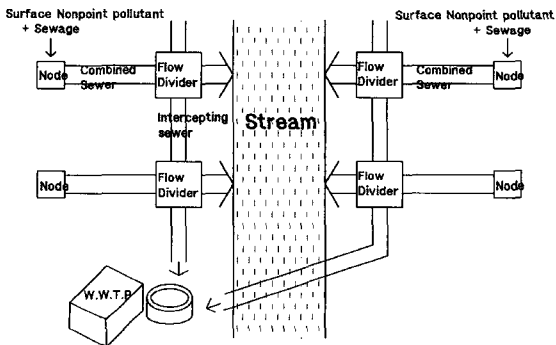


Fig. 2. Conceptualization of flow network for CSOs modeling in SWMM.

$$0 \leq Q_i \leq GEOM_1 ; \quad Q_{O1} = Q_i$$

$$Q_{O2} = 0.0 \quad (1)$$

$$GEOM_1 \leq Q_i ; \quad Q_{O1} = GEOM_1$$

$$Q_{O2} = Q_i - GEOM_1 \quad (2)$$

여기서, Q_a 은 차집관거를 통하여 하수처리장으로 유입되는 유량이며, Q_{O2} 는 하천으로 월류되는 유량을 나타낸다.

SWMM 모형의 구축을 위하여 유역특성자료는 GIS 자료를 이용하여 산출하였으며, 기상자료는 기상청 동래 AWS 1시간 단위 강우자료를 이용하였다. 모형 보정을 위한 유량-수질자료는 부산대학교에서 관측중인 온천천 세병교 지점에 설치한 10분 단위 수위의 유량환산자료와 수영하수종말처리장 유입량 자료, 2004년과 2005년 두 개의 강우사상에 대하여 1시간 간격으로 관측한 수질자료를 이용하였다.

SWMM 모형에 적용된 수계시스템은 Fig. 3과 같으며, 소유역, 도시하천 및 차집관거와 관련된 입력자료는 Table 1~Table 3에 나타내었다.

비점오염원에 의한 강우유출수의 오염물질 농도를 모의하기 위하여 수질오염총량관리기술지침¹¹⁾

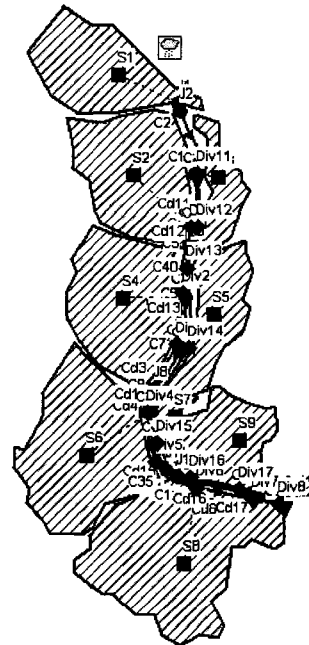


Fig. 3. Physical objects of SWMM used to model Oncheon drainage system.

Table 1. Characteristic data for subcatchments

ID	Inlet Node	Area (ha)	Impervious (%)	Width (m)	Slope (%)	Manning'N	CN
S1	J 1	572	8	2700	23.79	0.400	36
S2	Div 1	665	24	3200	22.26	0.270	52
S3	Div11	237	45	3200	14.98	0.210	61
S4	Div 2	887	38	3300	17.95	0.210	61
S5	Div14	461	57	3700	14.80	0.140	69
S6	Div 4	942	53	4000	15.43	0.140	69
S7	Div16	78	72	700	7.97	0.014	75
S8	Div 6	1164	72	4500	11.34	0.100	80
S9	Div16	502	77	2700	17.31	0.100	80

Table 2. Input data for main stream

ID	From Node	F.Node El. (m)	To Node	T.Node El. (m)	Shape	Length (m)	Width (m)	Depth (m)
C 1	J 1	68.00	J2	66.00	Trapezoidal	100	29	2.0
C 2	J 2	66.00	J3	38.00	Trapezoidal	1662	29	5.0
C 3	J 3	38.00	J4	24.00	Trapezoidal	1204	29	5.0
C 4	J 4	24.00	J5	20.00	Trapezoidal	609	29	5.0
C 5	J 5	20.00	J6	12.40	Trapezoidal	1084	29	5.0
C 6	J 6	12.40	J7	8.10	Trapezoidal	1281	29	5.0
C 7	J 7	8.10	J8	7.85	Trapezoidal	1425	40	5.0
C 8	J 8	7.85	J9	3.60	Trapezoidal	684	40	5.0
C 9	J 9	3.60	J10	3.00	Trapezoidal	423	50	5.0
C10	J10	3.00	J11	1.74	Trapezoidal	749	50	5.0
C11	J11	1.74	J12	1.47	Trapezoidal	618	70	5.0
C12	J12	1.47	J13	1.20	Trapezoidal	210	80	5.0
C13	J13	1.20	J14	1.00	Trapezoidal	836	80	5.0
C14	J14	1.00	Out1	0.50	Trapezoidal	1494	80	6.0

Table 3. Input data for interception sewer

ID	From Node	F.Node El. (m)	To Node	T.Node El. (m)	Shape	Length (m)	Width (m)	Depth (m)
Cd 1	Div 1	25.80	Div 2	15.40	Circular	1676	-	0.70
Cd 2	Div 2	15.40	Div 3	8.35	Circular	1277	-	0.80
Cd 3	Div 3	8.35	Div 4	3.87	Circular	1794	-	0.90
Cd 4	Div 4	3.87	Div 5	3.00	Circular	1270	-	1.35
Cd 5	Div 5	3.00	Div 6	1.88	Circular	1241	-	1.50
Cd 6	Div 6	1.88	Div 7	1.36	Circular	1297	-	2.00
Cd 7	Div 7	1.36	Div 8	0.70	Trapezoidal	641	-	2.00
Cd11	Div11	39.00	Div12	25.80	Circular	1449	2.0	0.80
Cd12	Div12	25.80	Div13	16.00	Circular	1053	-	0.90
Cd13	Div13	16.00	Div14	8.35	Circular	1930	-	1.10
Cd14	Div14	8.35	Div15	3.50	Circular	2537	-	1.20
Cd15	Div15	3.50	Div16	2.00	Circular	1343	-	1.35
Cd16	Div16	2.00	Div17	1.36	Circular	1524	-	1.50
Cd17	Div17	1.36	Div 8	0.70	Circular	628	-	1.65
Cd99	Div 8	0.70	Out2	0.50	Trapezoidal	287	4.0	2.00

Table 4. Input data for pollutants

	Build up				Wash off	
	Max. Buildup (kg/ha)		Buildup rate (kg/ha/day)		EMC (mg/L)	
	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural
BOD	4.380	0.047	0.859	0.0093	95.30	0.837
COD	6.100	0.066	1.220	0.0132	37.40	4.060
TN	2.060	0.110	0.137	0.0220	58.90	14.400
TP	0.155	0.007	0.021	0.0014	4.33	0.209
SS	9.400	0.630	1.880	0.1260	482.00	32.300

및 최와 신¹²⁾의 자료를 참조하여 모형의 보정을 통하여 오염물질의 축적(Build up)과 쓸림(Wash off)에 관한 매개변수를 추정하였다(Table 4).

SWMM 모형에 의해 모의된 온천천 유지용수 공급 시나리오별 유량결과는 이후 수리모형인 HEC-RAS 및 생태계 서식처 평가모형인 PHABSIM의 유량 입력자료로 사용하게 되며, 수질결과는 이후 생태계 서식처 평가시에 사용된다.

2.3. HEC-RAS모형을 이용한 온천천 수리특성모의 하천수리특성분석을 위해 본 연구에서는 HEC-RAS 모형¹³⁾을 이용하였다. HEC-RAS 모형은 자연하천이나 인공하천에서 1차원흐름이며 하도경사가 비교적 완만하다는 가정 하에 정상류 상태의 점변류 수면곡선을 계산하기 위해서 개발된 HEC-2 모형의 윈도우 버전으로, 최근에는 부정류까지 모의가 가능한 것으로 발전하고 있는 모형이다.

HEC-RAS에 입력되는 자료는 하천 단면의 표고-측점좌표, 주요지점별 유량, 교량 및 압거시설 등 하천 수리구조물이고 단면적, 유속, 횡단면, 종단면, 한계수심, 수심, 에너지 경사 등이 그 결과물로 산출되는데, 본 연구에서는 SWMM 모형을 통하여 모의된 다양한 유량 조건에 대하여 HEC-RAS 모형을 실행하게 되고, 그에 따른 분석 결과는 다시 생태계 서식처 평가 모의시에 하천수리특성 자료로서 이용된다. Fig. 4에 HEC-RAS의 전형적인 단면 입력형태로서 온천천 세병교 지점을 예로 도시하였다.

2.4. PHABSIM을 이용한 생태계 서식처 평가모의
PHABSIM(Physical Habitat Simulation System, USGS)¹⁴⁾은 하천의 수리, 수문, 저질 등 물리적 서식환경을 분석하여 대상 어종의 적합 유량을 산정하는 모형으로 대상어종의 서식처면적(가중된 가용면적)과 유량관계를 이용한다. 따라서 본 모형은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 대상하천의 단면, 유량, 대상어종의 서식처 적합도 지수 등 하천/어종 특성 입력 부분, 이를 이용하여 하천의 수위 및 유속을 계산하는 수리모의 부분과 다시 계산된 수위와 유속 및 기타 하천 환경을 이용하여 서식처 면적을 계

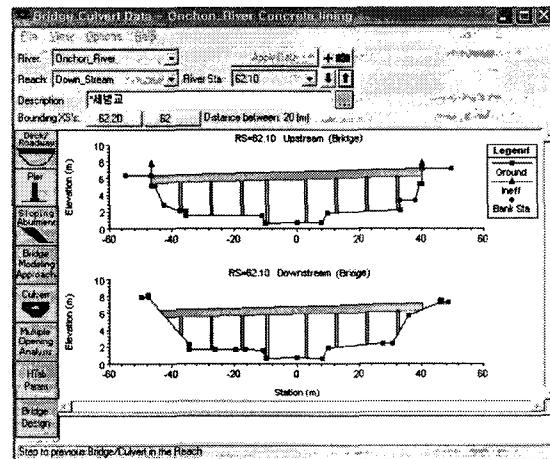


Fig. 4. Example of cross section data input in HEC-RAS.

산하는 서식처 모의 부분으로 구성되어 있다.

수리모의 부분에서는 입력된 자료를 이용하여 대상하천의 수위를 계산하게 되는데 크게 수위유량관계곡선을 이용하는 STGQ model, Manning의 방정식을 이용하는 MANSQ model 및 표준축차법을 이용하는 WSP model이 주로 사용된다. 가중된 서식처의 가용면적은 각 항목에 대한 적합한 지수의 조합과 각 셀의 표면적을 이용하여 계산하게 되는데 서식처 적합도 지수는 대상어종의 특성에 따라 0에서 1의 값을 가지게 된다.

모형구축을 위하여 필요한 프로그램의 입력자료로는 세 가지로 구분되는데 먼저 하천의 물리적 특성에 관련된 하천의 단면, 단면의 길이, 하류에서부터 상류구획으로 영향을 미치는 정도, 하도표현 변수, 조도계수, 에너지 경사, 수위, 하류하단으로부터의 누적거리 등이며 둘째, 어종에 대한 특성으로 어종별, 성장단계 및 서식적합도 등 대상 어종에 관한 자료, 마지막으로 대상하천의 유량자료이다. 본 연구에서는 HEC-RAS 모형을 통하여 획득된 수리 관련 1차원 자료와 하천단면, 수심, 기질 등 하천특성을 고려하여 유사 2차원 자료를 구축하고 유량변화

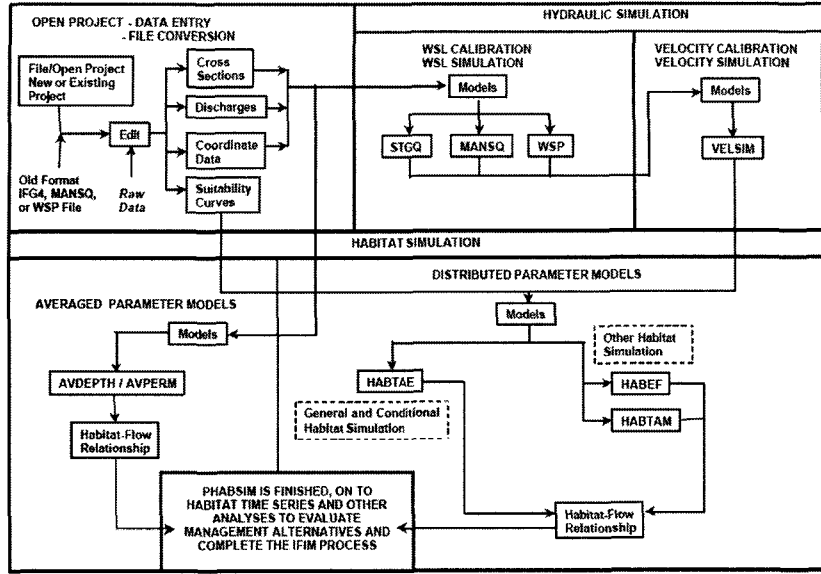


Fig. 5. Model structure of PHABSIM.

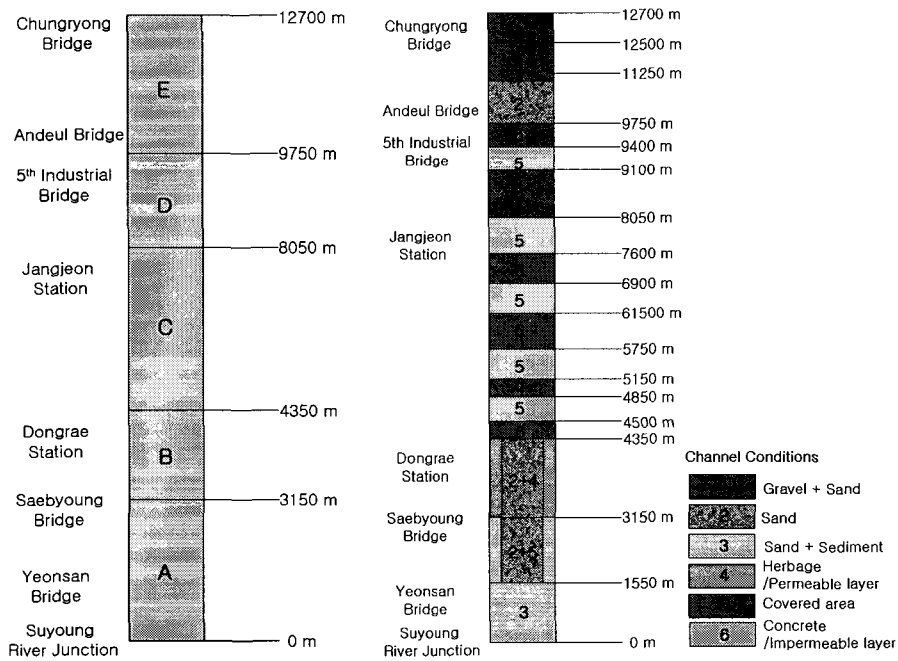


Fig. 6. Segmentation and channel conditions of Oncheon stream for PHABSIM model application.

에 따른 대상어종들의 적합 가능 서식처의 변화량을 평가함으로써 유지용수 공급으로 인한 온천천의 유량변화가 하천생태계에 미치는 영향을 살펴보았다. 모형 적용을 위해 사용된 유량자료는 SWMM의 모의결과가 이용되었으며, 하천 단면자료는 HEC-

RAS 모의 시의 자료와 같다. 모형을 적용하기 위하여 현재의 온천천 조건을 고려하여 하천유량이 비슷한 5개 지역으로 대상하천을 나누었으며, 하상조건, 복개유무, 콘크리트의 유무, 둔치이용현황 등을 고려하여 6가지 채널조건으로 구분하여 모형을 적

용하였다(Fig. 6). 대상어종으로 중류지역에는 붕어 (*Carassius auratus*), 납자루 (*Acheilognathus lanceolatus*), 송사리 (*Oryzias latipes*)를, 상류지역에는 버들치 (*Rhynchocypris oxycephalus*: Chinese minnow)를 대상으로 하였다^{9,15~17}). 다만, 본 연구에서는 현재의 하천의 물리적 서식조건에서 유지용수의 공급이 어류의 서식환경에 미치는 영향을 파악할 목적으로 온천천의 수질이 해당어종에 영향을 주지 않을 만큼 개선이 가능하다는 가정 하에서 수행되었다. 그러나, 어류의 서식환경에 있어 또 다른 중요한 요소로 수질조건이 고려되어야 한다는 것은 자명한 사실임을 아울러 밝혀둔다.¹⁸⁾

2.5. 온천천 유지용수 공급 시나리오

온천천 유지용수 공급에 따른 수문/수리/수질/생태에 미치는 영향을 분석하기 위하여 고려된 시나리오는 아래와 같다.

- 1) 무방류: 온천천 유지용수가 공급되지 않은 상태
- 2) 실방류: 온천천 유지용수가 현재와 같이 공급된 상태
즉, 주중의 경우에는 9:00~17:00에는 30,000톤/일 (=0.347 m³/s)을 공급하고, 그 외 시간대에는 20,000톤/일 (=0.231 m³/s)을 공급하며, 주말의 경우에는 50,000톤/일 (=0.579 m³/s)을 공급
- 3) 오만톤: 온천천 유지용수로 일일 50,000톤 (=0.579 m³/s)이 공급되는 경우
- 4) 십만톤: 온천천 유지용수로 일일 100,000톤 (=1.157 m³/s)이 공급되는 경우
- 5) 십오만톤: 온천천 유지용수로 일일 150,000톤 (=1.736 m³/s)이 공급되는 경우

3. 연구결과

3.1. 도시유출 및 수질모의결과

2004년 12월 4일 강우사상, 2005년 5월 5일 강우사상 및 2005년 9월 5일 강우사상에 대하여 온천천 세병교 지점을 대상으로 SWMM 모형의 매개변수를 추정하였으며, Fig. 7에 결과의 일부를 도시하였다.

시나리오별 모의 결과 월평균 유량 및 BOD, TP 등의 변동양상은 유량의 경우는 당연히 유지용수 공급량 규모가 커질수록 월평균 유량도 증가하였으며, BOD, TP 등 수질항목은 유지용수 공급량 규모가 커질수록 약간 개선되고 있는 것으로 나타났다(Fig. 8). 보다 상세한 모형의 실행 결과는 부산지역 환경기술개발센터(2006)의 자료¹⁸⁾를 참조할 수 있다.

본 연구에서는 구축된 SWMM을 이용하여 온천천 전체 유역의 합류식 하수관거 월류량 분석을 수행하였다. 2005년 1년간의 연속모의를 통하여 도출

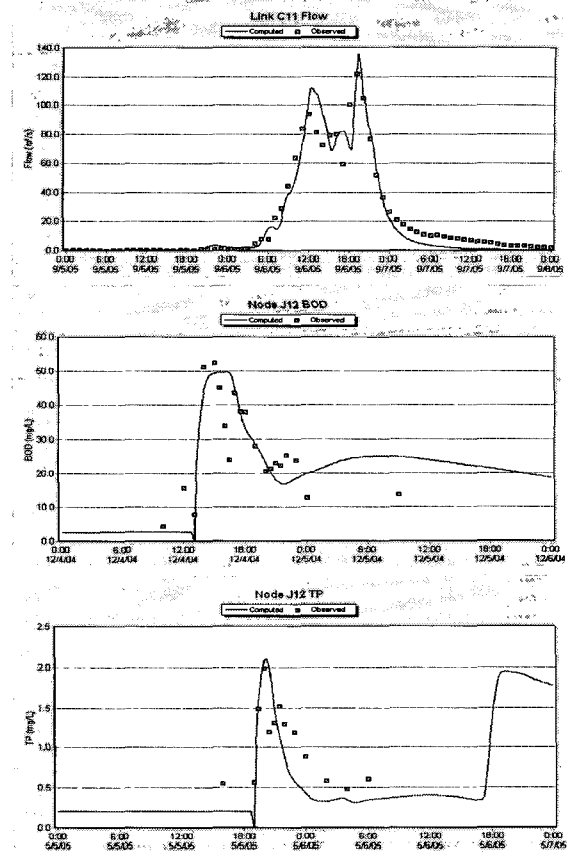


Fig. 7. Parameter estimation for SWMM-Oncheon stream.

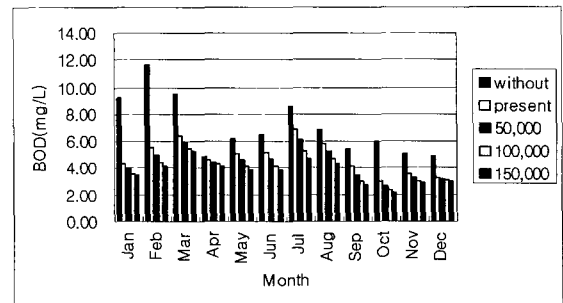


Fig. 8. Effect of maintenance water supply on water quality.

된 자료를 이용하여 강우량과 월류량의 관계, 강우량과 CSOs에 기인하는 BOD 부하량 그리고 강우량과 CSOs에 기인하는 TP 부하량을 Fig. 9에 도시하였다.

또한 하수의 영향을 고려한 2005년 1년간의 연속모의 결과와 하수의 영향을 배제한 연속모의 결과로부터 지표면의 비점원 오염부하량과 합류식 하수관

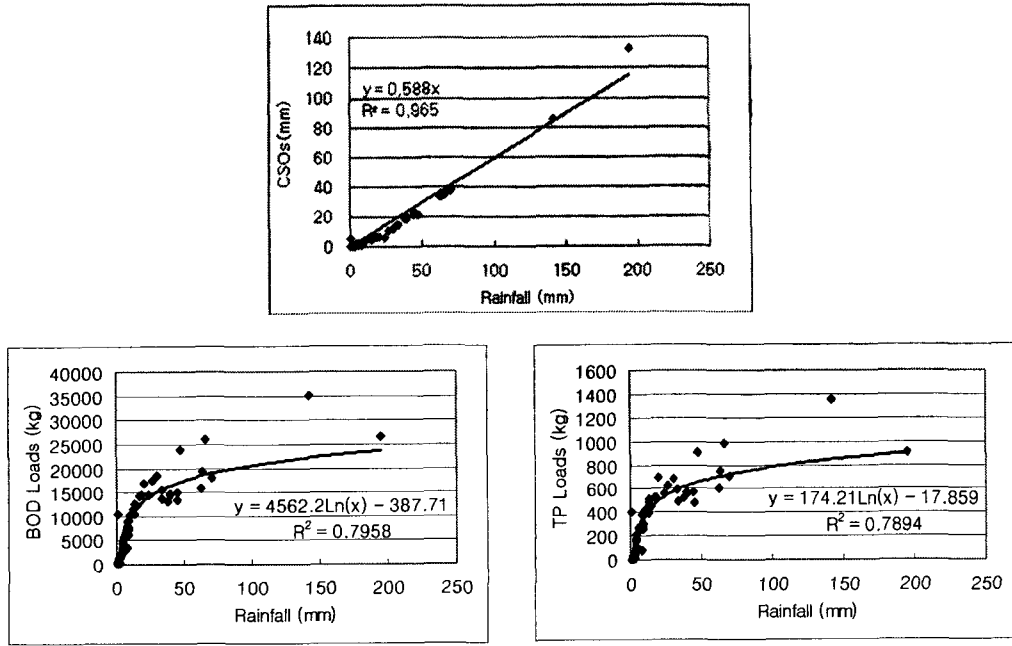


Fig. 9. Relations of Rainfall-CSOs, Rainfall-BOD loads and Rainfall-TP loads.

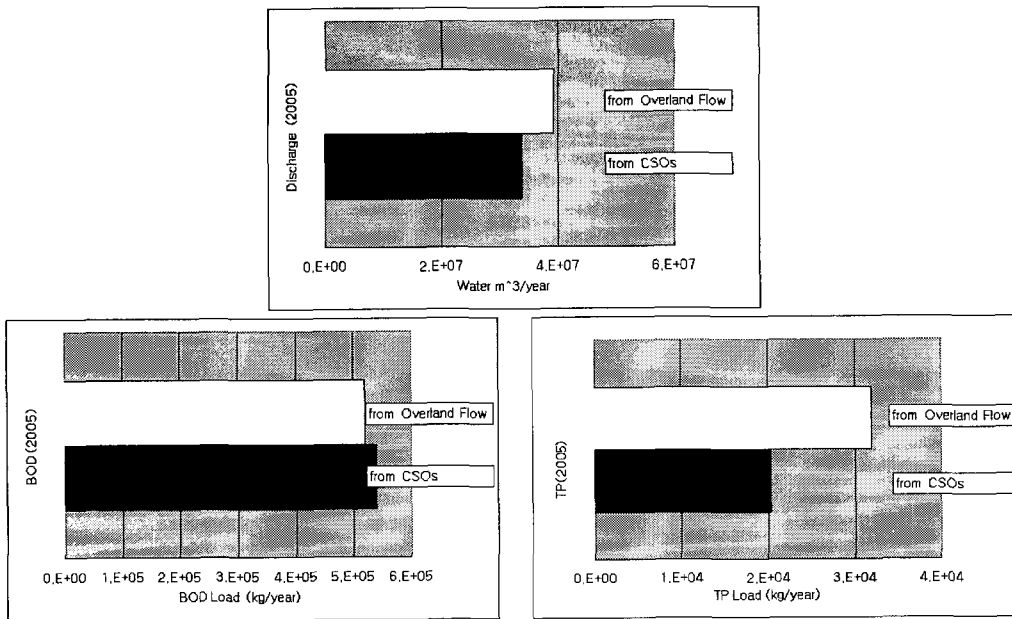


Fig. 10. Flowrate, BOD loads and TP loads caused by CSOs and overland flow.

거 월류수의 부하량을 비교하였다(Fig. 10). 강우시 차집관거의 용량부족으로 인하여 BOD의 경우 지표면의 비점원 오염부하량보다 더 많은 양의 합류식 하수관거 월류수가 온천천 본류에 유입됨을 알 수 있으며, 이러한 도시 구역의 경우 강우시 하천의 수

질이 심각하게 저하될 우려가 있음을 시사한다.

3.2. 하천수리특성 모의결과

본 연구에서 적용한 HEC-RAS의 기능은 정상류 조건의 모의로서 하천 구간별 유량을 입력자료로

온천천 유지용수 공급에 따른 생태수문환경 변화분석

Table 5. Results from HEC-RAS

River Station	Q Total (m ³ /s)	Velocity (m/s)	Height (m)	Top Width (m)
221.43	0.02	0.05	0.05	8.73
	0.17	0.15	0.13	8.93
	0.37	0.23	0.18	9.07
	1.25	0.44	0.32	9.41
	9.25	1.25	0.77	10.55
	0.08	0.10	0.09	8.84
178.00	0.02	0.18	0.01	14.38
	0.17	0.41	0.03	14.40
	0.37	0.52	0.05	14.42
	5.14	1.03	0.34	14.71
	36.82	1.62	1.33	23.69
	0.11	0.33	0.02	14.39
145.13	0.02	0.05	0.08	5.34
	0.17	0.25	0.13	5.34
	0.37	0.43	0.16	5.34
	10.46	2.57	0.74	6.13
	67.84	2.53	1.53	42.16
	0.16	0.24	0.12	5.34
75.38	0.02	0.01	0.16	15.58
	0.17	0.05	0.21	15.61
	0.37	0.10	0.25	15.64
	21.17	0.63	1.53	45.15
	117.01	1.17	2.75	57.04
	0.21	0.06	0.22	15.62
44.12	0.02	0.02	0.05	23.15
	0.17	0.07	0.11	23.21
	0.37	0.10	0.15	23.25
	28.04	0.54	1.46	59.07
	182.97	1.05	3.43	63.55
	0.23	0.08	0.13	23.22

요구하고 있으며, 구축된 하천 단면을 따라 입력된 유량별로 수위, 유속, 하폭 등의 수리특성을 계산하게 된다. HEC-RAS의 구축시 사용된 하천 단면은 총 527 개이며, 온천천에 건설된 16 개소의 교량과 2 개소의 암거자료 또한 모형 구축시에 세부자료로서 입력하여 모형을 구축하였다. 입력유량은 SWMM 모형으로부터 계산된 유량을 이용하게 되는데, 시나리오별로 계산된 최저유량, 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량 등의 자료와 우기시의 홍수량에 대해서도 하천 수리특성을 분석하기 위한 유량자료로 이용되었다.

상기 입력자료를 바탕으로 시나리오별 유량규모별 유속, 수위, 하폭 등과 같은 온천천 하천 수리특

성을 모의하였으며, Table 5에 그 결과의 일부를 수록하였다. Table 5에 보이는 바와 같이 유량규모별 유속, 수위, 하폭 등의 하천 수리특성을 획득할 수 있음을 알 수 있으며, 이들 자료는 다시 PHABSIM의 실행을 위한 자료로 사용되었다. 참고로 Table 5의 River Station의 221.43, 178.00, 145.13, 75.38, 44.12는 각각 하류로부터 11096 m(신암교 직하류), 8900 m(금정교 직하류), 7263 m(온천2호교 직하류), 3788 m(온천2호인도교 직하류), 2212 m(연산교 직하류) 지점을 의미한다.

3.3. 물리적 서식처 모의결과

중·하류 지역에서의 서식어종인 붕어 (*Carassius auratus*: Crucian carp), 납자루 (*Acheilognathus*

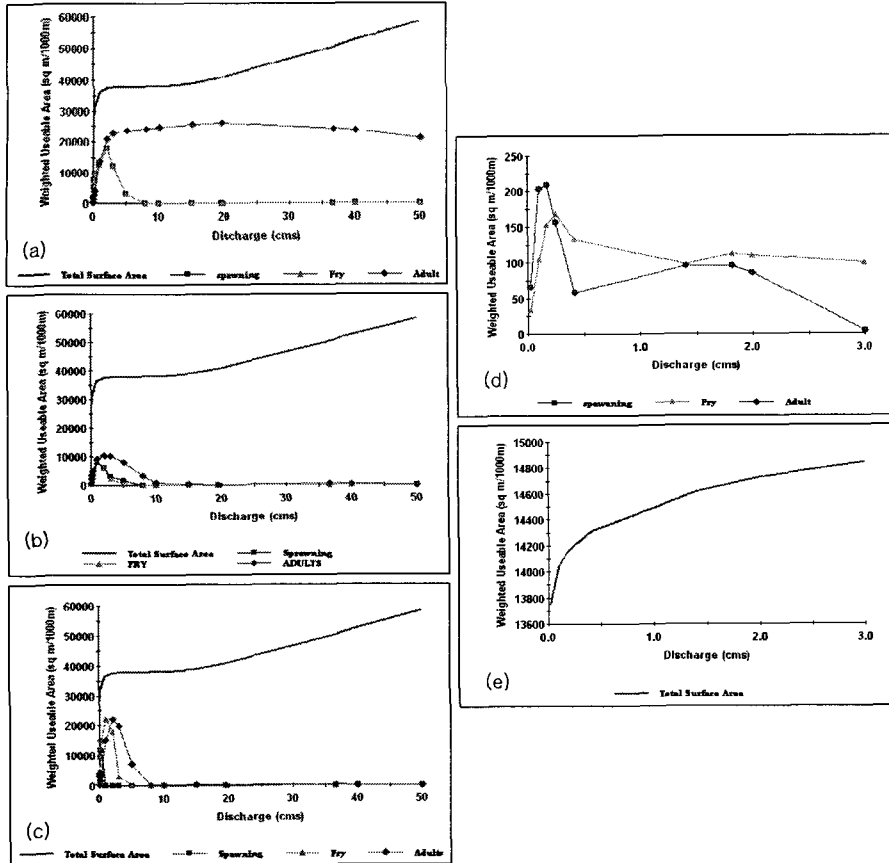


Fig. 11. Changes of weighted usable area (WUA) of (a) *Carassius auratus* (Crucian carp) (b) *Acheilognathus lanceolatus* (Slender bitterling) (c) *Oryzias latipes* (Asiatic ricefish) in 0~3150 m and (d) *Rhynchocypris oxycephalus* (Chinese minnow) in 9750~12700 m (e) total surface area of 9750~12700 m.

lanceolatus: Slender bitterling), 송사리 (*Oryzias latipes*: Asiatic ricefish)의 가중된 가용면적 (Weighted Usable Area)의 모의 결과를 다음의 Fig. 11에 각각 나타내었다. 세 어류 모두 2.0 m³/s 부근에서 최고의 가용면적을 보여주었다. 하지만 이후 유량이 증가할 수록 특히 산란과 치어인 경우 서식처가 급격히 감소하여 8.0 m³/s 이후에는 적합한 서식처가 없음을 보여주었다. 성어의 경우에는 10 m³/s 이상의 유량에서도 2400 m³/1000 m 부근의 가용면적을 나타내었지만 이는 둔치를 일시적으로 서식처로 이용한다는 가정 하에 수행된 결과로 생태적인 둔치의 활용의 중요성을 나타낸다. 중·상류 지역은 하천이 복개와 콘크리트구조로 되어 있어 해당 어종이 서식할 만한 조건을 갖춘 곳이 없음을 보여주었다. 벼들치의 가용면적은 0.25 m³/s 부근에서 감소하기 시작하였으나 1.4 m³/s 부근에서 다시 증가함을 보여주었고, 성어와 산란의 경우 2.0 m³/s 부근에서 다시 감소함

을 보여주었다(Fig. 11d). 하지만 이는 상류지역의 전체 가용면적에 대하여 2~5% 정도에 불과한 것으로 나타나 0.25~2.0 m³/s 까지 대상 유량 모두가 온천천의 상류지역에 적용이 가능한 것으로 나타났다(Fig. 11e).

4. 결 론

현재 온천천에 공급되고 있는 낙동강 원수의 유지용수가 가져오게 될 여러 가지 수리·수문·수질·생태적인 의미를 통합적으로 고찰하기 위하여 현재 수집 가능한 온천천 관련 실측 및 조사자료를 바탕으로 SWMM, HEC-RAS 그리고 PHABSIM의 연계모형을 구축하여 다양한 유지용수 시나리오에 따른 어류 서식처 환경을 평가한 결과는 다음과 같다.

온천천 유지용수의 공급으로 공급이전보다 어느 정도 수질개선 효과를 확인할 수 있었으나, 강우시에는 합류식 하수관거 월류수의 유입으로 인하여

온천천의 수질이 악화되어 모의대상 어종을 포함한 생물이 살기에 부적합함을 보였다. 이는 단순히 유지용수를 공급하는 것으로는 온천천의 생태환경을 복원하는 것이 불가능하다는 것을 의미하며, 근본적인 오염물질 유입 방지 대책이 수반되어야 할 것으로 판단된다.

PHABSIM을 이용한 서식처 모의결과 전 구역에서 2 m³/s의 유량조건까지는 대상어종의 서식처가 증가하였으나 그 이상의 조건에서는 오히려 감소하여 최적유량이 2 m³/s임을 나타내었다. 그러나 중·상류지역은 복개 및 콘크리트 하상 조건 등 열악한 서식환경으로 유량 증가와 관계없이 어류 서식이 어려운 것으로 나타났다.

따라서 현재 온천천의 단순한 하천구조로 인하여 유량증가만으로는 어류의 서식처 증가효과가 제한될 수밖에 없어 유량의 증가와 더불어 하천구조의 다양화 및 자연화, 서식처의 복원 등이 함께 고려된다면 효과를 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 부산지역환경기술개발센터의 2005년도 연구사업비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다(05-1-70-76).

참고 문헌

- 1) Odum E. P., 1993, Ecology and our endangered life-support systems, 2nd edition, Sinauer associates Inc. publishers, Sunderland, Massachusetts, 301pp.
- 2) 홍형순, 이주현, 정상만, 2003, 하천의 경관유지 수량의 결정, 한국조경학회지, 30(6), 17-25.
- 3) 이수식, 2007, 하천생태계와 경관복원을 위한 도시소하천의 유지유량확보에 관한 연구-울산무거천을 중심으로-, 한국환경과학회지, 16(5), 649-655.
- 4) 박노삼, 이수식, 안승섭, 1998, 수질관리 위한 도시하천의 유지유량 결정에 관한 연구, 대한환경공학회지, 20(2), 287-304.
- 5) 우효섭, 이진원, 김규호, 1998, 물고기 서식처를 고려한 하천유지유량결정방법의 개발, 대한토목학회지, 18(4), 339-350.
- 6) 이주현, 정상만, 이명호, 이용수, 2006, 유지유량 증분 방법론(IFIM)에 의한 한강수계 주요지류에서의 어류서식 필요유량 산정, 대한토목학회 논문집, 26(2B), 153-160.
- 7) 김규호, 1999, 하천 어류서식환경의 평가와 최적 유량산정, 박사학위논문, 연세대학교, 서울.
- 8) Gore J. A., 1985, The restoration of rivers and streams: theories and experience, An ann arbor science book, Butterworth publishers, Stoneham, Miami, 280pp.
- 9) 부산광역시, 2001, 온천천 유지용수 확보사업 기본 및 실시설계 보고서, 483pp.
- 10) Rossman L. A., 2005, Storm water management model: User's manual, U.S. EPA., 239pp.
- 11) 환경부, 2004, 수계오염총량관리기술지침, 91pp.
- 12) 최지용, 신창민, 2002, 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안, 한국환경정책·평가연구원, 212pp.
- 13) Brunner G. W., 2002, HEC-RAS, River Analysis System: User's Manual, U.S. Army Corps Engineer, Hydrologic Engineering Center, 420pp.
- 14) USGS, 2001, PHABSIM for Window: User's Manual and Exercises, Midcontinent Ecological Science Center, 288pp.
- 15) 한국수자원공사, 2003, 하천유지유량산정을 위한 어류서식처 적합도기준 현장조사 가이드라인, 17pp.
- 16) 김무상, 2003, 어류의 생태, 아카데미서적, 386pp.
- 17) 김익수, 박종영, 2005, 한국의 민물고기, 교학사, 466pp.
- 18) 부산지역환경기술개발센터, 2006, 온천천 유지용수 공급시 하류의 환경변화에 대한 연구, 112pp.