

울산시 도심하천의 생태하천 복원사업에 따른 동물상 서식실태 조사 분석*

조홍제 · 강호선

울산대학교 공과대학 건설환경공학과

The Investigation of Faunal Habitat Based on Ecological Rostoration of Urban Streams in Ulsan*

Cho, Hong Je and Kang, Ho Seon

Department of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, University of Ulsan,
Daehak-ro 93, Nam-gu, Ulsan, Korea.

ABSTRACT

We researched the fauna restoration of 5 urban streams in Ulsan established as ecological streams by improving water quality and river environment. The fauna inhabitation were compared according to the conditions of geometrical feature such as river width, low-water channel width, ect and water quality, water volumn, inland and forceland. The Mugeo cheon has clearly shown the fauna restoration effects resulting from supplying sustainable maintenance water and wastewater treatments. In the Yaksa cheon, on the other hand, the restoration effects were low due to the inflow of wastewater and sledges in some part of stream ever though the improvement of water quality. The Yeocheon cheon was found to have disadvantage on the ecological inhabitations due to supplying the maintenance water with highly concentrated salinity. The fauna restoration effect of the Meongjeong cheon was low due to the inflow of wastewater to the down stream. Therefore by supplying the maintenance water and improving the connection to the Taehwa river at the estuary, better restoration effects could be observed. In the Cheokgwa cheon, which is almost a natural river,

* 본 연구는 2012년도 울산녹색환경지원센터 연구비 지원으로 수행되었음.

First author : Cho, Hong-Je, Department of Civil & Environmental Engineering, Ulsan University, Ph.D,
Tel : +82-52-259-2262, E-mail : hjcho@mail.Ulsan.ac.kr

Corresponding author : Kang, Ho Seon. Department of Civil & Environmental Engineering, Ulsan University the
doctor's course,
Tel : +82-52-259-1675, E-mail : kang1h1s1@naver.co.kr

Received : 31 May, 2013. **Revised** : 30 July, 2013. **Accepted** : 28 August, 2013.

the ecological integrity of the fauna population has been maintained quite well. It was concluded that the project to transform urban streams into ecological streams should focus on not only keeping water volume and quality but also maintaining favorable conditions for the migration and settlement of animal species close to the natural state.

Key Words : *Ecological stream, Ecological restoration, Faunal habitat, Maintenance water, Water quality improvement.*

I. 서 론

도시하천은 시가지를 지나거나 도시주변에 형성되어 있어 시민들의 중요한 친수공간일 뿐 아니라 수생태계와 육상생태계를 연결하는 생태적 공간이다. 일반적으로 도시하천은 하폭과 수로가 좁고, 유량과 수심이 작아 적은 양의 오수 유입에도 쉽게 오염된다. 우리나라 도시하천은 각종 오·폐수 유입과 복개 등으로 인해 대부분 오염된 상태이다. 더구나 각 지자체마다 폭이 좁은 하천 내에 산책로나 자전거 도로 등을 조성함으로써 생태계가 거의 회복 불가능 할 정도로 훼손되어 있다. 최근에는 단순한 친수공간 조성 등의 이용중심에서 친자연형 생태하천으로 조성하여 생태복원을 꾀하고 있다. 복개구간을 철거하거나 차집관거를 설치하여 오·폐수를 차단하고 유지용수 공급 등으로 인해 생태복원 효과가 나타나고 있는 사례가 많다(Pyo and You, 2011).

하폭과 저수로 폭이 좁은 도시하천에서 동물상이 복원되기 위해서는 각 하천의 규모에 따라 어류 등이 서식할 수 있는 최소한의 유지용수가 우선적으로 확보되어야 한다. 유지용수는 적절한 양이 공급되어야 하지만 환경적·생태적 기능이 유지될 수 있도록 일정 수준 이상의 수질이 확보되어야 한다. 공간적으로는 다소 무리하게 산책로 등의 이용시설이 설치되는 관계로 하상경사나 수로단면이 획일적으로 조성되는 경향이 있으나, 어류나 저서

성 무척추동물 및 양서류 등의 지속적인 서식이 가능하도록 여울과 소 그리고 돌무더기나 식생 등에 의한 피난처를 충분히 조성할 필요가 있다(Kim, 2000). 특히 조류 등은 간섭의 최소화 등 정주여건에 따라 그 서식정도가 크게 좌우된다.

생태하천 조성이나 복원사업에 따른 하천생태계의 변화에 대한 직접적인 연구성과가 많은 편은 아니며, 하천에서의 동물상 복원 등에 관련된 다수의 연구를 확인하였다. 하천 고유의 갈수량과 하천생태계 및 하천경관 등의 정량화를 통해 하천규모에 적절한 하천유지유량을 제시하였으며(Pack and Cho, 1996), 영산강 지류인 지석강 수계에 대한 저서성무척추동물에 대한 전반적인 조사를 통해 하천의 환경변화에 따른 저서성무척추동물의 영향을 파악하였으며(Song, 1997), 어류서식지 유지에 필요한 최소한의 유지유량 결정방법을 제시하였다(Woo *et al.*, 1998). 수생 무척추동물과 미소동·식물의 서식활동과 하천생태계의 간접적으로 판단하는 방법을 고안하였고(Kim, 2000), 도시하천의 자연형 하천복원의 정도를 평가할 수 있는 기준을 제시하였다(Kim *et al.*, 2000). 도시하천의 하천생태계 기능유지에 필요한 최적 유지유량 산정과 확보방안을 검토하였고(Lee, 2007), 도림천 및 주변지역에 서식하는 육상동물에 관한 생태학적 기초연구를 실시하였다(Lee, 2009). 운문산 상류 수계내의 저서성 대형무척추동물상 조사와 그에 따른 생물

학적 수질평가가 이루어졌으며(Lee *et al.*, 2010), 그리고 도심하천과 자연하천의 식생형에 따라 조류의 종별 분포유형이 뚜렷이 구분되는 것을 밝힌 바 있다(Pyo *et al.*, 2011). 황성호 상류 수계내의 저서성 대형무척추동물 군집구조의 생태적 특성과 생물학적 수질평가를 실시하였고(Lee *et al.*, 2012), 수변생물 특성상태의 조사 및 분석은 하천의 생태하천 복원을 위한 기초자료로서의 활용도가 높음을 제안하였다(Lee and Kim, 2000). 안양천 하수처리 재이용에 따른 계절별 수질오염을 분석하고 하천생태계의 변화원인을 조사하였으며(Lee *et al.*, 2013), 도시하천의 유지용수의 지속적인 공급으로 수질이 개선되는 경우 하천생태계가 점진적으로 복원될 수 있음을 확인하였다(Cho and Lee, 2013). 하천내 저수수체군의 하천생태계 다양성 확보 가능성과 생태적 기능을 분석하였다(Kim *et al.*, 2013).

본 연구는 울산을 상징하는 태화강의 주요 지천으로서 도심에 위치한 무거천, 약사천, 여천천, 명정천 및 척과천 등 5개 하천을 대상으로 생태하천 조성상태와 각 하천의 하폭, 저수로폭, 수질, 유지용수 및 주변여건 등 제반 물리적 특성과 그에 따른 동물상 서식현황을 조사하여 비교·분석하였다. 각 하천은 5~10년전 부터 수질개선과 유지용수공급 등으로 생태하천을 조성하였고, 주변지역 개발이 늦게 이루어진 척과천을 제외하면 생태하천 조성전에는 수질악화에 따른 악취로 인해(Ministry C&T, 2001) 접근이 여의치 않은 상태였다. 그로인해 척과천을 제외하면 동물상이나 생태계에 대한 체계적인 조사는 이루어지지 않았으며, 하천개수계획을 위한 수질조사만 부분적으로 이루어진 상태였다. 척과천에 대한 동물상 자료도 조사지점이 다르고 내용이 미흡하여 복원여부에 대한 비교자료로 활용할 수 없었다. 따라서 본 연구 성과를 기초로해서 도심하천에 대한 생태하천 조성시에

반드시 고려되어야 할 유지용수의 수질 및 수량이 동물서식 여건과 복원 정도에 미치는 효과분석과 조성방향을 제시하는데 주목적을 두었다.

II. 조사지역 및 방법

1. 조사시기 및 범위

본 연구대상지인 무거천은 하천의 전구간이 연구대상이 되었으나 척과천은 도심하천 구간으로 한정하였고, 명정천은 상류지역이 개발중이며 약사천과 여천천은 상류지역이 복개구간이다. 각 하천마다 주요지점 5곳을 선정하여 2012년 4월부터 11월까지 월 1회씩 일반적인 하천환경과 7개 항목(pH, DO, 수온, 악취, 색도, 탁도, BOD)에 대한 수질조사를 실시하였으며, 조사시기는 갈·저수시와 홍수시 현황과약을 위해 강우가 적을 경우와 많을 경우 등을 고려하여 결정하였다. 현장조사는 하천 유량의 변화에 따라 갈·저수시, 평수시, 홍수시의 하천환경변화, 하천정비 및 환경정화사업, 오염원 파악 등 하천환경의 전반적인 변화를 관찰하였다.

척과천을 제외하고는 체계적인 동물상 조사 자료가 없었으며, 동물상을 파악하기 위해 조류, 양서·파충류, 어류, 저서성 대형무척추동물

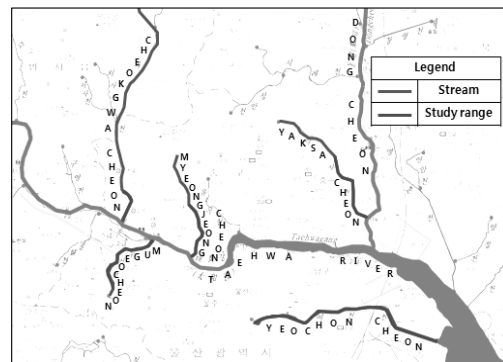


Figure 1. Map of selected streams of the Tachwa river basin in Ulsan.

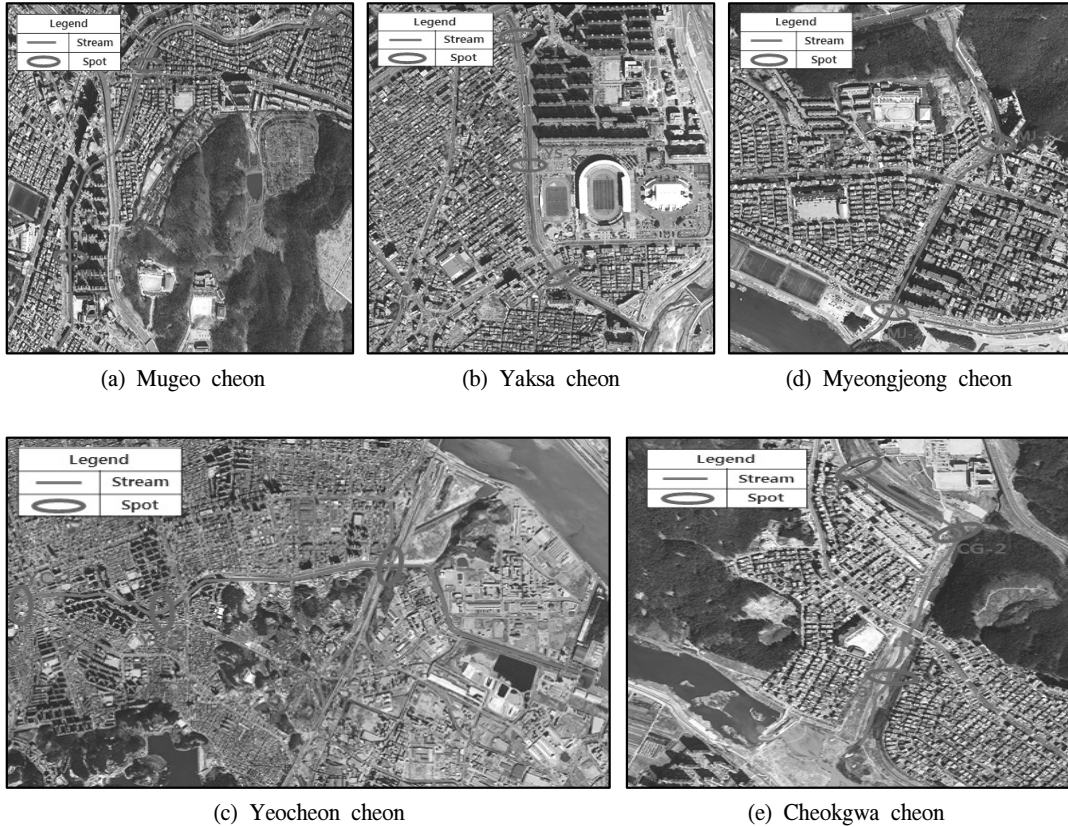


Figure 2. Studied site in streams.

등 4개 항목을 대상으로 2012년 6월 23~27일과 10월 27~29일 두차례 현지조사를 실시하였다. 하천변 조류 및 양서·파충류의 조사범위는 하천과 그 주변지역에 대해 조사를 실시하였으며, 어류와 저서성 대형무척추동물은 하천의 크기가 작은 명정천은 2곳 그리고 나머지 4개 하천은 각 3곳을 조사지점으로 선정하였다(Figure 2).

2. 대상하천 현황

무거천은 유지용수의 지속적 공급, 복개구간 철거, 차집관거 매설에 의한 오수유입 차단, 식생조성 그리고 여울 및 소 설치 등 생태하천 조성에 필요한 다양한 노력으로 중·상류 구간에는 어류 서식이 가능한 수량과 수심

및 유속이 유지되고 있으며, 수질도 1~2급수를 유지하고 있다. 그러나 하천유역 주변이 주거밀집 지역이고 산책로 등이 조성되어 있어 동물들의 정주여건은 불리한 상태이다. 약사천은 유지용수 공급과 오수유입 차단 등 생태하천 조성에 필요한 노력을 하였으나 일부구간에서 미처리된 오수가 유입되고 퇴적된 오수가 분포하고 있다. 하천공간은 주변 도로보다 2~5m 낮게 형성되어 있고, 10m 정도의 좁은 하폭 내에 무리하게 산책로가 조성되어 있어 생태복원에 불리한 여건이다. 여천천은 상류 일부구간은 하폭이 좁고 수량은 적으나 수질은 양호하여 생태건전성이 유지되고 있다. 하지만 중·상류 구간에 위치한 복개구간으로 유입되는 다량의 오수로 인해 중·하류

구간의 수질은 매우 나쁜 상태이다. 수년전 복개구간이 끝나는 지점에 설치한 유지용수공급 시설을 이용하여 태화강 하류지점에서 비교적 많은 물이 공급되고 있으나 염도가 높아 하천 생태계 복원은 근원적으로 어려운 상태이다. 또 하천의 폭은 비교적 넓지만 획일적인 수로 단면과 느린 유속 및 일정한 수심으로 생태적 여건은 불리하며, 수변공원과 산책로 조성으로 동물들이 지속적인 인간의 간섭을 받고 있다. 명정천은 상류가 산지와 접하고 있고 자연 하천상태를 유지하고 있으나, 하류는 하폭이 10m 내외이고 저수로폭도 2~3m 정도로 좁고

인공제방이 높아 동물들의 이동이 어려운 상태이다. 하구부는 어도를 설치하여 태화강과의 연결성을 꾀하였으나 시설이 미비하여 효과가 작은 것으로 조사되었다. 반면에 척과천은 주변에 주거지가 일부 형성되어 있으나 산지 및 경작지가 넓게 분포하여 개방공간이 많으며, 비교적 하폭이 넓고 하천수도 갈수기를 제외하고는 풍부한 편이다. 하구부는 태화강과 자연스럽게 연결되어 있고 넓은 갈대숲과 모래톱 등이 형성되어 있어 자연상태의 하천 모습을 유지하고 있다(Table 1, 2)(Cho and Lee, 2013).

Table 1. Characteristics of streams and maintenance water supply.

Stream name	River extention (km)	Basin area (km ²)	River width (m)	River grade	Ecologic stream establishment	Maintenance water supply	
						The outside	Fresh water / Saltwater
Mugeo cheon	2.59	5.67	20~30	The 2nd regional stream	○	○	Fresh water
Yaksa cheon	5.40	6.10	10~15	The 2nd regional stream	○	○	Fresh water
Yeocheon cheon	6.50	12.64	10~50	The 2nd regional stream	○	○	Saltwater
Myeongjeong cheon	1.13	3.44	10~15	Small stream	×	×	Fresh water
Cheokgwa cheon	13.11	40.51	40~50	The 2nd regional stream	×	×	Fresh water

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
Mugeo cheon	2~4	11,000	0.30	Underground flow / Fresh water
Yaksa cheon	2~3	5,000	0.20	Underground flow / Fresh water
Yeocheon cheon	7~10	80,000	0.35	Surface water / Saltwater
Myeongjeong cheon	2~3	-	0.15	State of nature
Cheokgwa cheon	5~15	-	0.20	State of nature

Table 3. Comparison of water quality change.

Stream name	Article	2001	2003	2005	2008	2012	Maintenance water supply
	Year						
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				-	

수질조사 항목 중 과거에 조사항목이 존재하여 수질의 개선여부를 파악할 수 있는 BOD 등 4개의 항목에 대해 비교하였으며, Table 3과 같다. Table 3에 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.

3. 조사방법

1) 조류

조류조사는 현지조사를 중심으로 실시하였으며, 전 지역에 걸쳐 서식하는 종류와 개체를 파악하고, 법정보호종의 종류와 실태 및 분포 현황을 조사하였다. 이를 위해 조류가 서식하기에 적합한 지역과 훼손지역 등 전 하천 구간을 조사 대상 지역으로 선정하였고, 조사방법은 선조사법과 정점조사법을 병행하였다(Bibby *et al.*, 1997).

2) 양서·파충류

양서·파충류는 직접확인 방법으로 무미양

서류 및 유미양서류와 파충류를 조사하였고, 간접확인 방법으로는 무미양서류 울음소리와 파충류 흔적 및 청문조사를 활용하였다.

3) 어류

어류채집은 대부분 투망(10×10mm망목)과 족대(4×4mm망목)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 고정된 다음 실험실에서 종을 동정하였다. 종 동정은 한국동식물도감(Ministry of Education, 1997)을 참조하였으며, 분류체계는 Nelson(1994)에 따라 실시하였다.

4) 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 수서곤충검색도설 등을 인용하였다(Yun, 1988; Yun, 1995). 종 수준까지 분류가 어려운 종은 외부형태가 확연히 구별되는 종을 대상으로 임의로 과나 속수준 등에서 정리하였다. 저서성 대형무척추동물의 군집구조를 파악하기 위해 채취시기 및 지점별로 개체수와 종수, 종다양성지수, 우점도지수를 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 조류

각 하천별로 조류 목록을 작성하여 종다양도를 비교하였으며, 인위적 생태하천으로 조성

된 무거천, 약사천 및 여천천에 비해 자연생태를 유지하고 있는 척과천과 명정천의 종다양도가 높게 나타났다. 그리고 조류는 공간적 간섭을 많이 받는 특성상 수량과 수질에 대한 직접적인 상관관계는 확인 할 수 없었다.

1) 무거천

무거천의 주변은 주거지역으로 수변공원 및 산책로가 설치되어 인간의 간섭이 높은 공간적 특성상 주로 소형 조류가 관찰되었다. 관찰된 조류는 총 10과 12종 99개체이며, 법정보호종은 천연기념물인 황조롱이 1개체 확인되었다. 주요 우점종은 참새(56.8%)가 가장 많았고, 수조류인 안락할미새(11.1%), 까치(7.1%), 검등할미새(5.1%) 그리고 흰뺨검둥오리(4.0%) 순으로 조사되었으며 종다양도는 1.56이다.

2) 약사천

약사천의 주변은 주거지역으로 폐쇄적인 하천공간 특성을 나타내며, 수변에 산책로가 설치되어 지속적인 인간간섭이 이루어져 대부분 소형 조류가 관찰되었고 정주시간이 매우 짧았다. 관찰된 조류는 총 9과 9종 80개체이며, 주요 우점종은 참새(55.0%)가 가장 많았고, 붉은머리오목눈이(13.8%), 딱새(10.0%), 멧비둘기(8.8%) 그리고 까치(3.8%) 순으로 조사되었고 종다양도는 1.49이다.

3) 여천천

여천천은 수변공원과 산책로 조성으로 인해 지속적으로 인간간섭을 받으므로 조류의 활동은 미미하고, 주로 가로수 혹은 간섭이 거의 없는 하류의 갈대밭에서 관찰되었다. 관찰된 조류는 총 7과 8종 175개체이며, 주요 우점종은 참새(48.0%)가 가장 많았고, 붉은머리오목눈이(28.0%), 멧비둘기(10.7%), 알락할미새(4.0%) 순으로 조사되었고 종다양도는 1.42이다.

4) 명정천

명정천의 중·하류부 주변은 주거지역이나 상류부는 산지와 접하고 있어 임연부에서 흔히 관찰되는 조류가 일부 확인되었다. 관찰된 조류는 총 10과 13종 75개체이며, 참새(41.3%)가 가장 많았고, 붉은머리오목눈이(24.0%), 멧비둘기, 직박구리 및 까치(각 5.3%), 딱새 및 알락할미새(각 4.0%) 순으로 조사되었고 종다양도는 1.86이다.

5) 척과천

척과천의 주변은 산지, 주거지역, 경작지 등이

위치하고 개방공간이 많으며, 비교적 하폭이 넓어 다양한 산새와 대형 수조류(백조류)가 관찰되었다. 관찰된 조류는 총 13과 20종 152개체이며, 주요 우점종은 붉은머리오목눈이(40.8%), 참새(15.8%), 멧비둘기(7.2%), 알락할미새(5.9%), 까치(5.3%), 흰뺨검둥오리(4.6%) 순으로 조사되었고 종다양도는 2.13이다.

2. 양서·파충류

각 하천별로 양서·파충류 목록을 작성하여 분포특성과 종다양도 등을 비교하였다(Table 4). 하천 수량은 많지만 수질이 오염된 여천천은

Table 4. List of herpeto-fauna of surveyed urban streams in Ulsan.

Scientific Name	Korean name	Mugeocheon	Yaksacheon	Yeocheoncheon	Myeongjeongcheon	Cheokgwacheon	literature investigation
Family Hynobidae	도롱뇽과						
<i>Hynobius leechi</i>	도롱뇽	-	H	-	-	-	※
Family Discoglossidae	무당개구리과						
<i>Bombina orientalis</i>	무당개구리	A(+)	A(+)	A(+)	A(+)	A(++)	※
Family Bufonidae	두꺼비과						
<i>Bufo bufo gargarizans</i>	두꺼비	-	-	-	-	H	※
Family Hylidae	청개구리과						
<i>Hyla japonica</i>	청개구리	-	-	-	-	-	※
Family Ranidae	개구리과						
<i>Rana nigromaculata</i>	참개구리	A(++)	A(+)	A(+)	A(++)	A(++)	※
<i>Rana rugosa</i>	옴개구리	A(+)	A(+)	-	-	A(++)	※
<i>Rana dybowskii</i>	북방산개구리	-	-	-	-	-	※
<i>Rana catesbeians</i>	황소개구리	-	-	-	S	A(+)	※
Family Lacertidae	장지뱀과						
<i>Takydromus wolteri</i>	줄장지뱀	-	-	-	-	A(+)	-
Family Colubridae	뱀과						
<i>Enhdiis rufodorsata</i>	무자치	-	-	-	-	-	※
<i>Natrix tigrina lateralis</i>	유혈목이	H	-	-	H	A(+)	※
<i>Elaphe dione</i>	누룩뱀	-	-	-	-	A(+)	-
Total advent genus		4	4	2	4	8	10

Load 1) A : Adult, T : Tadpole, J : Juvenile, S : Heard the song H : Heard the evidence, E : Egg

2) + : Below 5 individual, ++ : Over 5 individual

Reference : Ministry of Environment. 2007. 3rd Natural Environment Survey Ulsan[359063]

열악한 서식환경에 의해 가장 빈약한 종의 분포를 보이며, 무거천, 약사천, 명정천은 비슷한 종의 분포를 보였으나 수량과 수질이 양호한 무거천에서는 유혈목이 등이 출현하여 상대적 우위를 나타내었다. 특히 수질이 양호하고 자연상태에 가까운 척과천은 종의 분포도 가장 다양하고 높게 나타났다.

1) 무거천

무거천 주변은 주거지역으로 공급원이 매우 빈약하고, 친수공간 조성으로 지속적인 간섭을 받고 있어 양서·파충류의 활동이 제한적이다. 서식이 확인된 양서·파충류는 총 3과 4종이며, 법정보호종의 서식은 확인되지 않았다. 참개구리의 출현이 가장 높았고 무당개구리와 옴개구리가 일부 채집·관찰되었으며, 청문조사에서 유혈목이가 확인되었다.

2) 약사천

약사천은 수생식물이 번성하여 양서·파충류에 양호한 서식환경을 제공하고 있으나, 생활하수에 의한 수질오염과 높게 조성된 인공제방으로 하천공간이 단절되어 빈약한 분포를 보였다. 서식이 확인된 양서·파충류는 총 3과 4종이며, 법정보호종은 확인되지 않았다. 관찰된 양서·파충류는 참개구리, 옴개구리, 무당개구리였고 개체수는 1~2개체로 매우 낮았으며, 청문을 통해 도롱뇽의 분포가 확인되었다.

3) 여천천

여천천은 하천폭이 넓은 편이어서 미소 서식공간을 제공할 수 있으나, 산책로 등 수변공원 조성으로 인간간섭이 높고 생활하수와 염도가 높은 유지용수공급으로 빈약한 분포를 보였다. 서식이 확인된 양서·파충류는 총 2과 2종이며, 법정보호종은 확인되지 않았다. 관찰된 양서·파충류는 참개구리와 무당개구리가

1~2개체로 매우 낮았으며, 하천 중류부에 위치한 물웅덩이에서 확인되었다.

4) 명정천

명정천 주변은 상류 일부구간을 제외하고는 대부분 주거지역으로 공급원이 빈약하며, 인공제방이 높게 조성되고 양서·파충류의 이동이 제한되어 빈약한 분포를 보였다. 관찰된 양서·파충류는 3과 4종으로 법정보호종은 확인되지 않았다. 참개구리의 출현이 가장 높았고 무당개구리가 관찰되었으며, 태화강으로부터 유입된 것으로 판단되는 황소개구리가 울음소리를 통해 그리고 청문조사에서 유혈목이 분포가 확인되었다.

5) 척과천

척과천은 하폭이 넓고 자연상태 유지구간이 많아 미소 서식공간이 풍부하여 다양한 양서·파충류가 분포하였다. 서식이 확인된 양서·파충류는 총 6과 8종이며, 법정보호종은 확인되지 않았다. 참개구리, 옴개구리, 무당개구리의 출현이 가장 높았고 청문조사에서 두꺼비의 분포가 확인되었다. 어류조사시 황소개구리 1개체가 채집되었으며, 제방부에서 줄장지뱀과 달뿌리풀 군락지에서 누룩뱀 그리고 수변부에서 유혈목이의 이동이 관찰되었다.

3. 어류

어류는 유지용수 공급에 따른 수질오염개선과 분류인 태화강과의 연결성개선 등 생태하천으로의 정비효과가 가장 크게 나타났다. 각 하천별 어류 목록을 작성하고 과별 종조성과 군집지수 등을 조사하였다(Table 5). 적절한 수량과 깨끗한 수질에 의해 생태하천 복원효과가 가장 크게 나타난 것은 무거천이며, 여천천과 약사천은 수질과 미처리된 오니 등 오염물질에 의해 생태하천 복원효과가 거의 없거나 미미한 것으로 나타났다. 명정천과 척과천

Table 5. The aggregation index of investigated sites.

Biotic index		Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
Surveyed plots					
Mugeocheon	MU-1	1.24	0.90	0.67	1.67
	MU-2	1.12	0.81	0.85	1.17
	MU-3	1.26	0.57	0.77	1.64
Yaksacheon	YS-1	1.23	0.76	0.81	1.15
	YS-2	0.52	0.37	0.94	0.87
	YS-3	0.19	0.27	1.00	0.27
Yeocheoncheon	YC-1	0.64	0.92	1.00	0.91
	YC-2	0.51	0.46	0.97	0.55
	YC-3	0.50	0.72	1.00	0.62
Myeongjeongcheon	MJ-1	1.03	0.75	0.82	1.25
	MJ-2	0.71	0.44	0.89	1.10
Cheokgwacheon	CG-1	1.07	0.77	0.80	0.84
	CG-2	1.08	0.60	0.80	1.28
	CG-3	1.02	0.47	0.84	1.83

은 수량은 작지만 깨끗한 수질과 자연상태 유지가 어류 및 생태계 보전과 활성화에 더 효과적인 것을 확인하였다.

1) 무거천

최근 생태하천정비 이후 어류상이 회복되고 있으며, 하류부가 태화강과의 연결성이 개선되면 어류가 보다 풍부해질 수 있다. 총 6과 13종 151개체의 어류가 채집되었으며, 한국고유종인 미유기와 동사리 2종(15.4%)가 출현하였다. 과별 종조성은 잉어과 7종, 메기과 2종, 미꾸리과, 송어과, 동사리과 그리고 망둥어과가 각 1종씩 출현하였다. 무거천 전반에 걸쳐 잉어과 어종의 종수나 개체수가 높았으나 하류부에서는 태화강으로부터 소상한 송어와 치어 무리가 분포하여 계절적 특성을 나타내었다. 군집분석에 따르면 중·상류지역에서는 채집된 개체가 적었고 하류지역에서는 송어의 강제로 낮은 균등도를 나타내는 등 전반적인

생물지수의 값이 낮게 나타났다.

2) 약사천

정수지역과 수생식물이 번성하지만 생활하수에 의한 수질오염과 불량한 서식환경으로 출현한 어종은 대부분 수질오염에 대한 내성종이었다. 총 4과 4종 106개체의 어류가 채집되었으며, 법정보호종, 한국고유종 및 환경부 생태계교란동물에 속하는 어종은 출현하지 않았다. 과별 종조성은 잉어과 2종, 미꾸리과, 송어과 그리고 망둥어과 각 1종씩 출현하였다. 동천으로부터 소상한 송어과(78.3%) 어종이 우세하였고 붕어(14.2%), 참붕어(3.8%), 미꾸리와 밀어(각 1.9%) 등의 순으로 나타났다. 군집분석에 따르면, 수질오염으로 빈약한 어류상을 보였고 특정종의 우점도가 높아 생물지수의 값이 낮게 나타났으며, 균등도, 종다양도 및 종풍부도가 현저히 낮았다.

3) 여천천

상류지역은 여울성의 유수역이 있으나 유량이 적으며, 하류는 유지용수의 공급으로 유량은 풍부하지만 염도가 높고 생활하수에 의한 수질오염이 매우 심하여 출현한 어종은 수질오염 내성종이 대부분 이었다. 총 4과 4종 46개체가 채집되었으며, 법정보호종, 한국고유종 및 생태계교란종 등은 확인되지 않았다. 과별 종조성은 잉어과, 미꾸리과, 송사리과 그리고 망둥어과 각 1종씩 출현하였다. 군집분석에 따르면, 수질오염으로 빈약한 어류상을 보였으며 생물지수의 값이 현저히 낮았고 어류군집의 차이가 거의 나타나지 않았다.

4) 명정천

태화강과의 하천 연속성이 낮고 유량이 적어 정체된 구간이 나타났으며, 하류부는 정수역으로 정수성 수변식물이 발달한 서식환경을 보였다. 총 3과 6종 49개체가 채집되었으며, 법정보호종, 한국고유종 및 환경부 생태계교란종은 확인되지 않았다. 과별 종조성은 잉어과 3종, 미꾸리과 2종 그리고 망둥어과 1종이 출현하였다. 우점종은 붕어(65.3%), 버들치(14.3%), 누치와 미꾸리, 밀어(각 6.1%) 그리고 미꾸라지(2.0%) 등의 순으로 나타났다. 군집분석에 따르면, 빈약한 어류군집과 특정어종의 우점도가 높아 생물지수 값이 낮았고, 특히 하류부(MJ-2)에서는 높은 우점도 및 낮은 균등도로 군집안정도가 낮았다.

5) 척과천

태화강으로 부터 연결성이 좋아 은어 등 회유성 어종이 소상하지만 인공구조물(어도)에 의한 하천연속성이 저하되어 제한적인 분포를 보였다. 총 7과 13종 164개체의 어류가 채집되었으며, 법정보호종과 생태계교란종은 확인되지 않았으나 한국고유종인 긴물개, 왕종개, 꺾지 및 동사리 등이 4종(30.8%)으로 높은 고

유화빈도를 나타내었다. 과별 종조성은 잉어과 6종, 미꾸리과 2종, 통가리과, 바다빙어과, 꺾지과, 동사리과 그리고 망둑어과가 각 1종씩 출현하였다. 우점종은 참갈겨니(69.5%)였고 피라미(7.3%), 긴물개(6.1%), 들고기(4.9%), 버들치(4.3%) 등으로 나타났다. 군집분석에 따르면 참갈겨니가 높은 우점도를 나타냄에 따라 생물지수 값이 낮게 났고, 하천구간별 어류군집은 유사하였으나 상류에서 하류로 갈수록 종풍부도가 높게 나타났다.

4. 저서성 대형무척추동물

저서성 대형무척추동물도 유지용수 공급여부와 수질에 따른 생태회복 효과가 뚜렷한 것으로 나타났으며, 각 하천별 특성에 대한 비교를 하였다. 무거천은 수량과 수질이 양호한 상류에서 중류까지는 수질등급이 매우 좋은 상태의 플라나리아가 우점하고, 아직 처리되지 못한 오수가 유입하는 하류에서는 수질등급이 나쁜 상태의 붉은 깔다구류가 우점하는 것으로 나타났다. 수질이 나쁘고 오수가 많이 퇴적된 약사천과 여천천에서는 전구간에서 수질등급이 나쁜 생물지표종인 실지렁이와 원돌이물달팽이 등이 우점하였고, 반면에 유량은 작지만 수질이 좋고 오염원의 유입이 적은 척과천과 명정천은 수질이 매우 좋은 지표종인 플라나리아와 띄무늬우물날도래 등이 우점하고 있는 것으로 나타났다.

1) 무거천

분류군별 출현종은 4문 7강 16목 26과 32종 1,769개체이고 법정보호종은 확인되지 않았다. 개체수 현존율은 총 1,769개체였으며(Table 6), 비곤충류가 1.6%이고 그 외는 모두 수서곤충류였다. 수서곤충류 중 하루살이목이 75.6%로 가장 많은 구성비를 나타냈으며, 파리목(6.7%), 날도래목(0.7%) 등의 순으로 출현하였다. 군집분석에서는 개똥하루살이가 높은

Table 6. Population existing rate of taxonomic group in Mugeo cheon.

Taxonomic group		Surveyed plots			Population	Population existing rate
		MU-1	MU-2	MU-3		
Non-insect species		77	117	94	288	
In-secta	Ephemeroptera	16	426	895	1,337	
	Odonata	1	5	-	6	
	Heteroptera	2	4	-	6	
	Coleoptera	-	1	-	1	
	Diptera	48	40	31	119	
	Trichoptera	2	3	7	12	
Total		146	596	1,027	1,769	

Table 7. Biotic index of each surveyed plots in Mugeo cheon.

Surveyed plots	Biotic index			
	Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
MU-1	2.10	0.73	0.56	3.41
MU-2	1.69	0.55	0.67	3.29
MU-3	0.96	0.31	0.85	2.88

밀도로 우점하고 있고 물달팽이가 아우점하고 있었다(Table 7). 조사지점 중 낮은 우점도와 높은 균등도를 보인 상류(MU-1)에서 가장 양호한 생물지수가 나타났고, 특정종의 우점도가 높은 하류(MU-3)에서는 상대적으로 낮은 생물지수가 나타났다.

2) 약사천

분류군별 출현종은 3문 5강 6목 10과 10종 519개체이고 법정보호종은 확인되지 않았다. 개체수 현존율은 총 519개체였으며(Table 8), 비곤충류가 89.0%로 가장 많은 현존량을 나타내었는데 이는 수질 오염으로 오염내성이 높은 실지렁이와 원돌이물달팽이 등의 현존량이 높았기 때문이다. 파리목(10.0%)과 잠자리목(1.0%) 등의 순으로 출현하였다. 군집분석에 따른 생물지수에 따르면(Table 9), 상류에서 하류부까지 군집구조의 변화는 크지 않고 서로 유사점

을 보였으며, 수질오염으로 저서동물의 군집구조가 빈약하였다.

3) 여천천

분류군별 출현종은 4문 6강 10목 15과 16종 427개체이고 법정보호종은 확인되지 않았다. 개체수 현존율은 427개체였으며(Table 10), 비곤충류가 77.0%로 가장 많은 현존량을 나타내었다. 이는 생활하수에 의한 수질오염으로 오염내성종인 실지렁이, 원돌이물달팽이, 물달팽이 등의 현존량이 높았기 때문이며, 수서곤충류 중에서는 오염내성종인 붉은갈다구 등의 파리목(15.9%), 하루살이목(5.6%) 순으로 출현하였다. 군집분석에 따른 생물지수에 따르면(Table 11) 수질오염으로 전반적으로 빈약한 군집구조를 보였으며, 상류(YC-1)는 양호한 수질로 인해 유수역에서 일반적으로 나타나는 군집구조를 보였다.

Table 8. Population existing rate of taxonomic group in Yaksa cheon.

Taxonomic group		Surveyed plots			Population	Population existing rate
		YS-1	YS-2	YS-3		
Non-insect species		255	150	57	462	
In-secta	Odonata	5	-	-	5	
	Diptera	30	22	-	52	
Total		290	172	57	519	

Table 9. Biotic index of each surveyed plots in Yaksa cheon.

Surveyed plots	Biotic index			
	Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
YS-1	1.45	0.63	0.68	1.59
YS-2	1.43	0.80	0.65	0.97
YS-3	1.25	0.90	0.74	0.74

Table 10. Population existing rate of taxonomic group in Yeocheon cheon.

Taxonomic group		Surveyed plots			Population	Population existing rate
		YC-1	YC-2	YC-3		
Non-insect species		158	99	72	329	
In-secta	Ephemeroptera	24	-	-	24	
	Odonata	1	-	-	1	
	Diptera	11	33	24	68	
	Trichoptera	5	-	-	5	
Total		194	132	96	422	

Table 11. Biotic index of each surveyed plots in Yeocheon cheon.

Surveyed plots	Biotic index			
	Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
YC-1	1.78	0.66	0.66	2.64
YC-2	1.11	0.62	0.83	1.02
YC-3	0.94	0.68	0.89	0.66

Table 12. Population existing rate of taxonomic group in Myeongjeong cheon.

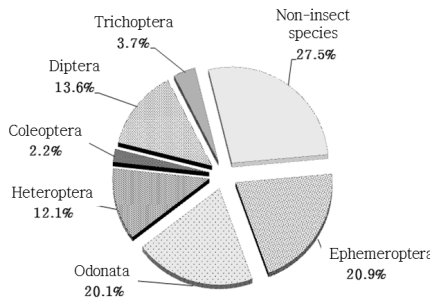
Taxonomic group		Surveyed plots		Population	Population existing rate
		MJ-1	MJ-2		
Non-insect species		22	53	75	
In-secta	Ephemeroptera	52	5	57	
	Odonata	17	38	55	
	Heteroptera	6	27	33	
	Coleoptera	2	4	6	
	Diptera	11	26	37	
	Trichoptera	1	9	10	
Total		111	162	273	

Table 13. Biotic index of each surveyed plots in Myeongjeong cheon.

Surveyed plots	Biotic index			
	Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
MJ-1	2.07	0.70	0.55	3.82
MJ-2	3.00	0.85	0.29	6.49

4) 명정천

분류군별 출현종은 3문 5강 13목 27과 38종 273개체이고 범종보호종은 확인되지 않았다. 하천폭과 저수로폭이 작은 관계로 개체수 현존율도 273개체로서 5개 하천 중 가장 적었다(Table 12). 중구성비는 비곤충류가 12종(31.6%)이었고, 수서곤충류에서는 잠자리목이 13종(34.2%)으로 가장 다양하였다. 이는 정수역이 형성되어 수변식물 번성으로 잠자리류에 풍부한 미소 서식공간을 제공하기 때문이다. 그 외 노린재목이 4종(10.5%), 딱정벌레목과 날도래목이 각각 3종(7.9%) 등의 순으로 출현하였다. 군집분석에 따른 생물지수에서는 개똥하루살이가 우점하고 붉은 갈따구류가 아우점하고 있으며(Table 13), 하류(MJ-2)는 상류(MJ-1)보다 상대적으로 높은 균등도와 우점도가 매우 낮아 상당히 양호한 생물지수를 나타내었다. 전반적으로 볼 때 군집특성은 안정적인 것으로 보인다.

5) 척과천

분류군별 출현종은 4문 6강 14목 33과 45종 967개체이고 범종보호종은 확인되지 않았다. 비교적 풍부한 유지용수와 자연하천 상태가 잘 유지되고 있어 비곤충류가 13종(28.9%)이었고 수서곤충류도 11종(24.4%)의 잠자리목이 가장 다양하였다. 이는 정수역과 수생식물이 번성하여 잠자리류의 다양한 서식공간이 제공되고 있기 때문이다. 개체수 현존율은 967개체였으며(Table 14), 이중 비곤충류가 16.1%였고, 그 외는 모두 수서곤충류로서 하루살이목이 63.4%였다. 다음으로 파리목(7.4%)과 잠자리목(6.4%) 순으로 출현하였다. 군집분석에 대한 생물지수는 네 점하루살이가 높은 밀도로 우점하고 있었으며, 개똥하루살이가 아우점하고 있었다(Table 15). 특정종의 우점도가 낮고 구성종간의 균질성이 높으며, 다양한 종들이 풍부하게 분포하는 등 안정적인 군집구조를 나타내었다.

Table 14. Population existing rate of taxonomic group in Cheokgwa cheon.

Taxonomic group	Surveyed plots			Population	Population existing rate	
	CG-1	CG-2	CG-3			
Non-insect species	39	45	72	156		
In-secta	Ephemeroptera	-	5	608		613
	Odonata	16	22	24		62
	Heteroptera	11	10	9		30
	Coleoptera	2	1	1		4
	Diptera	13	5	54		72
	Trichoptera	-	-	30		30
Total	81	88	798	967		

Table 15. Biotic index of each surveyed plots in Cheokgwa cheon.

Surveyed plots	Biotic index			
	Species diversity	Species evenness	Index of dominance	Species richness
CG-1	2.51	0.85	0.41	4.10
CG-2	2.79	0.89	0.30	4.91
CG-3	1.88	0.54	0.72	4.64

IV. 결 론

본 연구는 생태하천 조성으로 수질오염과 생물서식환경이 개선된 울산시의 주요 도심하천인 무거천, 약사천, 여천천, 명정천 및 척과천에 대한 동물상 서식환경을 조사하였고, 각 하천별 수질이나 수량 등 물리적 특성과 그에 따른 동물상의 서식현황을 비교·분석하였다. 과거에는 대상하천들에 대한 치수위주의 획일적인 하천정비와 수질오염으로 인해 생물서식환경이 열악하였고, 척과천을 제외하고는 체계적인 동물상 조사자료가 전혀 없어 생태하천 조성에 따른 동물상 복원여부를 정량적으로 판단할 수 없었다. 울산이라는 동일한 지역이지만 물리적 환경특성이 서로 다른 각 하천의 수질이나 체내·외지의 여건에 따른 동물상 서식현황에 대한 차이점을 확인할 수 있었다.

무거천은 주변지역이 주거밀집 지역이고 산책로 등이 조성되어 있어 동물들이 정주여건이 불리하지만 적절한 유지용수의 지속적인 공급 등 생태하천 조성에 필요한 다양한 노력으로 생태복원 효과가 뚜렷한 것으로 나타났다. 조류는 총 10과 12종 99개체, 양서·파충류는 총 3과 4종, 어류는 총 6과 13종 151개체 그리고 저서성 대형무척추동물은 4문 7강 16목 26과 32종 1,769개체가 확인되었다.

약사천은 유지용수 공급과 오수유입 차단 등의 노력을 기울였으나 협소하고 단절된 하천공간 등 지형적 여건과 일부구간의 미처리된 오수 유입과 퇴적된 오니로 인해 생태복원 효과가 미흡한 것으로 나타났다. 조류는 총 9과 9종 80개체, 양서·파충류는 총 3과 4종, 어류는 총 4과 4종 106개체 그리고 저서성 대형무척추동물은 3문 5강 6목 10과 10종 519개

체가 확인되었다.

여천천은 수질개선을 위해 많은 양의 유지용수를 공급하고 있으나 염도가 높고, 획일적인 하천단면의 조성으로 인해 하천생태계의 복원은 거의 불가능한 것으로 나타났다. 조류는 총 7과 8종 175개체, 양서·파충류는 총 2과 2종, 어류는 총 4과 4종 46개체 그리고 저서성 대형무척추동물은 4문 6강 10목 15과 16종 427개체가 확인되었다.

명정천은 1~2m에 불과한 저수로폭과 높은 제방 및 낙차공 등으로 생태여건이 불리하지만 상류구간이 산지와 접하고 있어 생태여건이 다소 자연스러운 것으로 나타났다. 조류는 총 10과 13종 75개체, 양서·파충류는 총 3과 4종, 어류는 총 3과 6종 49개체 그리고 저서성 대형무척추동물은 3문 5강 13목 27과 38종 273개체가 확인되었다.

척과천은 어도 설치구간을 제외하고는 자연상태의 하천을 유지하고 있고, 비교적 하천수량도 풍부하여 생태건전성이 유지되고 있는 것으로 나타났다. 조류는 총 13과 20종 152개체, 양서·파충류는 총 6과 8종, 어류는 총 7과 13종 164개체 그리고 저서성 대형무척추동물은 4문 6강 14목 33과 45종 967개체가 확인되었다.

이상의 결과에서 지속적인 유지용수 공급과 오수처리 등으로 적절한 수량과 수질이 좋은 무거천은 동물상의 복원효과가 뚜렷하였으나, 약사천은 일부구간의 오수유입과 퇴적오니로 인해 유지용수 공급에 의한 수질개선과 생태복원시설의 효과가 미흡한 것으로 나타났다. 여천천은 염도가 높은 하천유지용수의 공급으로 오히려 생태복원에 불리한 것으로 확인되었으며, 명정천은 유지용수를 공급하고 하구부의 태화강 연결성을 개선하면 동물상의 복원효과가 클 것으로 판단하였고, 수량은 적으나 수질이 좋고 자연하천에 가까운 척과천은 동물상의 생태건전성이 잘 유지되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 도심하천의 생태하천

조성은 일정 수준이상의 수량 및 수질확보가 필수적이며, 동물상들의 이동 및 정주여건이 양호하고 서식환경이 자연상태에 가깝게 유지될 수 있는 방향으로 추진되어야 한다.

인용 문헌

- Bibby, C. J. · Burgess, N. D. and Hill, D. A. 1997. Bird census technique. Academic press limited, London.
- Cho, H. J. and Lee, S. J. 2013. An Ecological Restoration of Urban Streams by Supplying Maintenance Water. *Journal of Wetlands Research*. 15(3) : 317-328.
- Environmental Policy Act Enforcement Ordinance. 2012. A Presidential Decree No. 24023 Article 2 (Environmental standards), Ministry of environment (Policy coordination division), [Korean Literature].
- Kim, D. C. · Lee, J. and Rack, I. S. 2000. An evaluation of stream naturalness for Close-to-nature stream restoration -In case of Suwon stream-, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 27(5) : 138-149.
- Kim, G. H. 2000. Evaluation of habitat conditions and estimation of optimum flow for the freshwater fish, Ph.D dissertation. University of Yonsei.
- Kim, K. H. · Lee, H. R. and Jung, H. R. 2013. Effects of Submerged Spur Dikes on the Ecosystem and Bed Deformation in Youngcheon River Bend. *The Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 16(2) : 137-153.
- Lee, H. G. · Jung, S. W. and Choi, J. K. 2012. Spatial Analysis of Ecological Characteristics for Benthic Macroinvertebrate Community Structure in Lake Hoengseong Region.

- Journal of Korean Society of Environment & Ecology. 26(1) : 46-56.
- Lee, S. D. 2009. Ecological Studies of Fauna in and around Do-rim Urban Streams. Journal of Korean Wetlands Society. 11(3) : 105-113.
- Lee, S. S. 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-, Journal of the Environmental Sciences. 16(5) : 649-655.
- Lee, Y. K. · Hong, C. S. and Lim, K. S. 2013. Analysis of seasonal Water pollution According to the Teuse and Treatment of Wastewater from Anyang Stream. The Korea Society of Environmental Restoration Technology. 16(2) : 41-52.
- Lee, Y. K. and Kim, G. J. 2000. Aspect Analysis of Ecological Water Pollution in Anyang Stream. Journal of The Society of Civil Engineers. 20(3) : 447-459.
- Ministry of Construction & Transportation. 2001. Cheokgwa cheon water system river maintenance master plan(Cheokgwa cheon, Dusan cheon, Seosa cheon, Oesa cheon). Ulsan metropolitan city.
- Ministry of Education. 2007. 3rd Natural Environment Survey Ulsan[359063].
- Nelson, J. S. 1994. Fishes of the World(3en ed.), John Willey & Sons, New York.
- Pack, J. H. and Cho, Y. H. 1996. River ecological foundation of natural river plan, Magazine of Korea water resources association. 29(2) : 21-26.
- Pyo, J. H. and You, Y. H. 2011. Classification of Avian Habitats Based on Vegetation Types in Urban and Natural Streams, Journal of Korean Wetlands Society. 13(1) : 67-77.
- Song, T. K. 1997. Distribution Characteristics of Benthic Invertebrates in the Jisuk River Water System, Bulletin of Institute of Littoral Environment Mokpo National University Vol. 14. 17-26.
- Woo, H. S. · Lee, J. W. and Kim, K. H. 1998. Development of a Method for Determination of Instream Flow Need Required for Fish Habitat Conservation -Application to the Keum River-, Journal of The Society of Civil Engineers, Korean Society of Civil Engineers. 18(II-4) : 339-350.
- Yun, I. B. 1995. Explanatory diagrams of aquatic insects, Junghaengsa.
- Yun, I. B. 1988. Han'guk tong singmul tpgam, Vol. 30 Animal (Aquatic insects), Moongyobu.