

GIS를 이용한 유역정보 추출 및 여울과 소의 치수적 복원을 위한 일중 수치해석

Extraction of Watershed Information using GIS and Diurnal Flow Change in the Rapids and Pool by the Nature-Friendly River Work

강 상 혁
Sang-Hyeok Kang

경원대학교 토목공학과
Department of Civil Engineering, Kyongwon University

(2010년 4월 29일 접수, 2010년 5월 31일 채택)

ABSTRACT : The riffle and pool play an important role for composing river front, but very little information was used for river restoration considering flood control. In this paper extensive field investigation was carried out to estimate hydraulic processes in the pool. Furthermore diurnal stratification model was developed and applied to assess flow change in pool. The physical mechanism of water flow including diurnal processes was well simulated, the results show that diurnal variation of water flow in the pool about 2 m depth is governed by the level of mixing due to density flow. These effort will be useful to guide field data collection work and to understand primary production.

Key Words : Flood control, Pool, GIS, Diurnal flow change, Numerical analysis

요약 : 여울과 소는 하천 형상을 구성하는데 중요한 요소이나 치수를 고려한 하천 복원시 이에 대한 정보는 매우 제한적이다. 본 연구에서는 소에 대한 수리학적 역할을 평가하기 위해 광범위한 현장조사를 실시하였다. 또한 일중 성층모형을 개발하여 소에 대한 흐름의 변화를 평가하였다. 그 결과 소의 성층 과정을 포함한 물리적인 현상을 재현할 수 있었으며 약 2 m 정도의 수심을 가지는 소는 밀도류의 혼합의 정도에 의해 흐름이 지배됨을 알 수 있었다. 이러한 현상의 규명은 향후 소의 1차 생산력을 이해하는데 유익하게 활용될 것으로 기대한다.

주제어 : 치수, 하천복원, 소, GIS, 일중 흐름변화, 수치계산

1. 서론

유사 이래 하천관리에 있어서 치수는 주요 과제중의 하나였다. 대부분의 하천은 원활한 홍수 유통을 위해 직선화되었고 하폭은 확장되었다.

이로 인해 하천 생태계는 단순화되었고 홍수 피해 또한 줄지 않고 시가지 범람이라는 새로운 유형의 침수피해가 발생하였다.¹⁾ 그러나 최근에는 하천에 대한 인식의 변화와 더불어 하천관리에 있어서도 치수, 이수뿐만 아니라 하천환경을 고려한 자연하천이 가지는 동적 시스템을 재생하려는 하천복원사업이 활발히 진행되고 있다. 이러한 사실은 수변역의 보전과 재생이 중요한 과제가 되었음을 반영한다.

이 중에서 여울과 소는 하천의 형상을 구성하는 기본 단위로써 중요하게 인식되어 왔다. 또한 여울과 소의 연속적인 조합은 하천의 저생동물 군집뿐만 아니라 수로의 지형적 형

상에도 중요한 구성요소로 인식되어 왔다.²⁻³⁾ 일반적으로 여울과 소는 교호(交互)로 존재한다. 어류에 있어서 여울과 소가 교호로 존재하는 것은 아주 중요한 의미를 가진다. 여울은 어류의 먹이가 되는 수생곤충 및 부착 조류가 많고 또한 산란장으로 이용된다. 반면에 소는 휴식의 장소와 홍수시 피난장소로 이용된다고 알려져 있다.⁴⁾ 국내외 하천복원에 대한 연구 사례를 보면 환경부는 기존의 하천복원에 대한 우수 사례를 검토하여 표준화한 바가 있으며⁵⁾ 김정수 등은 양재천 복원에 대한 조류의 군집변화를 평가한 바 있다.⁶⁾ 국외의 하천복원 사례를 보면 미국과 캐나다를 비롯한 북미지역은 자연하천이 가지는 흐름을 중요시하는 반면에 일본은 독일 어권의 유럽의 영향을 받아 훼손된 하천을 재생하려는 사업이 주를 이루고 있다. 또한 유럽과 북미지역은 대형 비영리단체(NGO)에 의한 복원 사업이 진행되고 있는 반면 일본은 소규모 NGO나 지역단위로 복원 및 재생되고 있다.⁷⁾ 더욱이

†Corresponding author : E-mail : kang7231@hanmail.net TEL: 031-750-5344 Fax: 031-750-5344

박종영 등은⁸⁾ 전주천을 대상으로 어류의 급격한 변화요인을 분석하였는데 그 주요 원인으로 여울과 소의 조성에 따른 서식공간의 다양성에 기인한 것이라 평가하였다. 그러나 이러한 중요성에도 불구하고 하천 재생사업에는 매우 제한적인 정보에 의존하여 복원되고 있다는 지적이 대두되고 있다. 자연적인 여울과 소를 조성하기 위해서는 그들의 수량적, 수질적인 기능을 이해하는 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 이러한 인식으로부터 여울과 소에 대한 광범위한 현장조사를 실시하였다. 여울과 소에 대한 현장 조사를 토대로 이를 재현하기 위한 흐름 모형을 개발하여 대상지역에 적용, 그 기능을 평가하였다.

2. GIS를 이용한 유역조사

본 연구지역인 공지천 유역면적은 55 km²이며 주 하천 연장은 12.5 km이다. Fig. 1 에 나타낸 바와 같이 각 하천 구간은 짧고 유역의 상류는 표고가 높으므로 하상은 급경사를 형성하고 있다. 이러한 지형적인 요인으로 인해 여름철 집중호우시 매우 급격한 수문곡선을 나타내므로 침투 홍수량이 증가되어 치수면에서 어려움을 유발한다. 또한 유역의 과도한 유출은 갈수기 하천유량의 고갈로 인해 하천 생태계를 유지하기 위한 생태유량의 확보 면에서 심각한 악영향을 초래한다. 이 유역은 현재 Fig. 2에 제시한 바와 같이 산림지 48%, 농경지 25%, 도시지역 9% 그리고 기타 18%의 토지이용도를 보이고 있으나 최근 공공구조물과 도로 등과 같은 도로와 같은 기반시설의 확충, 신시가지의 건설 등으로 급격한 도시화의 진행으로 하천 수리권의 분쟁, 과도한 토사 유실, 제방 범람 등과 같은 문제를 야기하고 있다. 이로 인해 본 유

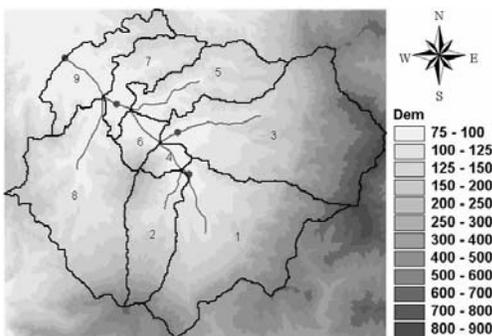


Fig. 1. Description of watershed by GIS(DEM).

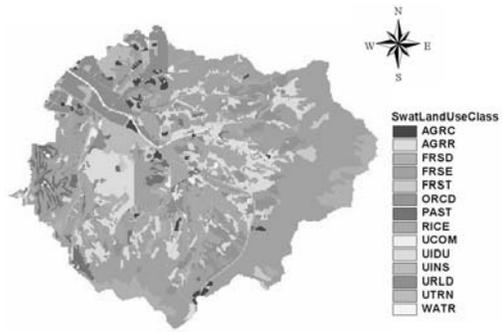


Fig. 2. Land use in Gongji-River.

역은 지속적인 수변 환경의 창조 측면에서 2006년부터 하천 복원 사업을 전개하여 왔으며 주 과제는 침투유량의 삭감, 하천 유지 용수 확보, 과도한 토사 유출 제어, 자연하천으로의 재생 등이다.⁹⁾

3. 대상하천의 자료수집

수량과 수질의 시간적, 공간적인 변화를 평가하기 위해 2008년 3월부터 10월까지 약 8개월간 집중적으로 여울과 소에 대한 자료 수집을 실시하였다. 소에 대해서는 유입과 유출부를 포함하여 표면(0.3 m), 중간(1.0 m), 그리고 저층(2.3 m)으로 구분하여 관측하였다. 관측 항목으로는 유량, 수온, 클로로필 a, 총질소(Total Nitrogen, T-N), 총인(Total Phosphorus, T-P), 생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand BOD), 부유물질(Suspended Solids, SS) 탁도, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO), 그리고 일사량을 조사하였다. 그 외 서버네트(server net)를 이용하여 저생생물을 채집하여 동정하였으나 이에 대한 평가는 별도로 진행하고자 한다. 이는 여울과 소가 하천의 경관창출 이 외에 생태적으로도 중요한 기능을 한다는 지적에 따라¹⁰⁾ 수량과 수



Fig. 3. Riffle and pool in the area of nature-friendly river work.

질뿐만 아니라 생물조사를 통하여 다면적으로 그 기능을 평가하기 위함이다. 본 연구에 적용한 여울과 소는 Fig. 3에 나타낸 바와 같은 사행성 소(meander type pool)로써 이러한 소는 형성조건이 복잡하고 하도 내에 발달하는 사주의 존재형태에 크게 관계한다. 즉 하도의 법선형상, 하상파에 의해 크게 좌우되므로 인위적인 조성을 할 경우 상세한 검토를 요한다.⁴⁾

4. 흐름을 고려한 성층 모형의 구성

수량과 수질의 변화를 나타내기 위한 열, 물질, 운동 보존 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(u_j S)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\epsilon_{(j)} \frac{\partial S}{\partial x_j} \right) + source \quad (1)$$

여기서 S 는 ρcT , (ρ 는 물의 밀도, c 는 비열, T 는 온도), u_j 및 x_j 는 속도 성분, $\epsilon_{(j)}$ 는 난류 확산 계수, 그리고 t 는 시간. 방정식 (1)에서 아인슈타인의 총화법칙을 이용하여 j 는 1에서 3의 방향을 나타낸다.

소의 열 성층 현상을 모형화하기 위해 수온 DO, 클로로필 a에 대해 모의계산하였다. 제안된 모형의 가정으로는 1) 수체의 시스템은 3개의 층으로 나눈다 2) 유출은 선택 취수(selected withdraw)에 의해 계산된다 3) 확산에 의한 수직적 물질전달은 온도성층의 정도에 의해 결정된다.

방정식 (1)은 검사체적(control volume)을 이용하여 다음과 같이 온도 성층을 수직적으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{q_i \cdot T_i - q_o \cdot T_o}{A} - \frac{1}{A} \frac{\partial(AwT)}{\partial z} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} \left(A \cdot \epsilon_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{Q_h}{\rho \cdot C} \quad (2)$$

여기서 첨자 i 와 o 는 유입과 유출에 대한 양이며 z 은 수직 성분이다. 또한 q 는 단위 폭당 유량, ϵ_z 은 z 방향의 확산 계수, w 는 수직방향의 속도성분, A 는 수평면적, ϵ_z 은 z 방향의 확산계수($5 \times 10^{-5} m^2/s$), 그리고 Q_h 는 단위시간, 단위체적당 열 생성항이다. 기본 방정식은 열 균형방정식을 이용하여 종합적으로 표현하였으나 각 항목 또한 유사하게 나타낼 수 있다. 즉, 방정식 (1)에 포함된 생성항은 다음과

같이 각각 나타낼 수 있다.

$$Source_T = \frac{\phi_s}{\rho C} \cdot (e^{-k(z+dz)} - e^{-kz}) \quad (3)$$

$$Source_D = k_a \cdot (D_s - D) - k_d \cdot L + (\alpha_1 \cdot \mu - \alpha_2 \cdot \gamma)P \quad (4)$$

$$Source_P = (\mu - \gamma)P \quad (5)$$

$$\mu = \mu_{max} \cdot \left\{ \frac{T}{T_{opt}} \cdot \exp\left(1 - \frac{T}{T_{opt}}\right) \right\}^2 \quad (6)$$

식 (3)은 수온(T)의 생성항으로 ϕ_s 는 일 중 일사량 ($145 J/m^2 \cdot S$), C 는 클로로필-a, k 는 수중 일사량의 감소 계수($1.23 m^{-1}$), z 은 수심방향 성분이다. 방정식 (4)는 용존 산소(D)에 대한 생성항으로 k_a 는 재폭기율($7.21 d^{-1}$), D_s 는 수온변화에 따른 용존산소의 포화농도, k_d 는 유기성 기질의 재분해율, L 은 유기성 기질의 농도 α_1 은 조류의 광합성에 의한 산소 생산량($1.7 mgO_2/mgChl$), α_2 는 용존산소 소모율($2.0 mgO_2/mgChl$), μ 는 조류성장율, μ_{max} 는 조류의 최대 성장률, γ 는 조류의 호흡율($1.04 d^{-1}$), P 는 식물성 플랑크톤이다. 식 (5)과 (6)은 플랑크톤의 성장에 따른 생성항으로 T_{opt} 는 식물성 플랑크톤 성장의 최적 수온($25^\circ C$)을 나타낸다. 열과 물질의 보존식의 만족은 운동량 방정식을 리차든슨 수(Richarson number)와 관련하여 물의 유동을 평가하였으며 식 (6)은 Michaelis-Menten 관계식을 이용하였다. 소와 같이 정체된 수역의 수질변화를 계산하기 위해서는 온도성층과 소멸에 대한 물리적 현상을 동시에 반영하여야 하는데¹¹⁾ 이에 관여되는 각종 계수는 현장관측 또는 기존 문헌을 참조하였다¹²⁾.

5. 모형의 적용결과

생태학적인 모형은 모형에 포함되어 있는 각종 계수를 평가할 때 시간적, 공간적인 변화를 예측할 수 있다는 장점이 있다. Fig. 4는 소에 있어서 온도성층이 명확한 경우(좌측)와 온도성층이 발달하지 않은 경우(우측)의 물리적인 변화를

나타낸 것이다. 일중 온도 성층시에는 수심방향으로 침입한 표면류의 흐름이 중간류와 혼합하여 유출되지만 온도 성층이 발달하지 않은 경우 각 층의 수온차이가 없기 때문에 일몰 후에는 수심방향으로 침입하여 표면수와 혼합되어 유출된다.

Fig. 5는 소에 대한 일중 온도성층 발생시(좌)와 온도성층이 발달하지 않은(우) 경우의 소의 밀도류와 그에 따른 수온, DO, 클로로필-a의 관측값과 계산값을 비교한 것이다. 본 연구에서 일중 온도성층에 따른 물리적, 생태적 현상의 규명은 먼저 수온의 관측값과 계산값을 비교하여 그 재현성을 검토한 후 DO, 클로로필-a 등과 같은 생태적 지표에 대해 모의 계산하였다. 소와 같은 정체된 수역의 일중 물리적 변화를 보면 표면의 수체는 수온이 증가하면 밀도는 감소하여 중간층과 혼합되어 유출되는데 본 모형은 이를 적절하게 모의하였다.

한편, 수온, DO 및 클로로필-a의 계산값은 관측값과 유

사한 경향을 나타내고 있으나 중간층에서 클로로필-a의 재현성은 양호하지 않게 계산되었다. 이에 대한 원인으로는 유기성 물질의 활동이라 보여진다. 식 (3)에서 (6)에 나타난 바와 같이 각 생성항은 서로 관련성이 있으나 본 계산에서 유기성 물질의 자체 활동은 반영되지 않았다. 즉, 일몰 후에는 적은 양의 DO가 수심방향으로 침입하지만 본 모형에는 이를 적절히 반영할 수 없었다. 이에 대한 연구는 추후에 지속적으로 규명하기로 하였다.

결국, 온도성층이 없는 일정한 밀도에서 물의 흐름은 수심 전체로 전달되고 DO, 클로로필-a 농도 또한 수심방향으로 일정하다. 그러나 온도성층시의 DO는 야간에는 온도성층의 소멸과 함께 감소하는 경향을 보였는데 이에 대한 주요 요인으로는 온도성층의 발달과 소멸에 따른 물리적 작용과 유입되는 클로로필-a 등에 의한 소비로 볼 수 있으나 생물학적인 소비는 미미하다고 볼 때 물리적인 요인이 지배적인 것으로 유출할 수 있다.

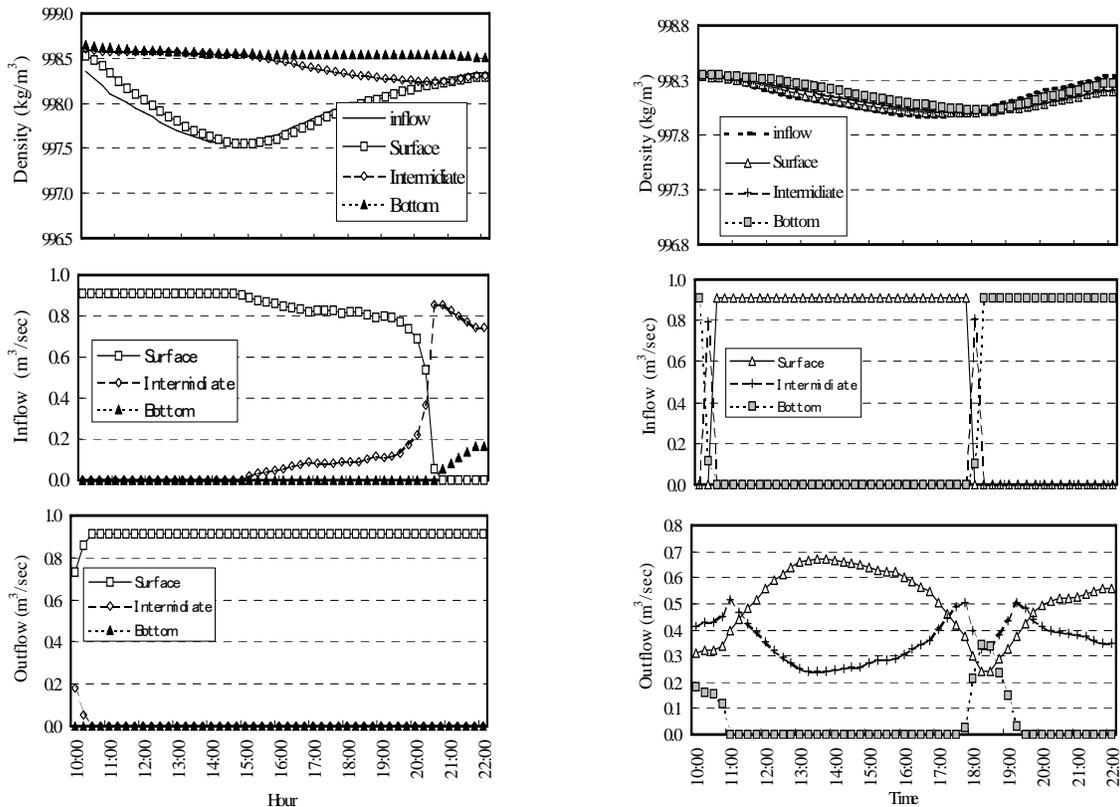


Fig. 4. Temporal and spatial distribution of flows in inlet and outlet under thermal stratification(left) and non-thermal stratification(right) in the pool.

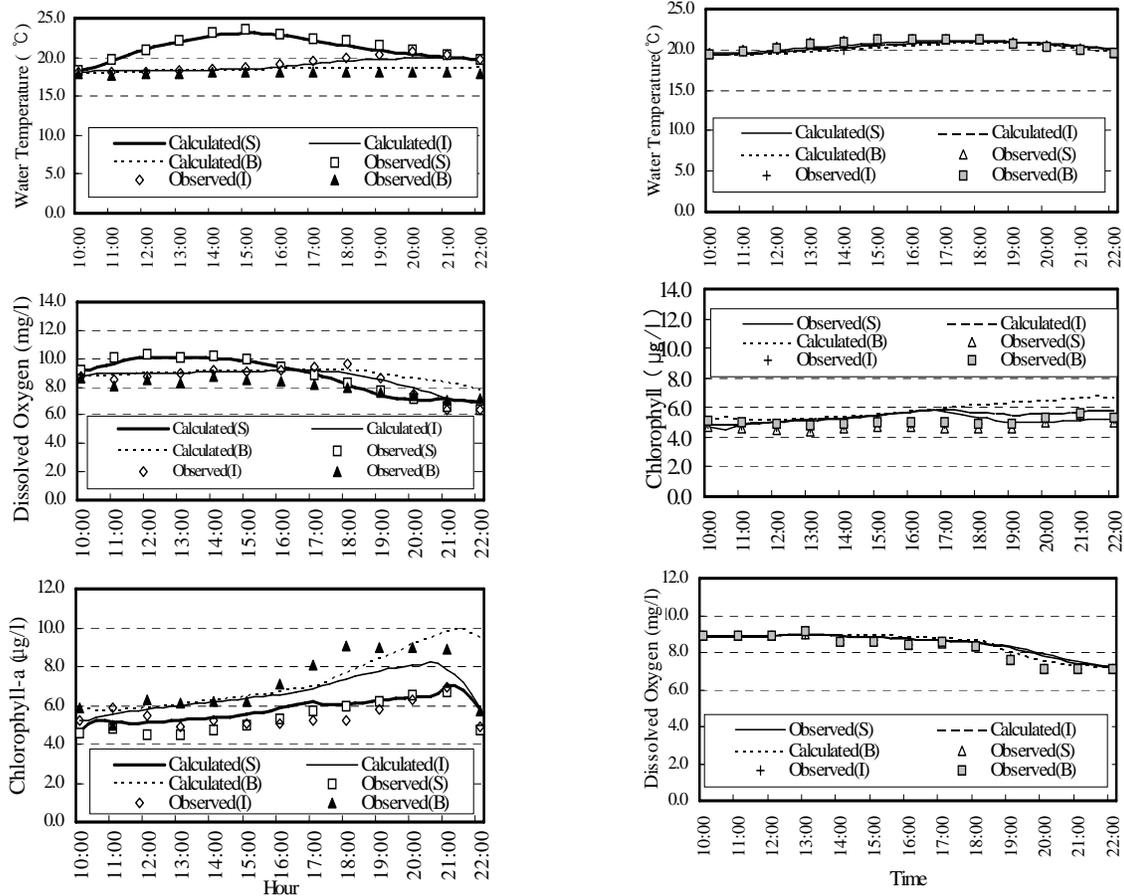


Fig. 5. Simulated results of water quality under thermal(left) and non stratification(right) in the pool(S; surface, I; intermediate, B; bottom, respectively).

6. 결론

하천 흐름은 시간적, 공간적으로 변하는 극히 복잡한 동적 시스템이다. 따라서 효율적인 하천 재생을 위해서는 하천의 각 기능에 관한 조사를 실시하고 그 기능을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 소를 대상으로 유입부와 유출부를 포함한 층별 밀도류를 고려한 성층모형을 수립하여 하천 재생 구간에 조성된 소의 물리적, 생태적 기능을 파악하였다. 그 결과 다음과 같은 사항을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서 제안한 일중 성층 모형은 먼저 온도에 따른 밀도류의 변화를 관측값과 비교하여 근접시킴으로써 모형의 적용성에 대한 검증을 실시하였으며 그 결과 계산값과 관측값은 서로 유사한 결과를 나타내었다.
- 2) 일중 온도 성층시에는 수심방향으로 침입한 표면류의

흐름이 중간류와 혼합하여 유출되지만 온도 성층이 발달하지 않은 경우 각 층의 수온차이가 없기 때문에 일몰 후에는 수심방향으로 침입하여 표면수와 혼합되어 유출됨을 알 수 있었다.

- 3) 온도 성층시의 DO는 밀도류의 흐름과 유사한 경향을 나타내었는데 이는 온도성층시 상, 하의 시간적, 공간적 분포는 유입부의 밀도류에 의해 지배됨을 의미하며 표면수는 중간수와 혼합되어 유출되며 DO와 클로로필-a도 유사하게 중간류와 혼합되어 유출됨을 알 수 있었다.
- 4) 온도 성층시 일몰 후의 클로로필-a의 모의 계산은 관측값과 비교해 볼 때 양호한 결과를 얻을 수 없었는데 이에 대한 연구는 추후에 지속적으로 규명하기로 하였다.

KSEE

참고문헌

1. Plate, E. J., From conceptual models to hydrological fields-towards a basin hydrology for the twenty-first century, 6th APRD-IAHR, Kyoto, Japan(1998).
2. Tanida, K. Benthic communities and habitat structure in natural stream, Pro. of the international symposium on river restoration, Tokyo, Japan(1998).
3. Hirose, T. Applied ecological engineering, Sinzansha Press(1997).
4. 山口 修, 하천의 자연환경을 보전하여 창조하는 하천기술, 하천정비센타, 산해당. pp. 42-49(1995).
5. 환경부, 자연형 하천정화사업 국내의 우수사례(2003).
6. 김정수, 채진학, 구태희, “양재천에서 자연형 하천공법에 의한 조류군집의 변화”, 한국유수학회, **36**(1), 74-82(2003).
7. Ritterbach, E. 하천 개수계획과 그 평가에 있어서 컴퓨터 지원시스템, 일본 하천환경발표논문집, pp. 80-83(1992).
8. 박종영, 김수환, 고명훈, 오민기, 신진철, “전주천의 자연형 하천복원에 따른 어류상 변화 및 군집분석”, 한국환경생태학회지, **23**(5), 381-391(2009).
9. 춘천시, 공지천 수질보전대책(2009).
10. Morishita, E., Diagnosis of stream environments with index of biological integrity, Sankaido(1996).
11. Gu, R, “Mixing of temperature stratified lakes and reservoirs by buoyant jets”, *J. Environ Eng., ASCE*, **114**, 898-914 (1998).
12. Noguchi, M., *et. al.* An estimate of the effect of a nature-friendly levees on the water environment, *HYDRA* **4**, 405-410(2000).