

# 경안천 유역의 불투수면에 따른 어류다양성 연구

최 선 희\* / 권 선 순\*\* / 이 상 돈\*\*\*

## Study on Fish Diversity by Impervious Cover of Gyeongang-Stream Watershed

Sun Hee Choi\* / Sun Soon Kwon\*\* / Sang Don Lee\*\*\*

**요지** : 본 연구에서는 경안천 유역을 대상으로 1975년부터 2000년까지의 토지피복상태에 따른 불투수면과 투수면을 재분류하여 경관분석 프로그램을 이용하여 경관 지수를 산정하였다. 경관 지수 중 총 중심지면적인 TCA(Total Core Area)를 생물종 다양성 지표로 이용하였다. 선정된 경관 지표 TCA와 불투수면 모델인 ICM(Impervious Cover Model)을 이용하여 실제 경안천 유역의 어류 출현종수와 비교하였다. TCA와 불투수면 비율의 관계에서는 불투수면 비율 증가에 따라 TCA값이 점차 감소하는 추세를 보였다. 이는 도시화와 인위적인 개발로 인해 경관에서 불투수면 면적이 차지하는 비율이 커지면서 생물종이 외부로부터의 격리를 필요로 하는 임계면적이 점차 감소하였음을 나타낸다. 또한, 경안천에 서식하는 출현 어류종의 종류를 모니터링 해 본 결과 불투수면 비율이 낮은 지역에서 청정수에 서식하는 종의 출현빈도가 높음을 알 수 있었다. 경안천 유역은 하천 상태가 Impacted Stream(손상하천) 위에 해당하여 유역의 상태가 나빠지는 단계에 있는 것으로 파악되었으며, 이 구간에서 유역은 불투수면 비율에 민감하게 반응하므로, 계속적으로 집중적인 유역관리가 필요하며, 지역에 출현하는 어류다양성을 증가시키기 위해 유역상태를 개선시킬 필요성이 있다.

**핵심용어** : 경관지표, 총중심지면적, 수생태계, 유역관리, 도시화

**Abstract** : This study estimates landscape indices of the Gyeongang-stream watershed from 1975 to 2000 by classifying the land cover into impervious cover and pervious cover depending on its state using a landscape analysis program. For the indicator of biodiversity this study uses Total Core Area(TCA) among landscape indices. The estimated TCA is then used along with an Impervious Cover Model(ICM) to compare the number of fish species that appear in the Gyeongang-stream watershed. In the relations between TCA and the impervious cover ratio, it has been found that as the impervious cover ratio increases, TCA decreases accordingly. It shows that as the ratio of impervious cover in the landscape increases due to urbanization and development, the critical area that individual species need for isolation from outside has decreased. Also, the monitoring of the number of fish species that appear in the Gyeongang-stream watershed shows that in the areas with low impervious cover ratio there are more fish species appearing that inhabit in clean, uncontaminated water. It has been identified that the Gyeongang-stream watershed falls into the category of Impacted Stream and that its state is worsening, and since the watershed in this area responds to the impervious cover ratio very sensitively, its fish diversity it is required to improve the state of the basin through its proper and careful management.

**Keywords** : Landscape Indices, Total Core Area, Aquatic Ecosystem, Watershed Mangement, Urbanization

### 1. 서 론

유역 내에서 불투수면 비율은 물순환에 있어

매우 중요한 지표이다. 불투수면(IC, Impervious Cover)이란 강수가 토양 속으로 잘 침투하지 않는 토지피복으로 정의되며, 불투수율의 증가로 인한

+ Corresponding author : lsd@ewha.ac.kr

\* 정희원 · 이화여자대학교 환경공학과/한국연구재단 프론티어연구성과지원센터 팀장 · E-mail : shc@frontier.re.kr

\*\* 정희원 · 이화여자대학교 환경공학과/한국건설기술연구원 연구전략실 수석연구원 · E-mail : sskwon@kict.re.kr

\*\*\* 정희원 · 이화여자대학교 환경공학과 교수 · E-mail : lsd@ewha.ac.kr

식물의 제거는 증발산과 차단량의 감소를 가져오며 주택 도로 등의 도시개발로 인한 불투수율의 증대는 하천을 건천화시키는 중요한 요인이 된다(Schueler 1994, Han River Watershed Management Committee 2007). 자연계 물순환의 경우 표면유출수, 지하의 토양과 대수층 함양이 이루어져 토양으로 침투되고, 깊은 대수층에 도달된 물은 하천의 기저유출로 공급되어 건기에도 하천의 유지유량을 공급해준다(Han River Watershed Management Committee 2009). 그러나 도시화된 지역에서는 불투수율의 증가로 지하로 침투되는 물의 양은 줄어들고 빗물 유출수가 많아진다. 이런 현상이 발생되면 지하수는 고갈되고 표면의 유량이 증가하게 되어 여름철 강우시 많은 양의 빗물이 하류 하천에 유입되어 홍수를 일으킨다(Park et al. 2006).

불투수율의 증가로 인한 식물의 제거는 증발산과 차단량의 감소를 가져오며 주택 도로 등의 도시개발로 인한 불투수율의 증대는 하천을 건천화시키는 중요한 요인이 된다. 불투수면(IC)이란 강수가 토양 속으로 잘 침투하지 않는 토지피복으로 정의되며, 일반적으로 도시화 과정에서 형성된 도로, 주차장, 보도, 건물 지붕 등을 포함한다(Schueler 1994, Han River Watershed Management Committee 2007). 불투수면은 유역관리에 있어서 효과적인 지표로 사용되어져 왔으며, 불투수면 모델은 유역내 소유역 관리를 위한 불투수면 비율에 따른 하천 건강성을 평가하는 도구이다. 또한, 유역의 불투수면에 대한 조각(패치)의 수, 총 가장자리 길이, 그리고 가장자리 밀도 등과 같은 경관 지수는 유역의 유출 및 수질에 미치는 영향을 평가하는 도구로 활용되고 있다. 아울러 수생태의 건강성은 유역의 질을 나타내는 환경지표로 활용되고 있다. 따라서 유역관리를 위해서는 불투수면의 조사와 불투수면 모델의 적용이 필요하며, 수환경과 수생태계내 생물다양성 사이에 미치는 연계영향에 대한 다각적이고 종합적인 분석이 절실히 필요하다.

불투수면은 유역관리에 있어서 효과적인 지표로

사용되어져 왔으며, 불투수면 모델은 수생태의 건강성은 유역의 질을 나타내는 환경지표로 활용되고 있다(Schueler and Galli 1992). 따라서 유역관리를 위해서는 불투수면의 조사와 불투수면 모델의 적용이 필요하며, 수환경과 수생태계내 생물다양성 사이에 미치는 연계영향에 대한 다각적이고 종합적인 분석이 필요하다. 유역 내에서 불투수면 비율은 물순환에 있어 매우 중요한 지표이다. 자연계 물순환의 경우 연중 강우량 중 표면유출수, 지하의 토양과 대수층 함양이 이루어져 토양으로 침투되고, 깊은 대수층에 도달된 물은 하천의 기저유출로 공급되어 건기에도 하천의 유지유량을 공급해준다. 그러나 도시화된 지역에서는 불투수율의 증가로 지하로 침투되는 물의 양은 줄어들고 빗물 유출수가 많아진다. 강수가 침투가능한 다공성의 토지가 불투수면으로 전환될 때 강수의 많은 부분이 지표유출수로 전환되며, 지표유출수에 비해 상대적으로 적은 양만이 지하수로 함양된다.

본 연구는 대상유역인 경안천 유역의 불투수면 변화를 WAMIS에서 제공하는 영상 자료를 이용하여 1975년에서 2000년까지 분석한 자료와, 과거 토지이용 변화에 따른 경관 지수를 산정하여 분석하고자 경관 구조 분석 프로그램인 FRAGSTATS를 이용하여 불투수면 변화에 따른 경관 지수를 산정한 자료를 기초자료로 활용하였다. 따라서, 대상유역인 경안천 유역의 불투수면 모델 적용성을 평가하여, 불투수면이 수환경과 수생태계의 생물 다양성에 미치는 영향을 연구하고자 한다. 경관 지수 중 총 중심지면적(Total Core Area, TCA)을 생물종 다양성 지표로 이용하였다. 그리고 실제 경안천 유역의 어류 출현종수와 비교하였다. 본 연구를 통해 수생태지역의 경관평가가 가능하며 최근의 범용한 지리정보시스템을 이용하여 경관구조분석을 하였다는 데 큰 의의가 있다.

## 2. 연구지역 및 방법

### 2.1. 연구지역

경안천은 팔당호로 직접 유입되는 국가하천으

로, 팔당호 전체 유입량의 2.5%로 매우 적지만 팔당호 유입하천 중 오염도가 높아 상수원보호를 위해서 특별한 관리가 요구되고 있다. 경안천 유역은 수도권에 인접하고 있어 개발 요구에 따라 산림 및 농업지역의 감소와 시가화건조지역의 증가 등 토지이용이 지속적으로 변화하고 있으며, 개발에 따른 오염원 증가가 예상된다(Han River Watershed Management Committee 2007). 또한, 경안천 유역의 농업지역의 대부분은 남·북한강의 고랭지 농업과는 달리 하천을 따라 좁은 층적 평야로 이루어져 있어 강우초기 농경지 비점오염원이 일부 지표층을 유하하거나 대부분이 농배수를 통하여 아무런 처리없이 하천으로 직접 유입되기 때문에 이로 인한 팔당호 수질악화가 우려된다(Jang et al. 2009). 대상유역은 용인시 중심부를 남쪽에서 북쪽으로 관통하여 흐르다 초월읍 지월리에서 곤지암천과 합류하여 서하리에서 한강수계인 팔당호로 유입되는 길이 22.5 km의 국가하천이다. 경안천 유역은 유로연장이 47.87 km, 유역면적이 561.13 km<sup>2</sup>, 유역평균경사는 27.01%이다(WAMIS). 경안천 하류에서의 유량은 약 5.4 m<sup>3</sup>/s로, 팔당호에 하루 약 47만 톤의 물이 공급되고 있는 것으로 조사되었다(Lee et al. 1998).

## 2.2 연구방법

본 연구는 경안천 유역에 1975년에서 2000년까지의 매 5년 주기로 국가수자원관리정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 영상 자료를 이용하여 불투수면 변화를 조사하였다. 대상유역인 경안천 유역의 과거 토지이용 변화에 따른 경관 지수를 산정하여 분석하였다. 경관구조를 정량화하기 위한 경관 구조 분석 프로그램인 FRAGSTATS(1995)를 이용하여 불투수면 변화에 따른 경관 지수를 산정하였다. 수질측정자료 조사는 환경부 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr/>)을 통하여 수집하였다. 수생태계 현황은 그동안 경안천 유역 내 하천을 대상으로 기존에 수행된 연구결과를 참고하여 경안천 유역의 생태현황을 조사하였다. 하천생태계의 상태현황을 파악하기 위해서는 하천생

태계의 주요 입지를 차지하고 있는 어류에 대한 출현종 및 개체수를 파악함으로써 수계의 오염정도나 서식환경 조사에 도움을 얻을 수 있었다(Won et al. 2008). 어류의 조사지점은 경안천 최상류/운학천, 경안천 상류/운학천, 경안천 중류, 경안천 하류를 대상으로 조사하였다. 본 자료를 바탕으로 불투수면이 수환경과 수생태계의 생물 다양성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 불투수면 모델 적용에서는 경안천 유역의 수질자료 중 BOD와 총 중금속면적 TCA를 활용하여 생태현황을 파악하고 유역의 어류 출현종수와 비교하기 위해 수행하였다.

### 2.2.1 토지피복분류

국가수자원관리정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 8개 항목(수역, 시가화지역, 나지, 습지, 초지, 산림, 농경지, 밭)으로 분류된 경안천 유역의 1975년~2000년 토지피복도를 이용하여 FRAGSTATS 모델(McGarigal and Marks 1995)을 구성하였다. WAMIS에서 제공하는 1975년~2000년까지 5년 단위 Landsat 위성영상 토지피복도를 수역, 투수지역, 불투수지역으로 구분하여 본 결과, 경안천 유역의 불투수면 면적 비율은 1975년 0.87%에서 2000년 7.0%로 여덟 배 이상 증가하였다. 이는 도시화가 빠르게 진행되었음을 파악할 수 있었다. 1985년 이후 경안천 중류에서 상류 쪽으로 불투수지역이 확대됨을 확인할 수 있었다.

### 2.2.2 경관지수 선정

FRAGSTATS는 기 개발한 경관 구조 해석프로그램으로 경관 구조에 관한 많은 지표산출(매트릭스 형식)과 지표의 해석으로부터 경관의 정량적 평가가 가능하며, 주어진 공간 내에서 조각들의 지역적인 범위와 공간적인 구성을 정량적인 수치자료로 제공한다. 이 프로그램은 분석하려는 경관의 규모에 제한이 없기 때문에 원하는 해상도에 대한 분석이 가능하다. 또한 FRAGSTATS에서 계산되는 지수들은 많고 복잡하므로 분석 효율을 높이기 위해

서는 지표의 선정 시 신중한 선택이 요구된다.

본 연구에서는 같은 피복유형을 갖는 패치 전체를 의미하는 클래스(class)수준의 분석을 수행하였다. 패치(patch)수준 지수는 개별적 조각에 대해 지수를 산출하고 경관(landscape)수준 지수는 토지유형에 상관없이 유역내 모든 토지피복에 대한 경관 지수를 산출하기 때문에, 본 연구와 같이 불투수면에 대한 경관 지수 산출에는 적합하지 않다(Jang 2008). 본 연구에서는 경안천 유역에 대해 1975년부터 2000년까지 토지이용변화에 따른 파편화 정도를 정량적으로 분석하기 위한 자료 중 TCA를 활용하였으며, 이를 이용한 경관지수 중 총중심지 면적 지수인 TCA와 출현 종수간의 생물 종 다양성 지표로서의 상관성이 있는 지표로 선정하여 연구되었다(Heo et al. 2007).

### 2.2.3 불투수면모델

유역관리에서 불투수면(ICM, impervious cover

model)을 지표로 한 연구는 1990년대부터 불투수면과 하천질 지표 사이에 강한 상관관계가 있음이 과학적으로 규명되기 시작하였고, 관련 연구들을 통합하여 불투수면 모델이 개발되었다(CWP 1998). 불투수면에서는 불투수면의 비율에 따라 수환경의 상태를 구분함으로써 개략적인 하천상태를 판단할 수 있도록 하였다. Table 1에 불투수면 모델을 통하여 유역의 불투수면 비율이 10%를 초과하면 하천상태가 악화되기 시작하여 25%를 넘으면 심각한 악화가 예상된다고 한다. 불투수면은 주로 실제 하천의 질 보다 잠재적인 하천의 질을 예측하는 모델로서 개별적인 하천의 질에 대한 정확한 수치는 예측할 수 없지만 비슷한 불투수면 범위에 있는 집단의 평균적인 경향은 예측할 수 있다(Han River Watershed Management Committee 2006). 불투수면 모델은 많은 지역의 유역계획, 하천 분류, 토지이용규제에 큰 영향을 끼쳤고 유역환경관리에 널리 적용되고 있다. 하지만

Table 1 Watershed development and management standards

Sensitive rivers (Impervious cover ratio between 0 ~ 10%)
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Goal: maintain biodiversity at the level prior to development</li> <li>· Land use: limit impervious covers</li> <li>· Methods: maintain the hydrological state before development, maintain infiltration and recharge</li> <li>· Buffer zone: largest river buffer zone, protect sensitive areas</li> <li>· Others: limit land purchase and site development</li> </ul>
Impacted rivers (Impervious cover ratio between 11 ~ 25%)
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Goal: protect river habitats and prevent water quality degradation</li> <li>· Land use: strongly limit increase in impervious cover in the watershed</li> <li>· Guidelines: focus on removing pollutants/protecting water channels</li> <li>· Buffer zone: establish general 3-step buffer zones with various widths depending on local features</li> <li>· Others: local pond system, local planning skills</li> </ul>
Ecologically non-supporting rivers (Impervious cover ratio over 26%)
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Goal: minimize pollutant load downstream/prevent flooding</li> <li>· Land use: limit watershed development and redevelopment</li> <li>· Guidelines: maximize elimination of phosphorus/metal/toxic substances, eliminate regulation in ponds and wetland</li> <li>· Buffer zone: bicycle roads for leisure activities/protect flooding</li> <li>· Others: prevent pollution and illegal connection, manage "possible pollution areas"</li> </ul>

source: Impervious cover model (CWP, 1998)

모델에서 제시하고 있는 10%, 25%라는 임계수치가 불투수면과 하천질 지표간의 통계적 편차로 인해 정확한 구분점이 아니라 그 범위의 불투수면 비율에서의 일반적인 변화를 반영한 값이라는 점을 인식해야 한다. 본 연구에서는 유역에서의 불투수면 비율 증가에 따른 생물종 다양성, 수질 영향 관계를 불투수면 모델을 통해 고찰해 보고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

불투수면 모델의 변수로 사용된 경관지수 중 총 중심지면적인 TCA(Total Core Area)는 경관 내에서 가장 핵심이 되는 지역의 면적률을 나타내는 지수로, 여기에서 말하는 핵심 지역은 생물종이 외부로부터의 격리를 필요로 하는 임계면적을 말한다.

Han River Watershed Management Committee (2008) 외에 기존의 많은 연구에서 불투수면 비율과 수리·수문 영향, 수질 영향, 수생태계 영향에 관해 연관성을 분석하였다. 유역 내 도로와 주차장과 같은 불투수면에 축적된 비점오염원은 강우시 고농도의 오염물질이 수계로 유출되는 원인이 되어 하천 수질을 악화시키게 된다. 수생태계 건강성은 유역 질의 강력한 환경 지표로서 Schueler and Galli(1992)는 불투수면과 수서 어류 동물 다양성의 일반적인 관계 모델을 제시하기도 하였다.

수질 지표와 경관 지수를 불투수면 모델에 적용한 결과와 경안천 일대 수생태 건강성 조사 문헌 자료를 비교해보기 위해 환경부 물환경정보시스템에서 제공하는 출현생물종 중 하천의 건강성 및 불투수면의 증가와 상관관계가 가장 높은 어류 자료와 경안천을 대상으로 자료를 Table 2에 고찰하였다. 본 자료는 Lee et al.(2001) 및 Won et al.(2008)등의 선행결과를 참고하여 경안천 일대에 서식하는 어류의 출현종수와 비교하여 정리하였다. 선행조사는 주로 경안천 용인시 관내에 집중되어 있었으므로 본 조사와 조사지점이 경안천 최상류/운학천(용인시 호동 용해곡), 경안천 상

류/운학천(용인시 동부동 삼산 삼산교 하방), 경안천 중류(용인시 포곡면 삼계리 당곡보 보 밑), 경안천 하류(광주시 퇴촌면 정지리 상수원 감시초소 앞 보 밑)에서만 거의 일치하였다. 이들 일치 지점은 최상류, 중류, 가장 하류의 조사 지점이 모두 포함되어 있기 때문에 해당 유역과 비교가 가능했다.

Fig. 1에 어류 출현종수를 불투수면 비율과 함께 나타내었다. 불투수면 비율이 증가함에 따라 어류 출현종수는 감소 추세를 보였다. 경관지수 중 총 중심지면적인 TCA(Total Core Area)의 추세와 같이 어류 출현종수는 불투수면 비율의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 경안천 유역 어류의 모니터링 조사 결과를 살펴본 결과, 대체로 불투수면 비율이 낮은 지역에서 청정수역에 서식하는 종의 출현빈도가 높았다.

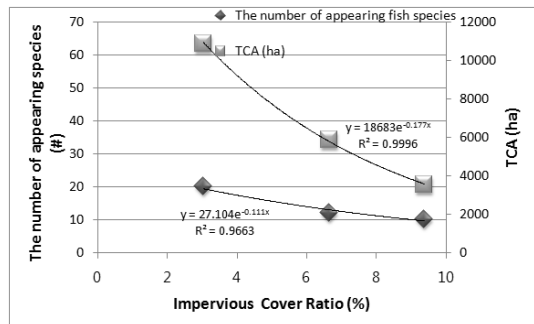


Fig. 1 The impervious cover ratio (2000), TCA (Total Core Area) and the number of ppearing fish species in the Gyeongan-stream watershed (upstream/midstream/downstream)

경관 지수 중 생물종 다양성 관련인 총 중심지면적 TCA(Total Core Area)와 불투수면 비율의 관계에서는 불투수면 비율 증가에 따라 TCA (Total Core Area)값이 점차 감소하는 추세를 보였다. 이는 도시화와 인위적인 개발로 인해 경관에서 불투수면 면적이 차지하는 비율이 커지면서 생물종이 외부로부터의 격리를 필요로 하는 임계면적이 점차 감소하였음을 나타낸다. 실제로 불투수면 비율과 생태계 자료를 분석한 결과, 불투수

면 비율이 0~10%에서 출현 종수가 가장 많았으며 불투수면 비율이 증가할수록 급격한 감소 경향을 나타내었다고 보고하였다(Han River Watershed Management Committee 2009). 이전의 연구도 저서형 대형 무척추동물에 대해 생물 등급의 판정을 활용하여 불투수면 비율에 따라 등급별 출현 종수를 분석한 결과, 청정지역에 사는 종이 불투수면 비율 20% 미만인 지역에서 주로 발견되었다고 하였다. 수생태의 건강성은 유역의 질을 나타내는 환경지표로 많은 연구에서 불투수면과 하천 내 생물 다양성 사이의 관련성을 조사하였다. 주요 연구결과를 살펴보면 불투수면의 비율이 10~15%를 초과하게 되면 어류서식지가 파괴되기 시작하고 어류와 수생곤충의 다양성이 급격히 떨어지게 되는 것을 알 수 있다. 또한 불투수면의 비율이 30%를 넘어서면 어류와 곤충의 다양성 및 서식지에 대한 평가가 악화 등급으로 떨어지게 되는 것으로 조사되고 있다.

불투수면이 어종에 미치는 영향에 대한 기존문헌을 검토해 본 결과 유역의 불투수면의 비율이 증가할수록 어종의 수는 감소하였다. Klein(1979)에서는 Maryland의 도시하천에서 대형무척추동물의 급격한 감소를 처음으로 보고하고 있는데, 유역의 불투수면이 10~15%를 초과하는 경우 생물다양성은 악화되었다고 한다. Steedman(1991)은 208개의 Ontario 하천에서 도시화의 경우 손상되지 않은 강기슭의 산림을 보유한 도시하천이 그렇지 못한 도시하천에 비해 보다 높은 생물다양성을 갖는다고 보고하였다. 2개의 민감한 종인 송어(*Oncorhynchus maso*)와 독중개(*Sculpin, Cottus koreanus*)과의 담수어))은 불투수면이 10%에서 12%로 증가하면서 사라졌으며, 불투수면이 25%까지 증가하였을 때는 4개의 종이 추가로 사라졌다.

Booth and Reinelt(1993)는 불투수면이 8~

12%를 초과하는 경우 대부분의 도시하천이 불량한 서식조건을 갖는다는 조사결과를 발표하였다. 담수에서 산란하기 위하여 바다에서 회귀하는 어종도 어류 이동장벽, 오염, 유량변화 등과 같은 도시화의 영향에 매우 민감하였다.

불투수면 모델 적용에서는 경안천 유역의 수질 자료 중 BOD를 수질지표로, 경관 지수 중 TCA를 생물종 다양성 지표로 이용하였다. 그 결과 민감하천 범위에 해당하는 10% 이하 구간에서도 불투수면 비율이 6%를 넘으면서 상태가 나빠짐을 확인할 수 있었다. TCA와 불투수면 비율의 관계에서는 불투수면 비율 증가에 따라 TCA값이 점차 감소하는 추세를 보였다. 이는 도시화와 인위적인 개발로 인해 경관에서 불투수면 면적이 차지하는 비율이 커지면서 생물종이 외부로부터의 격리를 필요로 하는 임계면적이 점차 감소하였음을 나타낸다. 실제로 Han River Watershed Management Committee(2009)에서는 불투수면 비율과 생태계 자료를 분석한 결과, 불투수면 비율이 0~10%에서 출현 종수가 가장 많았으며 불투수면 비율이 증가할수록 급격한 감소 경향을 나타냈다고 보고하였다. 또한, 경안천에 서식하는 어류의 종류를 모니터링 해 본 결과 불투수면 비율이 낮은 지역에서 청정수에 서식하는 종의 출현 빈도가 높음을 알 수 있었다. 경안천 유역은 2006년 불투수면 비율이 11.23 %로 하천 상태가 Impacted Stream(손상하천)<sup>1)</sup> 범위에 해당하여 유역의 상태가 나빠지는 단계에 있었다. 이 구간에서 유역은 불투수면 비율에 민감하게 반응하므로, 계속적으로 집중적인 유역관리를 통해 효율적으로 유역상태를 개선시킬 필요성이 있다.

본 연구를 통해 유역의 토지이용계획에 경관생태학적 불투수면 관리를 위한 기초정보를 제공하며, 향후 하천 개발 전, 후의 효과 평가나 각종 도시

1) 불투수면모델에서는 유역내 불투수 지표면의 비율에 따라 하천을 세 가지 범주, 즉 민감하천(0~10%), 손상하천(11~25%), 생태적 건전성 유지불능 하천(26% 이상)으로 구분하고 있다. 불투수면모델에 의하면 대부분의 하천 질 지표들은 유역의 불투수면 비율이 10%를 초과할 때 악화되기 시작하며 25%를 넘으면 심각한 악화가 예상된다 한다. 이는 유역의 토지이용이 하천 환경에 어떤 영향을 줄 것인가를 신속하게 예측할 수 있다는 점에서 유역계획을 이한 중요한 수단으로 활용될 수 있다. 특히, 불투수면 모델은 유역관리 계획 과정에서 초기에 토지보존 문제와 토지이용계획의 중요성을 고려하도록 유역관리자를 촉구하는 지표가 되기도 한다.

Table 2 Result of the preceding study of the number of fish species and the population inhabiting the Gyeongang-stream area

fish species	location				Upper part of the Gyeongang Stream/ Unhak Stream			Middle part of the Gyeongang Stream				Lower part of the Gyeongang Stream			Total	
	Uppermost part of the Gyeongang Stream/ Unhak Stream	'92	'94	'01	'08	'92	'94	'01	'92	'94	'01	'08	'92	'94		'01
<b>Cyprinidae</b>																
<i>Cyprinus carpio</i>											1			5	6	
<i>Carassius auratus</i>				2	6	1	15	9	20	5	2	5	1	30	96	
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>													1		1	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>												2			2	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>														29	29	
<i>Acheilognathus gracilis</i>													1	66	67	
<i>Pseudorasbora parva</i>								20	54	17		28	1	62	182	
<i>Hemibarbus labeo</i>											2				2	
<i>Hemibarbus longirostris</i>					3		7				4			1	15	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>				2											2	
<i>Sarcocheilichthys nigriinnis</i>										2					2	
<i>Pungtungia herzi</i>											6			2	8	
<i>Squalidus japonicus</i>												11		221	232	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>					63	12	70		1	2					148	
<i>Pseudogobio esocinus</i>				3							3	10		1	17	
<i>Abottina rivularis</i>														3	3	
<i>Abottina springeri</i>					22	33	23		1						79	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>					1								1		2	
<i>Moroco oxycephalus</i>	12	52	47	138	6	2	30								287	
<i>Zacco platypus</i>				202	34	60	303	85	41	171	203	8		92	1,199	
<i>Hemiculter leucisculus</i>														10	10	
<i>Opsarichthys uncirostris</i>														7	7	
<b>Cobitidae</b>																
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	1	24	3				7							1	2	38
<i>Misgurnus mizolepis</i>								1			1					2
<i>Cobitis lutheri</i>															4	4
<i>Cobitis koreensis</i>	1				1		16						2			20
<i>Lefua costata</i>		31	4													35
<b>Siluridae</b>																
<i>Silurus asotus</i>									1	1					3	5
<b>Adrianchthyoidae</b>																
<i>Oryzias sinensis</i>									1							1
<b>Centrarchidae</b>																
<i>Lepomis macrochirus</i>														1		1
<i>Micropterus salodes</i>											6		7	12	25	
<b>Odontobutidae</b>																
<i>Odontobutis interrupta</i>				2	2	6	6		2					2	1	21
<b>Gobiidae</b>																
<i>Rhinogobius giurinus</i>															3	3
<i>Rhinogobius brunneus</i>							2		10	73		20	81	50	236	
<i>Tridentiger brevipinnis</i>														1	1	
<b>Channidae</b>																
<i>Channa argus</i>										1						1
<b>Number of species</b>	3	3	3	5	9	6	10	3	10	12	6	8	9	20	107	
<b>Total Density</b>	14	107	54	349	138	114	479	114	132	288	232	73	90	614	2,798	

개발사업 계획 시 수생태적 지표를 개발하여 이를 유역관리에 활용해야 할 필요가 있다. 또한, 국내 유역 특성을 고려한 불투수면 지표 모델 연구를 통하여 불투수면 저감방안 수립 및 유역관리 등에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 생태조사를 연계병행하여 수생태계의 어류뿐만 아니라 저서성대형무척추동물과 부착조류, 조류 등과의 연계 검토도 필요한 부분으로 전체 수생태계에 대한 종합적인 모니터링이 필요할 것이다.

## 사 사

본 논문은 KRF(2009), ERC(2009) 및 KEITI (2011), Green River 연구단(12 Technical Innovation CO2)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사합니다.

## 참 고 문 헌

- Booth DB, Reinelt LE. 1993. Consequences of Urbanization on Aquatic Systems—Measured Effects, Degradation Thresholds, and Corrective Strategies. Watershed 1993 Proceedings, Alexandria, Virginia.
- Center for Watershed Protection(CWP). 1998. Nutrient Loading from Conventional and Innovative Site Development. Prepared for the Chesapeake Research Consortium, Annapolis. MD, USA
- FRAGSTATS Manual. 1995. <http://www.umass.edu/landeco/research/FRAGSTATS/FRAGSTATS.html>.
- Han River Watershed Management Committee. 2006. Preliminary Study for Application of Basin Management Indices, 2nd Year Report (in Korean).
- Han River Watershed Management Committee. 2007. Study on the Impervious ratio of Each Watershed and Ways of Reduction (in Korean).
- Han River Watershed Management Committee. 2008. A Research on Investigation and Management of Watershed Imperviousness (in Korean).
- Han River Watershed Management Committee. 2009. A Research on Investigation and Management of Watershed Imperviousness (in Korean).
- Heo SG, Kim KS, Ahn JH, Yoon JS, Lim KJ, Choi JD, Shin YC, Lyou CW. 2007. Landscape Analysis of the Forest Fragmentations at Doam-Dam Watershed using the FRAGSTATS Model. Kor. J. Soc. for information management. 10(1): 10-21 (in Korean with English abstract).
- Jang SH. 2008. A Study on a Landscape Structure as a Change of Impervious Cover Rate in the Osan-cheon Watershed. Kor. J. Env. Impact Assessment. 17(5): 289-297 (in Korean with English abstract).
- Klein R. 1979. Urbanization and Stream Quality Impairment. Journal of the American Water Resources Association. 15(4): 948-963.
- Koh CH, Jin D, Ha SR. 2008. An Analysis of Suitable site of Constructed Wetland using High Resolution Satellite Image and GIS in Kyoung-An Stream. Kor. J. Soc. Wetlands. 10(2): 115-128 (in Korean with English abstract).
- Lee CS, Yu YH, Jeon SL, Bae YS. 2001. Survey on Biota of the Gyungan River Watershed (in Korean).
- Lee GY, Jeong GY, Kim HY. 1998. Analysis of the Impact of Livestock Wastewater on River Quality and Suggestion of Counter-measures: Centering on the Gyeongan Stream Watershed, Gyeonggi Research



- Institute (in Korean).
- McGarigal KB, Marks T. 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-351, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon, 86-103.
- Park JH, Oh SY, Park BK, Kong DS, Ryu, DH, Jung DI. 2006. Elements to be Managed for Total Water Pollution Load Management. Kor. J. Soc. on Water Quality, 22(6): 1004-1013 (in Korean with English abstract).
- Schueler TR, Galli J. 1992. Environmental impacts of stormwater ponds. In Watershed restoration source book. Washington, DC: Metropolitan Washington Council of Governments.
- Schueler T. 1994. The importance of imperviousness. Watershed Protection Techniques, 1: 100-111.
- Steedman RJ. 1991. Occurrence and Environmental Correlates of Black Spot Disease in Stream Fishes near Toronto, Ontario. Transactions of the American Fishes Society. 120(4): 494-499
- Won DH, Kim YJ, Choi SS. 2008. Ecological Study of the Gyeongan Stream (in Korean).
- 논문접수일 : 2012년 09월 04일
  - 심사의뢰일 : 2012년 09월 06일
  - 심사완료일 : 2012년 11월 09일