

도시하천의 유지용수 공급에 따른 생태복원

조홍제 · 이수지⁺

울산대학교 건설환경공학과

An Ecological Restoration of Urban Streams by Supplying Maintenance Water

Cho, Hong Je · Lee, Su Ji⁺

Department of Civil & Environmental Engineering, Ulsan university

요 약

울산시의 대표적인 5개 도시하천인 무거천, 약사천, 여천천, 명정천 및 척과천 등 5개 하천을 대상으로 유지용수 공급방법과 그에 따른 생태복원 정도를 조사하여 비교 검토하였다. 유지용수의 지속적인 공급으로 하천의 수질을 획기적으로 개선시킬 수 있었고 생태계가 점진적으로 복원되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 염도가 높거나 수질이 좋지 못한 유지용수는 비록 많은 양을 공급하더라도 생태계 복원에 도움이 되지 못하거나 오히려 악영향을 미칠 수 있는 것으로 확인되었다. 하폭이 좁은 도시하천을 생태하천으로 조성하거나 유지하기 위해서는 산책로 조성 등 시설물 설치의 최소화해야 하고, 적절한 유지용수 확보와 본류 하천과의 연결성이 가장 중요한 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 생태복원, 유지용수, 하천자연도, 도시하천

Abstract

The aim of this study is to compare the effects of the maintenance water supply methods on the ecological restoration of 5 urban streams such as Mugeo cheon, Yaksa cheon, Yeocheon cheon, Myeongjeong cheon and Cheokgwa cheon in Ulsan metropolitan city. Water quality of the streams have been innovatively improved and the ecosystems have gradually been restored by supplying maintenance water constantly. However, we found that if the maintenance water was in a state of higher salinity or low quality, even enough supply was not helpful and even harmful for ecological restoration. We confirmed that the most important things to create or maintain from the urban stream to the ecological stream are that facilities like a walkway construction should be installed at least, supplying appropriate maintenance water, and a connection with the main stream.

Keywords : Ecological restoration, Maintenance Water, Stream Naturalness, Urban stream

1. 서론

도시하천은 시가지를 지나거나 도시주변에 형성되어 있어 시민들의 중요한 친수공간일 뿐 아니라 수생태계와 육상생태계를 연결하는 생태적 공간이다. 최근 각 지자체마다 도시하천을 친자연형 생태하천으로 변화시켜 산책로나 자전거도로 등의 이용중심에서 생태계복원이나 하천회복을 꾀하고 있다. 그러나 우리나라 대부분의 도시하천은 강우특성과 도시화로 인한 불투수면적의 증가로 인해 풍수기를 제외하고는 하천생태계의 기능을 유지할 수 있는 최소한의 유지용수가 부족한 상태이다. 즉 유지용수 확보여부에 따라 생태하천이나 자연형 하천조성의 성공여부가 좌우된다. 하천의 생태건전성을

복원하거나 유지하는데 필요한 가장 기본적인 선결조건은 유량과 수질이다. 그런데 단순히 유지유량의 공급만으로는 하천의 환경적·생태적 기능이 회복될 수는 없으며, 반드시 어느 정도의 수질도 유지되어야 한다.

하천의 생태 및 수문학적 변화에 대한 연구는 주로 최근에 유지용수공급과 연계되어 이루어지고 있으며, 부산시 온천천의 유지용수 공급에 따른 수리·수문, 수질 및 생태적인 변화를 고찰하기 위한 모형을 구축하고 어류 서식조건에 필요한 최적 유지용수 공급량을 추정하였다(Jang et al., 2007). 도시하천의 하천생태계 기능유지에 필요한 유지유량 산정과 확보방안을 검토하였고(Lee, 2007), 어류서식지 유지에 필요한 유지유량 결정방법을 제시하였다(Woo et al., 1998). 수생 무척추동물과 미소

⁺ To whom correspondence should be addressed.
dsuji7qb@hanmail.net

동·식물은 서식활동과 하천의 시·공간 특성과 관계가 높기 때문에 이를 이용하여 하천생태계의 서식환경을 간접적으로 판단하는 방법을 고안하였으며(Kim, 1999), 하천이 가지고 있는 고유의 갈수량과 하천생태계 및 하천경관 등의 정량화를 통해 하천유지유량을 산정하였다(Pack, 1996). 그리고 도시하천의 자연형 하천복원을 위해 생태적 특징을 고려한 물리적 형태와 구조의 복원에 중점을 둔 하천자연도 평가기준을 제시하고 수원천에 적용한 바 있다(Kim et al., 2000). 강원도 동해안의 남대천, 주수천 및 마음천의 수변지역식물상 조사 및 하구역 습지 보전방안을 제시하였다(Jung et al., 2012). 하천유지용수 감소와 생태하천 조성에 따른 수리구조물 설치 및 그에 따른 수생태계 변화와 물환경의 질적 저하의 가중을 지적하였고(Han, 2009), 우리나라 주요하천에 대해 하천의 생물서식처 복원을 위한 하천자연도 평가와 그 기준을 제시한 바 있다(Pack et al., 2005). 계층분석과정기법(AHP)을 이용하여 하천자연도 평가법을 개선하여 경기도의 안양천과 아미천, 울산의 회야강에 적용하여 자연성이 훼손된 하천구간에 대한 변별력을 확인하였다(Cho and Yoon, 2009).

2. 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 울산의 대표적인 도심하천인 무거천, 약사천, 여천천, 명정천 그리고 척과천 등 5개 하천을 대상으로 인위적인 유지용수의 공급에 따른 생태복원 효과를 조사하였다. 무거천, 약사천 및 여천천은 유지용수를 인위적으로 공급하고 있지만 명정천과 척과천은 자연상태로 유지되고 있어, 유지용수의 인위적 공급이 생태건전성 회복에 미치는 효과를 적절히 비교·검토할

수 있을 것으로 판단되었다. 유지용수 규모는 각 하천별 하폭 및 저수로폭의 크기와 유지용수 개발 가능지역 등에 따라 개발방법과 공급능력 및 수량과 수질이 서로 상이하였다. 유지용수 공급에 따른 생태복원 효과를 분석하기 위해서 각 하천별로 5개 지점을 선정하여 BOD를 포함한 7개 항목에 대한 수질조사를 2012년 4월부터 11월까지 월 1회씩 총 8회 실시하였고, 동·식물상에 대한 변화를 조사하기 위해 각 하천별 2곳 또는 3곳을 선정하여 2012년 6월과 10월 2회 조사하였다. 그 결과 하천규모에 대해 유지용수공급량이 적절하고 수질이 잘 관리된 무거천에서는 생태복원효과가 뚜렷하였고, 약사천은 미처리된 오수나 퇴적오수에 의해 유지용수공급 효과가 미미한 것으로 나타났다. 반면에 여천천은 유지용수가 충분히 공급되었지만 염도가 높아 하천생태계의 회복이 거의 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 척과천은 도심구간에 어도 등 일부시설물을 제외하고는 자연하천 상태를 유지하고 있으며, 비교적 풍부하고 좋은 수질의 자체 유지용수에 의해 생태건전성이 잘 보존되고 있었다. 명정천은 자체 유지용수 부족과 인간의 간섭에 의해 생태환경이 좋지 않았으며, 유지용수의 인위적 공급이 필요한 것으로 판단되었다.

울산지역에는 국가하천인 태화강과 지방 1급하천인 동천 그리고 무거천을 비롯한 다수의 지방 2급하천 및 소하천이 있다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 태화강 또는 동천의 제 1지천이면서 울산시가지지를 통해 흐르는 대표적인 도심하천인 무거천, 약사천, 여천천, 명정천 및 척과천을 대상으로 인위적 유지용수 공급여부가 하천생태계에 미치는 영향 등을 조사하였다. 그리고 유지용수공급에 따른 대상하천의 복원여부를 평가하기 위해 하천자연도 분석을 하였다.

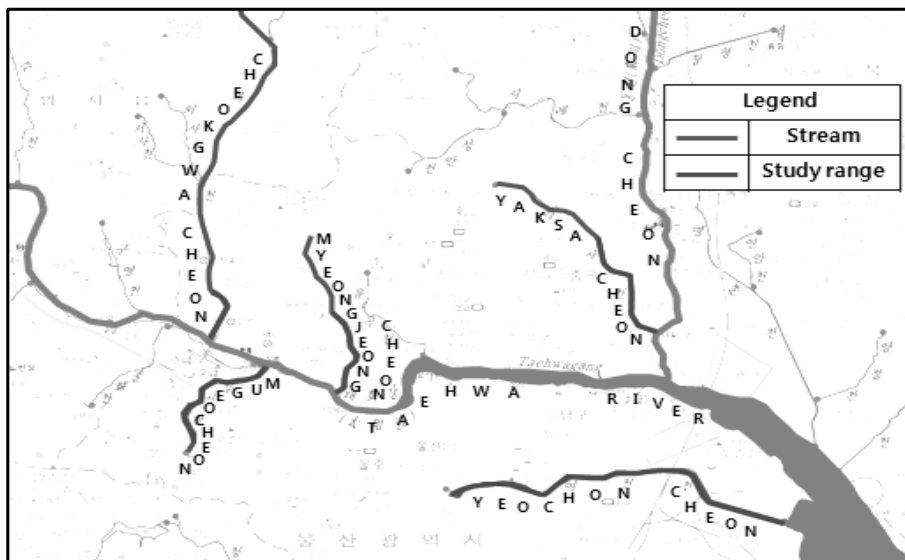


Fig. 1. The map of selected streams of the Taehwa river basin in Ulsan-si

2.1 대상하천 현황

각 하천의 기본적인 특성과 현황은 Table 1과 같으며, 소하천인 명정천을 제외하고는 모두 지방 2급 하천으로서 하천정비기본계획이 수립되었다. 대상하천 중 무거천, 약사천 그리고 여천천은 생태하천을 조성하였으나 하폭이 10~50m에 불과하고 자전거도로 및 산책로와 데크설치 등 이용 중심이 주된 관점이었다. 최근 유지용수 확보를 통한 생태계 복원을 꾀하였는데, 무거천은 오수 차집시설의 완공과 더불어 수질이 개선되면서 생태계 회복이 활발히 진행되고 있는 것으로 조사되었다. 약사천은 유지용수가 공급되고 있으나 수량이 적정량에 미치지 못하고, 일부구간의 오수의 유입과 퇴적된 오니 등으로 인해 생태계 회복이 느린 것으로 조사되었다. 반면에 여천천은 수량은 많지만 염도가 높은 태화

강 하류부에서 유지용수를 공급하고 있어, 생태하천의 기능을 거의 상실한 상태이다. 즉 주로 산책로나 자전거도로 등 친수공간 위주로 조성되어 외관상 하천수의 흐름은 비교적 많이 유지되고 있지만, 하천생태계는 유지용수를 담수로 전환하지 않으면 회복이 불가능한 것으로 나타났다. 그리고 명정천은 보나 낙차공과 같은 시설이 일부 있지만 자연상태의 하천을 유지하고 있으며, 최근에는 오수의 대부분을 하수종말처리장으로 차집하고 있으나 일부 오수의 유입과 유지용수 부족 그리고 퇴적된 오니에 의해 생태건전성이 일부 훼손된 상태이다. 반면에 척과천은 하류부에 위치한 낙차공으로 인한 상·하류 흐름의 단절로 인해 생태건전성이 부분적으로 훼손되었으나, 비교적 많은 유지용수와 어도설치를 통한 태화강과의 연결성이 뛰어나 기존의 자연하천 특성을 대부분 유지하고 있다.

Table 1. Characteristics of streams and maintenance water supply

Stream name	River extension (km)	Basin area (km ²)	River width (m)	River grade	Ecologic stream establishment	Maintenance water supply	
						The outside	Fresh water /Saltwater
Mugeocheon	2.59	5.67	20~30	The 2nd regional stream	○	○	Fresh water
Yaksacheon	5.40	6.10	10~15	The 2nd regional stream	○	○	Fresh water
Yeocheoncheon	6.50	12.64	10~50	The 2nd regional stream	○	○	Saltwater
Myeongjeongcheon	1.13	3.44	10~15	Small stream	×	×	Fresh water
Cheokgwacheon	13.11	40.51	40~50	The 2nd regional stream	×	×	Fresh water

2.2 유지용수 확보 현황

최근에는 하천의 유지용수 결정에 갈수기 수질뿐만 아니라 생태계나 하천경관 등을 고려하고 있다. 특히 어류의 서식환경을 보호하고 유지하는데 필요한 적정유량을 기준으로 하고 있다. 단순히 유지용수 공급만으로는 도시하천의 생태계가 복원되거나 유지될 수 없으며, 하

수관거로 부터 유입되는 오수를 차단하여 좋은 수질의 확보가 필수적이다. 이러한 관점에서 대상하천의 유지용수 수급현황을 조사하였으며, 일부 하천은 생태하천 조성을 위해 유지용수를 개발하여 지속적으로 공급하고 있다. 각 하천별 기본적인 하천특성과 유지용수 공급현황은 Table 2와 같고 유지용수 공급방법은 Fig. 2~4에 나타내었다.

Table 2. Characteristics of streams and duty of maintenance water

Stream Name	Low-water channel width (m)	Duty of maintenance water (m ³ /day)	Depth of water (m)	Developing method for maintenance water
Mugeocheon	2~4	11,000	0.30	Underground flow /Fresh water
Yaksacheon	2~3	5,000	0.20	Underground flow /Fresh water
Yeocheoncheon	7~10	80,000	0.35	Surface water /Saltwater
Myeongjeongcheon	2~3	-	0.15	State of nature
Cheokgwacheon	5~15	-	0.20	State of nature

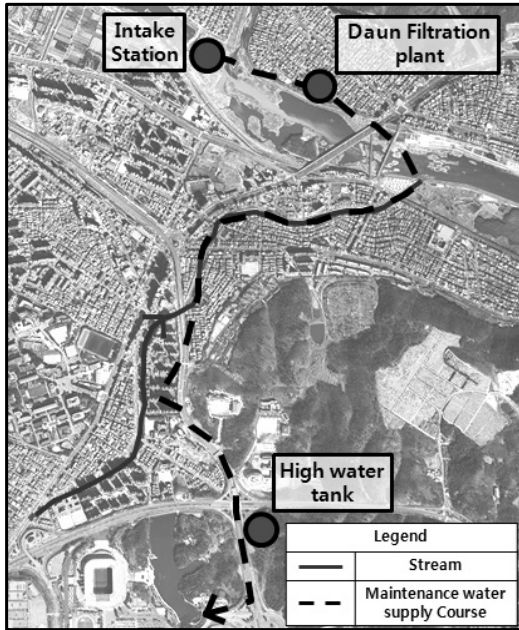


Fig. 2. Delivery method of main-tenance water for the Mugeo cheon

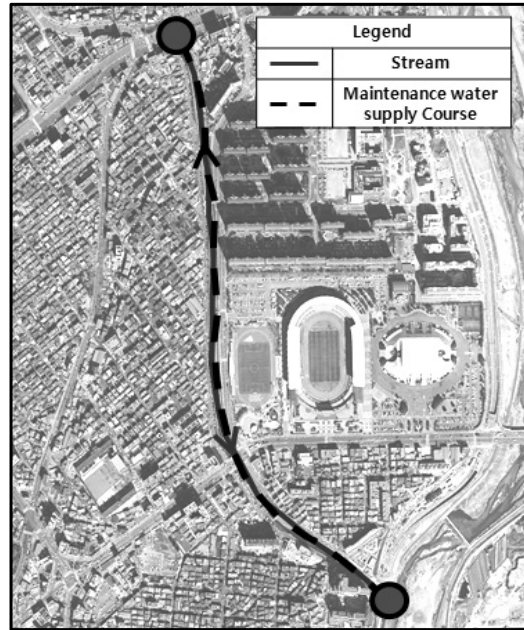


Fig. 3. Delivery method of main-tenance water for the Yaksa cheon

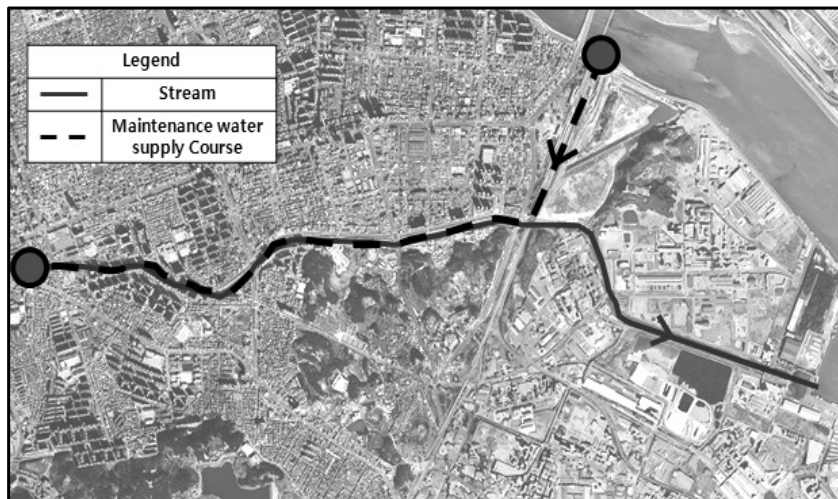


Fig. 4. Delivery method of maintenance water for the Yecheon cheon

Fig. 2에 나타난 바와 같이 무거천의 유지용수는 어류 서식의 환경보호가 가능하도록 태화강 복류수 11,000m³/day를 개발하여 송수관로를 통해 하천 상류에서 흘려보내는 방식이다. 무거천이 태화강의 제1지천인 관계로 이 물은 무거천의 하류를 통해 곧바로 태화강으로 유입되어 갈수기에도 태화강 유지유량의 손실이 없는 구조이다. Fig. 3의 약사천은 태화강의 제 2지천으로서 제 1지천인 동천에서 복류수 5,000m³/day를 개발하여 상류에 공급하는 구조이며, 수질은 양호하지만 수량이 적어 퇴적되어 있는 오니 등에 의해 하천생태계의 복원은 미진한 상태이다. Fig. 4는 울산의 대표적 도심하천인 여천천에 생태하천 조성을 위해 염도가 높은 태화강 하류의 표류수 80,000m³/day를 유지용수로 공급하는 체계

이다. 공급된 유지용수는 여천천의 하구를 통해 직접 바다로 유입되는 구조이나 하천의 도심구간에 바닷물의 직접적인 영향은 거의 없다. 그리고 공급되는 유지용수의 양이 비교적 많아 어류서식이 가능한 수심이 유지되고 있으나, 염도가 높아 담수성 어류를 포함한 생태계 복원이 불가능한 상태이다.

3. 생태건전성 분석

3.1 조사방법

수질조사는 하천자연도 평가를 위해 각 하천의 대표 되는 지점 5곳을 선정하여 7개의 측정항목(pH, DO, 색

도, 탁도, 수온, 악취, BOD)에 대해 2012년 4월부터 2012년 12월까지 월 1회씩 총 8회 측정하였다. 그리고 유지용수 공급에 따른 생태계 복원정도와 상관성 여부를 조사하기 위해 하천의 크기가 작은 명정천은 2곳 나머지 4개 하천은 각 3곳을 선정하여 식물상 및 식생, 양

서류 및 과충류, 어류 및 조류 그리고 저서생물 등을 6월과 10월 2회 조사하였다. 2012년 환경정책기본법 시행령 제2조(환경기준)에 따르면 수질등급에 따른 서식생물의 지표 및 특성은 Table 3와 같다(Environmental Policy Act Enforcement Ordinance, 2012).

Table 3. Water quality and benthos, fish, species

Water quality	Biological indicator species		Habitat and living organism property
	Benthos(Korean name)	Fish(Korean name)	
Very good - Good	Gammarus sobaegensis(옆새우), Crayfish(가재), Drunella aculea(빨하루살이), Kamimuria tibialis(강도래), Rhyacophila kua(물날도래), Glossosoma kua(광택날도래), Hydatophylax nigrovittatus(띠무늬우묵날도래) , Psilotreta kisoensis lwata(바수염날도래), Dugesia japonica(플라나리아)	Masou salmon(산천어), Rhynchocypris kumganensis(금강모치), Tsinlingensis(열목어), Chinese minnow(버들치)	Water is very clear, flow rate is fast. Floor is mainly composed of rocks and gravel.
Good - Average	Semisulcospira llibertina(다슬기), Family glossiphoniidae(넓적거머리), Family potamanthidae(강하루살이), Ephemera orientalis(동양하루살이), Uracanthella rufa(등줄하루살이) , Caenis nishinoae malzacher(등딱지하루살이), Family psephenidae(물삿갓벌레), Macronema radiatum mclachlan(큰줄날도래)	Coreoleuciscus splendidus(쉬리), Zacco koreanus(갈겨니) , Plecoglossus altivelis(은어) , Siniperca scherzeri(쏘가리)	Water is clear, flow rate is fast or normal. Floor is mainly composed of gravel and sand.
Average - Bad	Lymnaea aricularia(물달팽이), Gnathobdellida(턱거머리), Asellus hilgendorffii bovalius(물벌레), Deielia phaon(밀잠자리)	Zacco platypus(피라미) , Korean piscivorous chub(끄리), Pseudogobio esocinus(모래무지), Pseudorasbora parva(참붕어)	Water is slightly turbid, flow rate is slightly slower. Floor is mainly composed of pebbles and sand.
Bad - Very bad	Physa acuta(원돌이물달팽이) , Limnodrilus gotoi hatai(실지렁이) , Chironomus sp.(Red type)(붉은갈따꾸) , Moth fly(나방파리), Eristalomyia tenax(꽃등에)	Carassius auratus(붕어) , Cyprinus carpio(잉어) , Misgurnus mizolepis(미꾸라지), Silurus asotus(메기)	Water is very turbid, flow rate is slower. Floor is mainly composed of sand and silt, mostly black.

3.2 수질조사

수질조사는 2012년 4월부터 11월까지 월 1회씩 총 8회 측정하였으며, 측정항목은 pH, DO, 수온, 색도, 탁도, 악취 및 BOD 등이다. 온도는 온도계, pH는 pH Meter D-51로서 DO는 YK-2001pH를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 색도, 탁도 및 BOD는 하천수를 샘플링하여 실험실에서 분석하였다. 색도는 2100AN Turbidimeter, 탁도는 HACH DR2800 그리고 BOD는 공정시험법으로 분석하였고, 악취는 직접관능법으로 판단하였다. 수질조사

항목 중 과거에 조사항목이 존재하여 수질의 개선여부를 파악할 수 있는 BOD 등 4개의 항목에 대해 비교하였으며, Table 4와 같다. Table 4에 따르면 무거천과 약사천은 유지용수공급 시설에 의해 수질이 각각 1.01ppm과 0.55ppm으로 크게 개선되었다. 반면에 여천천은 비교적 많은 유지용수가 공급되었으나 염도가 높고 하상의 퇴적된 오니의 영향에 의해 5.94ppm으로 거의 개선되지 못한 것으로 나타났다. 자연상태의 하천인 명정천과 척과천은 1.0ppm이하로 1급수의 수질을 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 4. Comparison of the water quality survey

Stream name	Investigation article	Water quality change					Maintenance water supply
	Investigation year	2001	2003	2005	2008	2012	
Mugeocheon	pH	7.47	7.16			7.95	2007 year
	BOD(mg/l)	26.3	14.2			1.01	
	DO(mg/l)	-	0.26			7.94	
	SS(mg/l)	21.0	8.0			-	
Yaksacheon	pH			7.58		8.00	2010 year
	BOD(mg/l)			9.27		0.55	
	DO(mg/l)			5.77		9.89	
	SS(mg/l)			10.54		-	
Yeocheoncheon	pH				7.52	8.01	2009 year
	BOD(mg/l)				15.01	5.94	
	DO(mg/l)				6.43	11.58	
	SS(mg/l)				7.93	-	
Myeongjeongcheon	pH			7.46		7.77	-
	BOD(mg/l)			8.42		0.88	
	DO(mg/l)			7.36		9.61	
	SS(mg/l)			8.65		-	
Cheokgwacheon	pH	6.98				8.09	-
	BOD(mg/l)	1.03				0.30	
	DO(mg/l)	11.55				9.41	
	SS(mg/l)	1.34				-	

3.3 생물지표종 조사

유지용수 공급에 따른 생물지표종의 변화를 확인하기 위해 Table 3의 수질등급에 따른 서식생물의 기준을 적용할 수 있는 저서생물과 어류 등을 주 대상으로 하였다. 그리고 하천자연도 평가를 위해 필요한 식물상 및 식생의 조사를 병행하였다.

3.3.1 저서성 대형무척추동물

정량적방법은 Surber net(25×25cm)를 이용하여 각 지점별로 8회 채집하였으며, 정성적 채집은 Surber net와 뜰채를 이용하여 무작위 채집하였다. 다양도지수는 정량적 방법에 의해 채집된 종수 및 개체수를 이용하여 산정하였으며, 동정·분류에는 한국동식물도감과 수서곤충 검색도설 등을 인용하였다(Yun, 1988; Yun, 1995). 종수준까지 분류가 어려운 종은 외부형태가 확연히 구별되는 종을 대상으로 임의로 파나 속수준 등에서 정리하였다. 저서성 대형무척추동물의 군집구조를 파악하기 위해 채취시기 및 지점별로 개체수와 종수, 종다양성지수, 우점도지수를 비교하였다. 종다양성지수는 Shannon-wiener function(H')에 따라 산출하였으며(Pielou, 1977), 산출식은 다음과 같다.

$$H' = \sum (ni/N) \cdot \log(ni/N) \quad (1)$$

여기서 ni는 i종의 개체수, N은 총개체수 이다. 우점도지수는 McNaughton's dominant index(DI)에 따라 산출하였으며(McNaughton, 1967), 산출식은 다음과 같다.

$$DI = (n1 + n2) / N \quad (2)$$

여기서 n1는 우점종, n2는 아우점종, N은 총개체수 이다. 위의 방법으로 산정한 5개 하천의 조사지점에 대한 생물지수(종다양도, 균등도, 우점도, 종풍부도)를 Table 5 및 Fig. 5에 나타내었다. Table 5에 따르면, 외부에서 유지용수를 공급하고 있는 무거천, 약사천 및 여천천의 종다양도는 1.28~1.58로서 서로 비슷하지만 유지용수를 공급받지 않는 자연하천인 명정천과 척과천은 2.54 및 2.39로서 상대적으로 높게 나타났다. 그리고 종풍부도는 수질오염 정도 및 자연생태계가 연계되어 있으며, 약사천과 여천천은 각 1.10과 1.44로서 매우 낮고 풍부한 유지용수가 지속적으로 공급되어 하천 복원정도가 높은 무거천은 3.19로서 비교적 높다. 그리고 자연하천 상태인 척과천과 명정천은 4.55와 5.16으로서 종풍부도가 상대적으로 매우 높게 나타났다.

Table 5. Comparison of the benthic macro-invertebrate biotic index

Test points	Biotic index				
		Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
Mugeocheon	The upper class	2.10	0.73	0.56	3.41
	The middle class	1.69	0.55	0.67	3.29
	The lower class	0.96	0.31	0.85	2.88
	Average	1.58	0.53	0.69	3.19
Yaksacheon	The upper class	1.45	0.63	0.68	1.59
	The middle class	1.43	0.80	0.65	0.97
	The lower class	1.25	0.90	0.74	0.74
	Average	1.38	0.78	0.69	1.10
Yeocheon	The upper class	1.78	0.66	0.66	2.64
	The middle class	1.11	0.62	0.83	1.02
	The lower class	0.94	0.68	0.89	0.66
	Average	1.28	0.65	0.79	1.44
Myeongjeongcheon	The upper class	2.07	0.70	0.55	3.82
	The lower class	3.00	0.85	0.29	6.49
	Average	2.54	0.78	0.42	5.16
Cheokgwacheon	The upper class	2.51	0.85	0.41	4.10
	The middle class	2.79	0.89	0.30	4.91
	The lower class	1.88	0.54	0.72	4.64
	Average	2.39	0.76	0.48	4.55

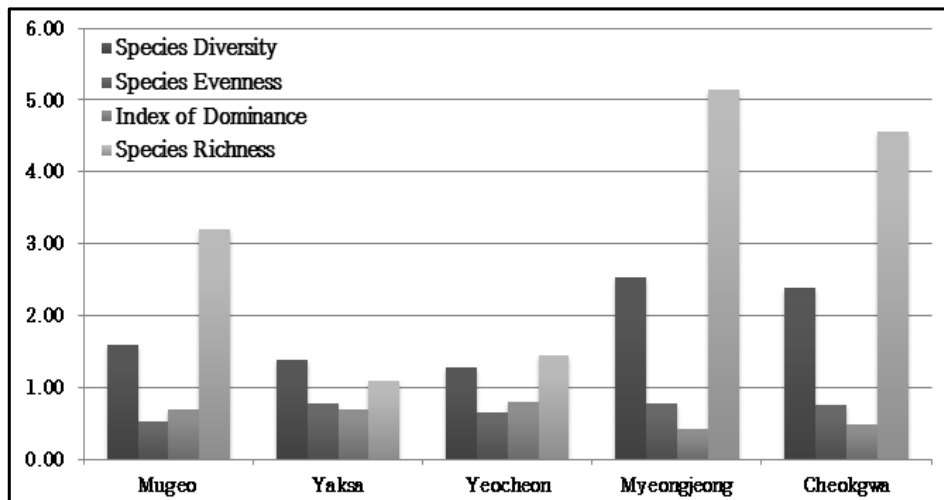


Fig. 5. Comparison of the benthic macro-invertebrate biotic index

각 하천별 저서성 대형무척추동물 현황은 Table 6과 같다. 약 10년 전부터 11,000m³/day의 유지용수를 개발하여 공급하고 있는 무거천에서는 Table 4에서와 같이 수질이 BOD 1.01ppm이하로 1급수를 유지하고 있으며, Table 3의 수질등급에 따른 저서생물 지표종에 따르면, Table 6에 나타난 바와 같이 상류~중류에서는 수질등급이 매우 좋은 상태의 생물지표종인 플라나리아과의 플라나리아가 그리고 중류~하류에서는 수질이 좋은 상태의 생물지표종인 알락하루살이과의 등줄하루살이가 높은 밀도로 우점하고 있었다. 반면에 하류에서는 수질이

나쁜상태의 생물지표종인 깔다구과의 붉은깔다구류가 아직 우점하고 있었으며, 이는 미처 처리하지 못한 오수 유입으로 하류부의 수질이 완전하게 개선되지 못한 것에 기인한다. 전반적으로 볼 때 무거천은 지속적인 유지용수의 공급으로 수질이 1급수로 개선되어 아주 양호한 생물지수를 나타내었으며, 유지용수 공급에 의한 생태복원 효과가 큰 것을 알 수 있다. 약사천은 수년 전부터 유지용수를 5,000m³/day 공급하고 있으나 생태계 복원에 충분치 못한 것으로 나타났다. 그로 인해 하천의 상류~하류 전 구간에 나쁜 생물지표종인 물벌레과의 물벌레,

실지렁이과의 실지렁이 및 원돌이물달팽이과의 원돌이물달팽이 등이 우점하는 등 오염내성종이 주로 분포하고 있었다. 그리고 상류~하류까지 군집구조의 변화는 크지 않고 유사함을 보였으며, 이는 유지용수가 충분하지 못하고 일부구간의 오수유입과 더불어 하상에 오염물질이 많이 퇴적되어 있음을 의미한다. 반면에 여천천에 공급되는 유지용수가 80,000m³/day로서 비교적 많은 양을 공급하고 있으나 염도가 매우 높다. 더구나 하상은 오염된 오수가 두껍게 퇴적되어 있어 상·하류 전구간에 수질이 나쁜 생물지표종인 실지렁이과의 실지렁이와 원돌이물달팽이과의 원돌이물달팽이 등이 우점하고 있다. 이것

은 비록 유지용수를 공급하더라도 염도가 높은 물은 하천생태계를 복원시킬 수 없음을 나타낸다. 유지용수가 외부에서 추가로 공급되지 않고 갈·저수시의 유량이 많지 않지만, 오염원의 유입이 적은 척과천과 명정천은 Table 3의 수질이 매우 좋은 상태의 생물지표종인 플라나리아과의 플라나리아, 우물날도래과의 띠무늬우물날도래 등이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 이는 근원적으로 오수의 유입을 차단하고 자연상태를 유지하는 것이 유지용수를 공급하는 것보다 생태계 보전에 효과적인 것을 의미한다.

Table 6. Comparison of the benthic macro-invertebratecurrent state

Stream name	Emergence state	Main species			Characteristic	Note
		Family name	Scientific name	Korean name		
Mugeocheon	4 cannons 7 class 16 order 26 family 32 species 1,769 entity	Family planariidae	Dugesia japonica	플라나리아	Each non-insects and aquatic insects be distributed 16 species. Distribution ratio of pollution indicator species due to water pollution is high.	The upper ~ lower class
		Family ephemereleididae	Uracanthella rufa	등줄하루살이		The middle ~ lower class
		Family lymnaeidae	Lymnaea auricularia	물달팽이		
		Family chironomidae	Chironomus sp. (red type)	붉은갈따구류		The upper ~ lower class
Yaksacheon	3 cannons 5 class 6 order 10 family 10 species 519 entity	Family asellidae	Hesperocorixa koltthoffi	물벌레	Benthos due to water pollution is very poor. Most of the major species is a pollution indicator species.	
		Family baetidae	Baetis fuscatus L	개똥하루살이		
		Family physidae	Physa acuta	원돌이물달팽이		The upper ~ lower class
		Family tubificidae	Limnodrilus gotoi hatai	실지렁이		The upper ~ lower class
Yeocheon	3 cannons 5 class 13 order 27 family 38 species 273 entity	Family baetidae	Baetis fuscatus L	개똥하루살이	26 species of the total of 38 species is aquatic insects. Distribution ratio of Family Libellulidae of the aquatic insects is high.	
		Family calopterygidae	Calopteryx japonica	물잠자리		
		Family lymnaeidae	Lymnaea auricularia	물달팽이		
		Family limnephilidae	Hydatophylax nigrovittatus	띠무늬우물날도래		The lower class
Myeongjeongcheon	4 cannons 6 class 14 order 33 family 45 species 967 entity	Family planariidae	Dugesia japonica	플라나리아	32 species of the total of 45 species is aquatic insects. Distribution ratio of Family Libellulidae of the aquatic insects is high.	The lower class
		Family lymnaeidae	Lymnaea auricularia	물달팽이		
		Family ephemereleididae	Uracanthella rufa	등줄하루살이		The lower class
		Family limnephilidae	Hydatophylax Nigrovittatus	띠무늬우물날도래		The lower class
Cheokgwacheon	4 cannons 6 class 10 order 15 family 16 species 427 entity	Family tubificidae	Limnodrilus gotoi hatai	실지렁이	8 species of the total of 16 species is a non-insects consisted of mollusks and annelids. Pollution indicator species due to water pollution is dominate.	The upper ~ lower class
		Family lymnaeidae	Lymnaea auricularia	물달팽이		
		Family chironomidae	Chironomus sp. (red type)	붉은갈따구류		The upper ~ lower class
		Family physidae	Physa acuta	원돌이물달팽이		The upper ~ lower class

3.3.2 어류

어류채집은 대부분 투망(10×10mm망목)과 족대(4×4mm 망목)를 이용하였으며, 지역에 따라 투망을 한 지역에서 10회까지, 족대도 10회 기준으로 조사수역의 현장여건에 따라 정량적으로 조사하였다. 채집된 표본은 동일한 종이 많을 때는 몇 개체만을 남기고 대부분 다시 방류하였고, 보존 표본은 채집 즉시 10% 포르말린 수용액에 고정 한 다음 실험실에서 종을 동정하였다. 종 동정은 한국동식물도감을 참조하였으며(Kim, 1997), 분류체계는 Nelson에 따라 실시하였다(Nelson, 1994). 5개 하천의 조사지점

에 대한 생물지수는 Table 7에 나타내었다.

Table 7에 따르면 어류는 각 하천의 하구와 분류하천인 태화강과 동천과의 연결성에 영향을 받고 있는 것으로 조사되었다. 이와 같은 점을 고려하더라도 Table 3의 수질등급에 따른 어류 지표종에 따르면, 깨끗한 유지용수공급이 지속적으로 이루어지고 있는 무거천에서는 한국고유종의 메기과의 미유기와 동사리과의 동사리를 포함해서 Table 7의 종다양성이 1.49로서 가장 높게 나타났다. 반면에 유지용수의 공급량이 적은 약사천과 염도가 높은 여천천은 각 0.76과 0.71로서 종다양성이 매우

Table 7. Comparison of the fish biotic index

Test points	Biotic index				
		Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
Mugeocheon	The upper class	1.24	0.90	0.67	1.67
	The middle class	1.12	0.81	0.85	1.17
	The lower class	1.26	0.57	0.77	1.64
	Average	1.21	0.76	0.76	1.49
Yaksacheon	The upper class	1.23	0.76	0.81	1.15
	The middle class	0.52	0.37	0.94	0.87
	The lower class	0.19	0.27	1.00	0.27
	Average	0.65	0.47	0.92	0.76
Yeocheoncheon	The upper class	0.64	0.92	1.00	0.91
	The middle class	0.51	0.46	0.97	0.55
	The lower class	0.50	0.72	1.00	0.62
	Average	0.55	0.70	0.99	0.69
Myeongjeongcheon	The upper class	1.03	0.75	0.82	1.25
	The lower class	0.71	0.44	0.89	1.10
	Average	0.87	0.60	0.86	1.18
Cheokgwacheon	The upper class	1.07	0.77	0.80	0.84
	The middle class	1.08	0.60	0.80	1.28
	The lower class	1.02	0.47	0.84	1.83
	Average	1.06	0.61	0.81	1.32

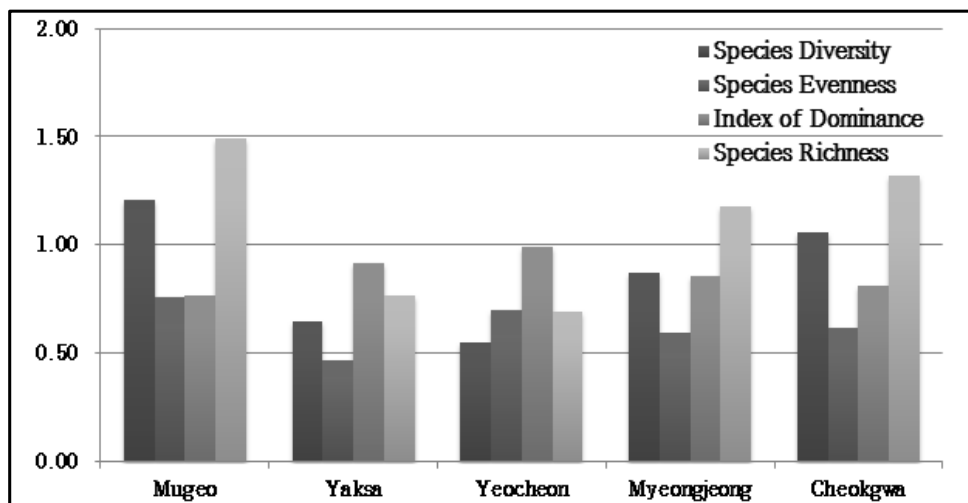


Fig. 6. Comparison of the fish biotic index

낮게 나타났다. 특히 여천천에는 하류로 갈수록 수질오염이 매우 심하여 송사리과의 송사리와 잉어과의 붕어 등 오염에 강한 내성종이 대부분이었고 빈약한 어류상을 나타내었다. 명정천과 척과천은 유량은 적었으나 태화강과의 연결성에 의해 비교적 종다양성이 1.18과 1.32로서 비교적 높게 나타났다. 특히 자연생태계가 유지되고 있는 척과천에서는 잉어과의 버들치, 갈겨니 및 피라미 등이 나타나 하천의 자연성 유지가 매우 중요함을 보여주었다.

3.3.3 하천별 식물상 및 식생

식물상의 분포는 조사지역의 식물상은 지역의 생태적 특성을 고려하여 제방사면, 하도, 하안 등과 같이 각 식물이 분포하는 생육 입지를 고려해 출현한 종을 동정하여 식물목록에 기록하였다. 조사지역에서 출현하는 관속식물은 원색대한식물도감을 기준으로 기록하였고(Lee,

2003), 위 도감에 수록하지 않은 종은 원색한국기준식물도감을 참고 하였다(Lee, 1996). 분류체계는 Engler의 분류체계를 따랐으며(Melchior, 1964), 관속식물에 대해서는 Raunkiaer의 생활형으로 구분하였다(Raunkiaer, 1934). 식생조사는 대표식생의 식생조사표 작성은 Z.-M. School의 전추정법을 사용하였으며 계층별 종의 분포는 Braun-Blanquet의 피도와 군도로 표기하였다(Braun-Blanquet, 1964). 군락명은 상관우점종을 기준으로 명명하였으며, 조사구의 크기는 군락 구조에서 최고 식생높이의 제곱값에 준하는 면적을 설정하였다(Kim et al., 1995). 식물상 및 식생이 하천의 수질과 생태계 등에 관련되어 있으나, 도시하천이기 때문에 인위적으로 조성된 것이 많아 직접적으로 유지용수 및 수질 등과의 상관성을 분석하는 것은 다소 무리가 따르는 것으로 판단된다. 따라서 Table 8에 식물상의 정도만 분류하고 4장의 하천자연도 평가에 적용하였다.

Table 8. Comparison of the flora

Stream name	Family	Genus	Species	Variety	Taxonomic group	Note
Mugeocheon	39	963	106	12	118	
Yaksacheon	27	65	79	6	85	
Yeocheoncheon	28	74	92	8	100	
Myeongjeongcheon	36	85	100	7	107	
Cheokgwacheon	37	101	122	10	132	

4. 하천자연도 평가

자연하천도란 하천생태계의 자연스러운 정도를 의미한다. 하천자연도 평가는 인위적인 하천환경 훼손의 영향을 상대적으로 평가하여 현재 하천이 자연스러움에서 어떻게 그리고 어느 정도 벗어나있는지를 가늠하게 된다. 하천은 유수와 유사의 상호작용에 의해서 하천의 미세한 지형이 생성되고, 생물의 다양한 서식처를 제공하는 등 생태계에 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 하천의 생물서식처 복원을 판단하기 위해 하천자연도를 평가하는 것은 의미가 크다. 도시하천은 대부분 산책로 등 이용자 중심으로 구성되어 있으며 보와 같이 크고 작은 시설물들이 설치되어 자연성도 많이 훼손되어 있다. 더구나 오수의 유입으로 수질이 악화되어 있는 것이 일반적이며, 우리나라 하천특성상 풍수기를 제외하고는 건천으로서 수 생태계가 황폐해 있다. 하지만 인위적인 유지

용수의 공급으로 전반적인 생태계의 복원이 이루어질 수 있어, 하천자연도를 평가해보면 유지용수로 인한 하천의 생태건전성 회복정도를 파악할 수 있다. 따라서 무거천을 비롯한 5개 대상하천에 대해 하천자연도를 평가한 후, 유지용수의 공급여부와 관계되는 내용에 대해서만 비교하여 그 효과를 검토하였다. 국내 하천에 대한 하천자연도 평가 방법으로는 박봉진과 조용현의 방법이 대표적이며(Pack et al., 2003; Cho, 1997), 이를 개선하여 실무 적용성을 높인 바 있으므로 이를 이용하여 대상하천에 대한 하천자연도를 평가하였다. 하천자연도 평가부분과 평가항목은 Table 9와 같고, 하천자연도 평가등급을 Table 10과 같다(Cho and Yoon, 2009). Table 10에서와 같이 자연성 저감정도에 따라 자연에 아주 가까운 자연스러운 상태를 1점, 극히 심하게 훼손되어 자연스러움이 거의 없는 상태에 5점을 부과하는 5단계로 하천자연도를 평가하게 된다.

Table 9. Evaluation part and evaluation item of stream naturalness

Evaluation part	Evaluation item
River form	(1) Flexion of channel, (2) Perpendicular and horizontal sand bar, (3) Diversity of flow, (4) Diversity of bed material, (5) Diversity of low-water channel width, (6) Low-water channel revetment, (7) Levee revetment
River environment	(8) Impoundment side vegetation, (9) Flood plane vegetation, (10) Inland waterside land utilization, (11) Riverside land flood plane land utilization (12) Cross artificial structures, (13) Water quality(BOD), (14) Water level width and river width proportions

Table 10. Evaluation grade stream naturalness

Grade	Score(Index)	River Condition	Description
1st	$1.0 \leq I \leq 1.8$	Natural	Original natural river
2nd	$1.8 \leq I \leq 2.6$	Almost natural	Keep natural condition, but partially limited
3rd	$2.6 \leq I \leq 3.4$	Limited natural	Whole natural condition, but high limited
4th	$3.4 \leq I \leq 4.2$	Destructed	Serious destruction, not natural
5th	$4.2 \leq I \leq 5.0$	Seriously destructed	Artificial manipulation of natural

평가항목별 가중치가 적용되도록 개선하여 제안하였던 방법으로 무거천을 비롯한 5개 대상하천에 대해 산정한 하천자연도 평가결과를 실시하였다. 그 결과 Table 10에서 하천유지용수와 관계되는 (8)저수변 식생, (9)홍수터 식생 및 (13)수질(BOD)에 대해서만 비교해보면 다음과 같다. 깨끗한 유지용수를 지속적으로 공급하고 있는 무거천은 식생이 1~3등급이고 수질은 1~2등급으로 나타나 유지용수의 효과가 뚜렷한 것을 알 수 있었다. 약사천은 깨끗한 유지용수가 공급되어 수질은 1등급을 유지하고 있으나, 수량이 적고 오히려 등에 의해 식생은 3등급에 가까웠다. 반면에 여천천은 공급되는 유지용수가 염도도 높고 수질이 좋지 않은 관계로 3~4등급을 보였으며, 식생도 3~5등급을 보여 생태계 복원효과에 전혀 도움이 되지 않은 것으로 나타났다. 그리고 외부로부터 유지용수가 공급되지 않은 명정천과 척과천은 수량은 적어도 수질이 거의 1등급을 유지하였으나, 식생은 1~3등급으로 상·하류 구간에 따라 좌우되는 것으로 나타났다.

5. 결론

도시하천을 산책로나 자연거도로 등 이용과 중심에서 유지용수확보를 통한 생태하천을 위해 노력하고 있다. 울산의 대표적인 도시하천인 무거천, 약사천 여천천, 명정천 및 척과천 등 5개 하천을 대상으로 인위적 유지용수공급에 의한 생태복원 정도와 자연상태의 도시하천의

생태건전성 유지상태를 비교하였다.

1. 무거천에 대해 유지용수의 지속적인 공급으로 수질의 획기적인 개선과 생태복원의 가능성을 확인할 수 있었다.
2. 유지용수는 충분한 양의 확보와 공급이 필요하지만 깨끗한 수질의 용수공급이 더 중요하였으며, 여천천과 같이 염도가 높거나 수질이 나쁜 경우에는 오히려 생태복원을 저해할 수 있다.
3. 하천의 생태복원과 생태건전성 유지를 위해서는 약사천과 같이 유지용수의 확보와 더불어 퇴적된 오히려의 적절한 준설 등이 병행되어야 한다.
4. 척과천은 자연상태의 생태환경을 유지하고 있었으며, 비교적 풍부하고 깨끗한 자체 유지용수와 더불어 인접한 본류 하천인 태화강과의 연결성이 매우 중요한 역할을 하였다.
5. 명정천은 상류 일부 구간을 제외하고는 좁은 하폭과 저수로폭 및 적은 하천유량 그리고 본류인 태화강과의 연결성이 나빠 하천 생태환경이 좋지 못하였지만, 적절한 양의 유지용수 공급과 하구부의 개선으로 충분히 하천건전성을 회복할 수 있을 것으로 판단되었다.
6. 하폭이 작은 도시하천을 생태하천으로 조성한 경우에는 충분한 유지용수확보가 선행되어야 하며, 산책로 등 시민편의 시설을 최소화하여 동물들의 정주권 확보 및 이동을 자연스럽게 유지시켜야 한다.

감사의 글

본 연구는 울산녹색환경지원센터의 지원으로 수행한 ‘울산 도심하천의 생태건전성 회복조사 및 계획’ [12-2-70-76]과제의 성과입니다.

Reference

- Braun-Blanquet, J (1964). *Pflanzensoziologie 3rd ed.* Springer, Wien-New york.
- Cho, HJ and Yoon, JC (2009). The evaluation of river naturalness improvement using AHP, *J. of Wetlands Research*, 11(3), pp. 21-35. [Korean Literature]
- Cho, YH (1997). *Development of an evaluation method of stream naturalness for ecological restoration of stream corridors*, Ph.D. Dissertation, Seoul University, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Environmental Policy Act Enforcement Ordinance. (2012). *A Presidential Decree No. 24023 Article 2 (Environmental standards)*, Ministry of environment (Policy coordination division), [Korean Literature]
- Han, YH (2008). *Analysis of the Watershed Characteristics for Each River in Gangwon Province*, CIP-08-18, Gangwon Development Research Institute. [Korean Literature]
- Jang, JH, Kim, SD, Sung, KJ and Shin, HS (2007). Eco-hydrologic assessment of maintenance water supply on Oncheon stream, *J. of the Environmental Sciences*, 16(8), pp. 973-983. [Korean Literature]
- Jung, HJ, Cheon, KS, Ok, GH and Yoo, KO (2012). Flora of three river estuary areas of the east coast, Gangwon-do, *J. of the Korean society of environmental restoration technology*, 15(2), pp. 57-75 [Korean Literature]
- Kim, DC, Lee, J and Rack, IS (2000). An evaluation of stream naturalness for Close-to-nature stream restoration -In case of Suwon stream-, *J. of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 27(5), pp. 138-149. [Korean Literature]
- Kim GH (1999). *Evaluation of Habitat Conditions and Estimation of Optimum Flow for the Freshwater Fish*, Yonsei University, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Kim, IS (1997). *Han'guk tong singmul tpgam*, Vol. 37 Animal (Freshwater fish), Moongyobu. [Korean Literature]
- Lee, CB (2003). *Coloured flora of Korea*, Hyangmoonsa. [Korean Literature]
- Lee, SS (2007). A study on securing instream flow for restoring ecosystems and riverine aesthetics of a degraded urban stream -Applied to the Mugeo stream in the Ulsan metropolitan area-, *J. of the Environmental Sciences*, 16(5), pp. 649-655.
- Lee, UC (1996). *Coloured flora of Korea Standards*, Academibook. [Korean Literature]
- McNaughton, SJ (1967). *Relationship Among Function Properties of California Grassland*.
- Melchior, H (1964). *A Englesr's Syllaabus Der Pflanzenfamilien*, Berlin, Germany.
- Nelson, JS (1994). *Fishes of the World(3en ed.)*, John Willey & Sons, New York.
- Park, BJ, Shin, JI and Jung, KS (2005). The evaluation of river naturalness for biological habitat restoration : I. Proposal of evaluation method, *J. of the Environmental Sciences*, 38(1), pp. 37-48. [Korean Literature]
- Park, BJ, Sung, YD and Kang, TH (2003). Proposal of study on the evaluation of stream naturalness for stream corridor, *J. of Korea Water Resources Association*, Korea water resource association, 36(6), pp. 92-103. [Korean Literature]
- Pack JH and Cho, YH (1996). River ecological foundation of natural river plan, *J. of Korea water resources association*, 29(2), pp. 21-26. [Korean Literature]
- Pielou, EC (1977). *Mathematical Ecology*, John Willey & Sons, New York.
- Raunkiaer, C (1934). *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*, Oxford, pp. 632.
- Woo, HS, Lee, JW and Kim, KH (1998). Development of a method for determination of Instream flow need required for fish habitat conservation -Application to the Keum river-, *J. of The Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, 18(4), pp. 339-350. [Korean Literature]
- Yun, IB (1995). *Explanatory diagrams of aquatic insects*, Junghaengsa. [Korean Literature]
- Yun, IB (1988). *Han'guk tong singmul tpgam*, Vol. 30 Animal (Aquatic insects), Moongyobu. [Korean Literature]

- 논문접수일 : 2013년 03월 26일
- 심사의뢰일 : 2013년 03월 27일
- 심사완료일 : 2013년 05월 30일