

ORIGINAL ARTICLE

## 낙동강 권역의 하천 수면공간 및 수변환경이 수달의 출현에 미치는 영향분석

신지훈 · 노백호<sup>1)\*</sup>

계명대학교 환경과학과, <sup>1)</sup>계명대학교 환경계획학과

### Impacts of Aquatic and Riparian Environmental Factors on Eurasian Otter (*Lutra lutra*) Presence Characteristics in the Nakdong River Basin

Geehoon Shin, Paikho Rho<sup>1)\*</sup>

*Department of Environmental Science, Keimyung University, Daegu 42601, Korea*

<sup>1)</sup>*Department of Environmental Planning, Keimyung University, Daegu 42601, Korea*

#### Abstract

This study aimed to identify the aquatic and riparian factors associated with the presence/absence of the Eurasian otter in the Nakdong river basin, where the species is relatively more abundant than other otter species. Environmental factors and presence records were collected. Geographical Information System technology and chi-square test were used to compare environmental gradients in aquatic and riparian factors between presence and absence sites. Aquatic habitat attributes were evaluated with natural riverside sandbars and channel crossing artificial structures, the ratio of channel width to alluvial plain width, riverbed substrate, and flow diversity. Riverbank characteristics, bank materials, man-made embankment types, and land use/land cover of inland and riverside areas were selected as riparian habitat attributes. Compared to the aquatic attributes, riparian attributes were highly significant when assessing otter presence and absence sites, suggesting that conservation of suitable riparian areas to provide maternity and resting areas for otter species is essential in the Nakdong river basin. None of the aquatic attributes examined were statistically significant when evaluating otter presence or absence. These results indicate that the presence of suitable riparian area for resting and reproduction habitats is more critical to the presence of Eurasian otter than food availability in aquatic areas. To inform implementation of effective conservation actions, broad-scale factors, such as watershed attributes, would be needed to further assess habitat conditions of the Eurasian otter.

**Key words** : Eurasian otter, *Lutra lutra*, GIS, Habitat, Riparian environments, Aquatic ecosystem health, Indicator species

---

Received 14 August 2017; Revised 17 December, 2017;

Accepted 19 December, 2017

\*Corresponding author: Paikho Rho, Department of Environmental Planning, Keimyung University, Daegu 42601, Korea  
Phone: +82-53-580-5917  
E-mail: wildlife@kmu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

수달(*Lutra lutra*)은 풍부한 먹이자원과 안정적인 은신처 및 보금자리, 그리고 인위적 간섭에서 떨어진 안전한 서식환경을 선호한다. 하천생태계의 조절자 역할을 하며, 수생태계 먹이사슬의 정점으로 수환경의 지표종으로 인식된다(Hewson, 1969; Kruuk, 1995). 국내외적으로 수달의 보전·복원 노력이 활발히 전개되고 있는데, 국내에서는 천연기념물과 멸종위기종으로 지정·보호하고 있다(Han, 1997). 국제자연보존연맹(IUCN)에서는 수달을 적색목록종으로 지정하였으며(IUCN, 2014), 미국, 독일, 스페인을 비롯한 많은 국가에서 복원활동을 진행하고 있다. 수달의 개체군 보전노력에 비해 서식지 보호 특히 하천정비와 수변위락활동에 의한 수달의 서식환경과 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

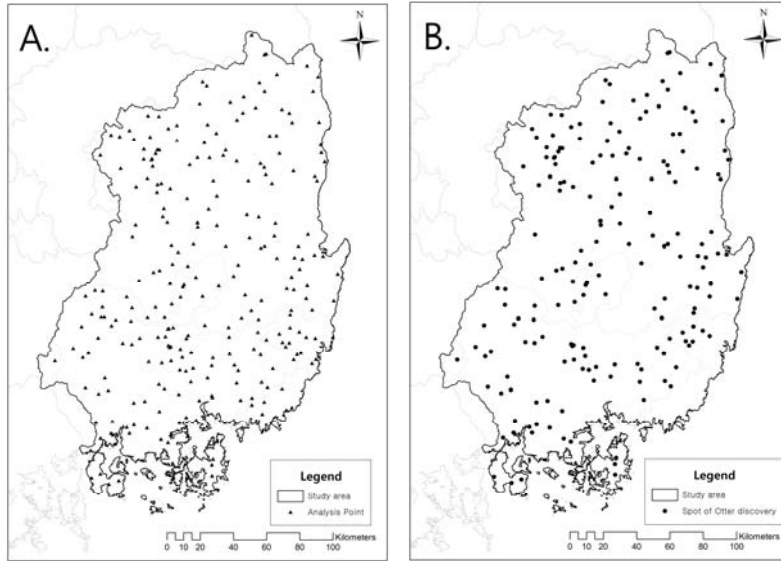
낙동강 권역의 하천은 생물군집과 무생물학적 환경요소가 상호작용하는 역동적인 공간으로 수달의 서식에 적합한 수환경을 갖추고 있으나, 산업단지 및 수변개발로 수질오염이 심화되고 수달의 서식환경이 악화되고 있다. 하천생태계는 수생식물, 저서무척추동물, 어류, 조류 등 서식하는 종조성에 의해 파악할 수 있으며, 하천환경의 건강성은 종조성 및 서식환경으로 평가한다(Ministry of Environment, 2014). 수달은 국내 하천생태계의 최상위 포식자로 먹이사슬이나 생물군집 변화에 큰 영향을 미치고 있어(Min, 2007), 하천환경의 건강성을 살펴보는 데 있어 중요하다. 수생태계 건강성 평가를 위해 BOD, 총인, 총질소와 같은 수체의 화학적 특성이나 부착조류에 의한 평가방법이 활용되기도 한다. Lee and Cho(2005)는 하천에 서식하는 수달의 서식환경을 토지피복으로 평가한 사례가 있으나, 대부분 수질이나 물리적 특성, 수변식생으로 수생태계 건강성 평가를 시도하였다. 하천에 서식하는 어류를 활용한 건강성 평가, 최근 낙동강 수계에 분포하는 부착조류를 이용하여 수환경을 평가하였다(Jo et al., 2013a; 2013b; 2015). 수생태계 건강성 평가에 있어 수생태계 먹이사슬의 정점에 위치한 수달의 분포 특성을 이용한 연구는 거의 진행되지 않았다.

국내 수달연구는 토지이용 변화(Lee and Cho, 2005)와 인공구조물 설치(Choi and Yoon, 2012; Cha

et al., 2017) 등 물리적 환경변화가 수달 분포에 미치는 영향을 살펴보았으나, 하천의 수면부와 수변부가 수달의 분포에 미치는 연구는 부족하다. 서식환경 관련 연구는 토지피복이나 임상, 식생변화 등을 토대로 제한적으로 진행되었으며, 이는 시간적으로 제약을 받거나 현지조사가 부족한 멸종위기종 연구에 있어 유용한 접근방법이다(Rho, 2015). 그러나 하천정비사업이나 보, 제방, 인공구조물 설치 등 하천환경 변화가 수달의 분포에 미치는 영향분석은 미흡하다. 하천환경의 변화가 심한 낙동강 권역을 대상으로 수달의 분포특성에 영향을 미치는 수면부 환경과 수변환경을 분석하여 낙동강의 수환경 조사·보전활동에 기여할 수 있을 것이다. 그러나 현재까지 낙동강 권역을 비롯한 수달의 출현특성 분석에 있어 수변서식환경 특히 중흥사주, 하천유속, 하상재료 등 미소서식처(micro-habitat)를 반영한 서식환경 관련연구는 전무하다.

낙동강 권역은 한강, 금강, 영산강 권역에 비해 수달의 출현빈도가 높게 나타났는데(Min, 2007), 이는 낙동강 수계에 발달된 다양한 하천습지, 하중도, 모래언덕, 버드나무군락 등과 관련있는 것으로 판단된다. 그러나 산업화와 도시화 과정에서 수달의 보금자리와 은신처로 사용할 수 있는 서식공간은 개발사업으로 악화되었다(Noh et al., 2015). 낙동강 수계의 하천환경 평가에 있어 최상위 포식자인 수달의 분포특성을 이용한 평가는 부족한 실정이다. 수달의 분포특성을 토대로 수면부와 수변환경의 건강성을 평가하기 위해 낙동강 권역을 평가대상지로 선정하였다. 이를 통해 산업단지와 인위적 개발로 인한 악화된 낙동강의 하천환경을 평가하고, 훼손된 하천환경을 복원하는데 적합한 수면부 및 수변부의 환경요인을 찾을 수 있을 것이다. 수달의 행동권을 고려할 때 넓은 지역을 포괄하는 낙동강 권역의 서식지 조사·분석은 수환경 평가에 기여할 수 있다(Hwang et al., 2011).

본 연구의 목적은 낙동강 권역을 대상으로 하천 수면부와 수변부 환경변수에 따른 수달의 출현특성을 비교분석하는 것이다. 수환경의 건강성을 나타내는 수달의 서식환경에 영향을 미치는 수면부와 수변환경 변수를 도출함으로써, 향후 수생태계 건강성 조사와 하천환경을 평가하는데 유용한 기초자료를 제공할 수 있다. 국가차원의 수생태계 건강성 조사가 낙동강



**Fig. 1.** Map of study area, which included (A) the 250 survey locations on environmental factors derived from the national aquatic ecological monitoring program and (B) the 650 occurred data of the Eurasian otter (*Lutra lutra*) from the 3rd national ecosystem survey in the Nakdong region.

권역을 비롯하여 전국적으로 실시되었으나, 지금까지 수달의 분포특성과 관련한 분석에는 활용되지 않고 있다. 하천의 수면부와 수변환경으로 구분하여 수달의 분포에 영향을 미치는 물리적 환경요인을 도출함으로써, 낙동강 권역 내 수환경을 평가할 수 있을 것이다.

## 2. 연구범위와 방법

### 2.1. 조사자료 및 연구지역

수달의 출현특성과 낙동강 수변환경과의 광역적 분석은 수달의 출현빈도가 높고 인위적 간섭으로 하천환경의 변화가 많은 낙동강 권역을 대상지역으로 하였다. 국토교통부에서 2010년도 작성한 수자원단위지도(ver3.0)의 850개 표준유역을 기준으로 낙동강 권역에 해당되는 266개를 추출하였다(Fig 1). 낙동강 권역은 태화강, 형산강, 회야수영, 낙동강 본류, 낙동강 동해, 낙동강 남해 6개 대유역으로 이루어지며, 총면적은 31,784.6 km<sup>2</sup>이다. 전국자연환경조사에 따르면, 낙동강 권역에서 수달의 직접 관찰뿐만 아니라 족적(발자국 흔적) 및 배설물 등의 출현빈도가 한강, 영산

강, 금강 권역에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다(Lee et al., 2017).

낙동강 권역의 광역적인 수달분포특성을 분석하기 위해 2007년 이후 매년 2차례 실시하고 있는 수생태계 건강성 조사 자료와 제3차 전국자연환경조사 자료를 확보하고, 낙동강의 수면부 환경과 수변환경이 수달출현에 미치는 영향을 살펴보았다(Ministry of Environment, 2013; Jo et al., 2015). 전국자연환경조사와 수생태계건강성조사의 조사기간 차이로 인해 발생할 수 있는 문제를 줄이기 위해 제3차 전국자연환경조사(2006-2013)가 완료된 2013년도 기준으로 수생태계 건강성 조사자료를 확보하였다. 수생태계건강성 자료는 수면부와 수변환경을 나타내는 하천의 자연적인 종횡사주, 저수로 하안공사 여부, 저질상태 등을 조사한다(Hwang et al., 2011). 수생태계 건강성 조사 및 평가지침에 의해 2007년 이후 매년 실시되고 있으며, 본 분석에서는 전국자연환경조사를 고려하여 2013년 홍수기 전·후 2회(4월~5월, 9월~10월)의 현장조사 결과를 활용하였다(Ministry of Environment, 2013). 수달의 서식환경에 영향을 미치는 변수는 수면부 환경, 수변환경, 유역환경으로 구분할 수 있고, 수생태계

**Table 1.** Habitat variables for the Eurasian otter and environmental variable from the national surveys for stream ecosystem health in Korea

	Category	Environmental factor
Habitat variables related to the Eurasian otter	Aquatic attributes	Water quality, water depth, water velocity, sediments
	Riparian attributes	Riparian vegetation, structures, anthropogenic disturbance
	Watershed	Watershed area, land use
Environmental variables from the national aquatic ecological monitoring program	Benthic diatoms	Community composition (number of diatom taxa), diatom-based site classification, TDI (Trophic Diatom Index)
	Macroinvertebrates	Number of species, total number of individuals, species richness, ESB index (sum of assigned ecological scores for each occurring species in the benthic macroinvertebrate community), KSI (Korean Saprobic Index)
	Fish	Total number of fish species, number of endemic species, number of exotic species, fish assemblages, IBI index
	Habitat quality	Riverside natural sandbar, flow state, ratio of active channel width to alluvial plain width, weir and channel-crossing structures, riverbed substrates
	Riparian quality	Riverbank characteristics, man-made embankment type, bank materials, land use/land cover of inland and riverside lands, roads and structures in riparian area

건강성 조사는 5개 분야로 구분하여 조사 평가를 실시하고 있다(Table 1).

수생태계건강성 조사는 「환경정책기본법」(제15조) 및 2017년 「물환경보전법」으로 개정된 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」(제9조)에 의해 전국 단위로 이루어지고 있다. 전국 5대강 권역 및 제주 수계에 대하여 총 960개 고정 조사지점을 대상으로 하천의 수생태계 현황 및 건강성 평가를 실시하고 있다(Ministry of Environment, 2012). 하천생태계는 수질 및 수리환경, 부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경, 수변식생으로 구성되었다(Ministry of Environment, 2013).

## 2.2. 연구방법

낙동강 권역의 수변환경에 따른 수달의 출현특성 분석은 4단계로 구분할 수 있다. 첫째, 수달의 서식환경 변수를 수집하였다. 자료수집단계로 수달의 서식환경에 영향을 미치는 변수와 관련 자료를 취합하기 위해 국내외 문헌자료, 전문가 의견을 수렴하였다. 수달의 생태적 특성(Kruuk, 1995; Han, 1997)이나 세력권(Jo et al., 2006; Thomas et al., 2006), 은신처

(Hewson, 1969), 먹이자원(Kruuk, 1995), 교란요인(Choi and Yoon, 2012; Cha et al., 2017) 등을 파악하고, 포유류 전문가 의견을 반영하여 광역차원의 수달 분포에 영향을 미치는 서식변수를 취합하였다.

둘째, 수달의 출현여부에 따른 수변환경을 비교하였다. 수면부 및 수변환경과 수달 출현지점의 상관분석을 위해 먼저 낙동강 권역에 위치한 250개 수생태계 조사지점과 수달출현과의 관계를 살펴보았다. 수생태계건강성 조사지점을 수달출현빈도가 높은 지점과 낮은 지점으로 구분하였다. 조사지점을 중심으로 반경 8 km 내에서 수달의 출현지점이 포함되었는지 살펴보고, 이를 토대로 수생태계건강성조사지점을 수달출현지역과 미출현지역으로 나누었다. 반경 8 km는 수달의 행동권을 감안하였으며, 출현지역과 미출현지역 두 집단 간 서식환경의 특성을 비교하였다.

셋째, 수달의 서식환경을 수면부와 수변부로 구분하여 분석하였다. 수달의 분포에 수변환경이 미치는 영향을 살펴보기 위해 낙동강 권역의 수생태계건강성조사를 수면부 환경변수와 수변환경변수로 구분하였다. 하천 수면부의 환경변수는 자연적인 중홍사주, 하천변 폭, 저질상태, 황구조물, 유속의 다양성 5가지로

**Table 2.** Presence and absence site classification by analyzing otter occurrence data for each survey site in the Nakdong region

Classification of presence and absence site		No of sites (percent)
Absence	No occurrence data recorded neighboring the site	68 (27.2%)
Presence	≥ 1 occurrence data recorded neighboring the site	182 (72.8%)
Total	Survey sites in Nakdong region	250 (100.0%)

이루어졌으며, 수변환경은 하도 정비 및 하도특성의 자연성, 제방하안 재료, 저수로 하안공사, 제내지 토지 이용과 제외지 토지이용으로 구분하였다(Ministry of Environment, 2014). 수달의 분포특성과 서식환경에 영향을 미치는 변수로 수생태계건강성 조사 평가 DB에서 추출할 수 있는 물리적 환경변수 10개를 선택하였다.

낙동강 권역의 수변서식환경 구성요소를 수달의 출현여부에 따라 구분하기 위해 수달의 출현지점에 대한 위치자료를 제3차 전국자연환경조사로부터 추출하고, 자료의 정확도와 신뢰성을 높이기 위해 ArcGIS 프로그램(ver. 10.x)을 이용하여 낙동강 권역의 토지피복지도와 중첩하여 수달출현지점의 위치 정확도를 살펴보았다. 이를 통해 전국에 걸쳐 분포하는 1,821개 수달 출현지점 가운데 650개 지점이 낙동강 권역에 위치하는 것으로 밝혀졌다(Fig. 2). 수달 출현지점은 육안관찰과 함께 족적(발자국 흔적) 및 배설물 발견 장소를 포함하였다. 배설물 등 흔적조사를 통해서 수달의 세력권 및 활동권 범위를 파악할 수 있으며, 족적을 통한 서식장소나 행동 패턴 등 수달의 분포특성을 분석할 수 있다(Cha et al., 2017).

넷째, 수달의 출현여부에 대한 통계적 유의성을 살펴보았다. 수달의 출현지점과 미출현지점의 범주형 변수에 따른 변수간 환경변수 차이를 검증하기 위해 카이제곱 검정(교차분석)을 실시하였다. 집단간 평균 차이를 비교하여 수달의 출현지점과 관련성이 높은 낙동강 권역의 수면 및 수변부 환경요인을 도출하기 위해 SPSS 통계분석 프로그램(ver. 22.x)을 활용하였다. 먼저 수변서식환경 조사지점의 특성을 살펴보고, 수생태계 건강성 조사에서 취합한 환경변수 가운데 수달출현지점과 통계적으로 유의미한 변수를 추출하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 수달 출현지점과 미 출현지점 분류

수생태계 건강성 평가를 위한 총 960개 조사지점 가운데 낙동강 권역에는 250개(26.0%) 지점이 분포하고 있다. 낙동강 권역의 수달의 분포특성과 관계있는 수환경 변수는 250개 지점을 중심으로 수면부와 수변환경으로 구분하여 확보하였다. 한편 제3차 전국자연환경조사에서 관찰된 총 1,821개 수달 출현지점 가운데 낙동강 권역에는 650개 지점이 위치하고 있다. 수달의 분포에 수환경이 미치는 영향을 살펴보기 위해 대상지 내 수생태계 건강성 조사지점을 수달출현빈도에 따라 분류한 결과, 182개(72.8%) 지점은 출현지역, 68개(27.2%) 지점은 미 출현지역으로 나타났다(Table 2). 수달 출현지역은 수생태계 건강성 조사지점에서 반경 8 km 이내 수달 출현지점이 1개 이상 분포하는 것을 의미한다.

#### 3.2. 수달 출현특성과 수면부 및 수변환경 관계분석

수달의 출현특성에 영향을 미치는 수면부와 수변환경을 분석하였다. 하천 수면부의 환경변수로는 자연적인 종횡사주, 하천변 폭, 저질상태, 횡구조물, 유속의 다양성을 선정하였으며, 수변부의 환경변수로는 하도 정비 및 하도특성의 자연성, 제방하안 재료, 저수로 하안공사, 제내지와 제외지 토지이용을 추출하였다.

##### 3.2.1. 하천 수면부의 서식환경과 수달 출현특성

하천 수면부의 환경변수로 자연적인 종횡사주를 분석하였다. 자연적인 종횡사주는 물 흐름의 다양성을 유발하는 자연적인 종횡 구조물의 발생횟수를 의미한다. 조사결과, 자연적인 종횡사주가 많은 곳에서 수달의 출현빈도가 높게 나타났다. 낙동강 권역의 250개 조사지점에서 자연사주가 3개 또는 4개 이상인 경우가 각각 29개(11.6%), 47개(18.8%)인데 비해 수달이

출현한 182개 조사지역에서의 3개 또는 4개 이상의 자연사주는 각각 25개(13.7%), 38개(20.9%)로 미출현지역의 4개(5.9%), 9개(13.2%)에 비해 높다(Table 3). 하천구간 내에서 자연적으로 사주 혹은 하중도가 늘어날수록 하천흐름이 변형되고 수달의 서식환경도 양호할 것으로 생각되며, 이로 인해 자연적인 중형사주가 수달의 서식환경특성과 관계가 높은 것을 유추할 수 있다. 즉 하천 내에 발생하는 하중도 및 사주의 개수를 파악하여 수달의 분포특성을 평가할 수 있을 것이다. 자연적인 중형사주는 하천구조물에 영향을 받기 쉬우며, 하천의 유속 및 흐름의 다양성을 결정하며 수달의 분포에 영향을 미치는 것이다. 수달은 휴식과 놀이 활동을 즐기기 위해 사주 혹은 하중도를 이용하는데, 하중도를 비롯한 자연적인 중형사주는 수달이 선호하는 서식지(Han, 1997)로 중요하며, 현지전문가의 조사경험을 바탕으로 수달의 발자국이나 먹다 남은 어류의 뼈 등 식흔이 하중도 등 자연적인 중형사주에서 빈번하게 관찰하고 있음을 파악할 수 있다.

둘째, 수면부 서식환경 변수로 하천변 폭을 도출하였다. 수생태계 건강성 조사에 따르면, 하천변 폭은 “수로 폭과 제방 내 폭 간의 비율”로 정의하고 있다(Ministry of Environment, 2014). 수로 변에 땅과 물이 만나는 곳이 넓게 확보될수록 수위 변화에 따른 생물서식공간의 다양성이 넓게 보장된다. 분석에 따르면 250개 조사지점에서 수로 폭과 제방 내 폭간의 비율은 102개(40.8%)가 2.0 이상으로 나타났다. 한편 하천변 폭의 비율이 0.5 이하인 조사지점은 16개(6.4%)에 불과하며, 수달의 출현지점과 미출현지점에 있어 하천변 폭의 비율은 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 즉, 수달 출현지점 182개 가운데 하천변 폭이 2.0 이상되는 지점은 72개(39.6%)이고, 수달 미출현지점 68개에서 하천변 폭의 다양성이 유지되는 지점은 30개(44.1%)로 출현지점과 미출현지점의 차이가 크지 않다(Table 3). 분석결과, 수달의 출현지점은 하천변 폭이 2.0 이상되는 구간을 선호하는 것을 알 수 있다.

셋째, 하천의 저질상태가 수달의 분포에 미치는 영향을 살펴보았다. 저질상태는 200 m 하천구간 내에서 최소 10회 이상 하상재료를 조사하였으며, 하상의 저질상태는 하천생태계가 인위적 교란에 의한 영향정도

를 나타낸다. 특히, 골재채취나 하천변 토목공사 등이 발생할 경우 발생지점으로부터 하류로 많은 토사가 유입되고 하상을 구성하는 구성물질의 형태 역시 크게 변하게 된다. 따라서 저질상태는 수달의 출현여부를 분석하는데 있어 중요한 항목으로 간주할 수 있다. 낙동강 권역의 저질상태를 분석한 결과, 대부분 잔자갈-모래가 혼재하거나 모래가 지배적인 저질상태(250개 조사지점에서 62.4%에 해당하는 156개 조사지점)로 나타났다(Table 3). 수달의 출현지점은 대체로 하상의 저질상태가 자갈-호박돌이 많고 대체로 모서리가 둥근 돌로 이루어진 지점과 관련이 높게 나타났다. 즉 낙동강 권역의 저질상태 가운데 모서리가 둥근 돌로 이루어진 저질상태는 수달출현지점에서는 약 8.2%(15개 지점)에 해당하나 수달 미출현지점에서는 약 4.4%(3개)에 불과하다(Table 3). 이와 같은 분석결과는 수달이 먹이로 선호하는 어류가 은신처로 자갈이나 호박돌 등의 저질상태를 이용하는 것과 관계가 있는 것으로 보인다.

넷째, 횡구조물은 수달의 주 먹이원인 어류의 이동을 방해하는 대표적인 인공구조물이다(Cha et al., 2001; Choi and Yoon, 2012). 하천의 대표적인 교란 요인이라고도 할 수 있는 보의 설치는 어류의 이동을 결정하는 요소로 인식되고 있다. 횡구조물의 설치에 따른 수달의 휴식처 및 먹이를 섭취하는 공간이 어떤 관계를 갖는지 알아보았다. 분석결과, 보와 같은 횡구조물이 설치되지 않는 곳에서의 수달 출현빈도가 높게 나타났다. 횡구조물이 설치된 지역은 대부분 수달의 미출현지점으로 분석되었다(Table 3). 이는 수달이 섭식활동이나 놀이활동을 할 때 횡구조물에 의해 단절된 곳은 상하류로 이동하기 어렵고 수달의 주된 먹이감인 어류의 이동에도 방해요소로 작용하는 것으로 판단된다.

다섯째, 수달의 서식환경에 영향을 미치는 수면부 서식환경 변수로 유속 다양성을 포함하였으며, 이는 Craig method 계산법에 따라 낙동강 250개 조사지점의 유속 다양성을 파악하였다(Craig, 1987). 유속은 하천생태계의 구조와 기능을 결정하는 1차적인 요소이며, 느린 유속과 빠른 유속이 공존하는 유속의 다양성이 높은 지점은 하천의 생물다양성이 높다(Hwang et al., 2011). 분석결과, 수면부 서식환경에 있어 유속이

**Table 3.** Comparisons of aquatic attributes required to obtain environmental factor affecting the Eurasian otter between presence and absence sites

Environmental factor related to aquatic area	Code*	Presence		Absence		Total	
		N	Pct (%)	N	Pct (%)	N	Pct (%)
Riverside natural sandbar	1A	39	21.4	24	35.3	63	25.2
	1B	44	24.2	15	22.1	59	23.6
	1C	36	19.8	16	23.5	52	20.8
	1D	25	13.7	4	5.9	29	11.6
	1E	38	20.9	9	13.2	47	18.8
Ratio of active channel width to alluvial plain width	2A	12	6.6	4	5.9	16	6.4
	2B	25	13.7	6	8.8	31	12.4
	2C	60	33.0	22	32.4	82	32.8
	2D	13	7.1	6	8.8	19	7.6
	2E	72	39.6	30	44.1	102	40.8
Riverbed substrate	3A	0	0.0	1	1.5	1	0.4
	3B	10	5.5	6	8.8	16	6.4
	3C	113	62.1	43	63.2	156	62.4
	3D	44	24.2	15	22.1	59	23.6
	3E	15	8.2	3	4.4	18	7.2
Channel-crossing structures (i.e. weir)	4A	33	18.1	14	20.6	47	18.8
	4B	6	3.3	4	5.9	10	4.0
	4C	10	5.5	5	7.4	15	6.0
	4D	16	8.8	7	10.3	23	9.2
	4E	117	64.3	38	55.9	155	62.0
Flow diversity	5A	5	2.7	2	2.9	7	2.8
	5B	59	32.4	21	30.9	80	32.0
	5C	52	28.6	27	39.7	79	31.6
	5D	49	26.9	16	23.5	65	26.0
	5E	17	9.3	2	2.9	19	7.6

\* Detailed code description is given in Appendix.

완만하게 감소하거나 증가(32.4%), 불규칙한 유속변화(26.9%), 뚜렷한 유속변화(9.3%) 순으로 수달의 출현빈도가 높은 것으로 나타났다. 반면 미 출현지점은 유속변화가 거의 없는 건천화(2.9%), 여울이 간간히 존재(39.7%)하는 구간에서 상대적으로 높다. 이를 통해 수달은 유속이 완만하게 감소하거나 증가되는 하천구간을 선호하는 것으로 파악되었다(Table 3).

### 3.2.2. 하천 수변환경과 수달 출현특성

수달의 출현특성에 영향을 미치는 수변환경 인자

로 하도의 자연성과 하천형태의 인위적 변경정도, 제방하안 재료의 인공화 정도, 저수로 하안공사, 제내지와 제외지 토지이용으로 이루어진 5개 수변환경 변수로 살펴보았다(Table 4).

첫째, 수변환경을 나타내는 하도의 자연성과 인위적 변경 정도가 수달출현여부에 미치는 영향이다. 수달의 출현여부에 따른 하도의 자연성과 하천 형태의 인위적 변경 정도를 살펴보면, 수달은 정비하지 않은 자연 사행하천에서 주로 발견되는 것으로 나타났다

**Table 4.** Comparison of riparian environmental factors related to habitat condition of the Eurasian otter between presence and absence sites

Environmental factor related to riparian area	Code*	Presence		Absence		Total	
		N	Percent (%)	N	Percent (%)	N	Percent (%)
Riverbank characteristics	6A	5	2.7	7	10.3	12	4.8
	6B	20	11.0	9	13.2	29	11.6
	6C	15	8.2	18	26.5	33	13.2
	6D	115	63.2	34	50.0	149	59.6
	6E	27	14.8	0	0.0	27	10.8
Bank materials	7A	24	13.2	17	25.0	41	16.4
	7B	71	39.0	20	29.4	91	36.4
	7C	19	10.4	7	10.3	26	10.4
	7D	61	33.5	24	35.3	85	34.0
	7E	7	3.8	0	0.0	7	2.8
Man-made embankment type	8A	4	2.2	5	7.4	9	3.6
	8B	13	7.1	10	14.7	23	9.2
	8C	9	4.9	1	1.5	10	4.0
	8D	7	3.8	6	8.8	13	5.2
	8E	149	81.9	46	67.6	195	78.0
Land use/land cover of inland	9A	8	4.4	13	19.1	21	8.4
	9B	20	11.0	10	14.7	30	12.0
	9C	126	69.2	41	60.3	167	66.8
	9D	11	6.0	2	2.9	13	5.2
	9E	17	9.3	2	2.9	19	7.6
Land use/land cover of riverside lands	10A	3	1.6	6	8.8	9	3.6
	10B	4	2.2	5	7.4	9	3.6
	10C	23	12.6	7	10.3	30	12.0
	10D	33	18.1	9	13.2	42	16.8
	10E	119	65.4	41	60.3	160	64.0

\* Detailed code description is given in Appendix.

(Hewson, 1969). 낙동강 권역에 있는 27개 정비하지 않은 자연적인 사행하천에서는 모두 수달 출현지점으로 밝혀졌다(Table 4). 다음으로 높은 수달의 출현을 보이는 하천으로는 정비되었으나, 하도 및 저수로가 사행을 유지하는 구간이다. 사행하천을 유지하는 149개 조사지점에서 수달출현지점은 115개로 나타나 수달 미 출현지점 34개에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 수달이 출현한 총 182개 지점의 63.2%에 해당하는 115개 지점이 정비되었으나, 하도 및 저수로의 사

행을 유지하는 것으로 분석되었다(Table 4). 하천의 직강화는 유속 등 하천의 물리적 변화와 더불어 생물 종의 서식에 부정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 하도 및 저수로의 직강화에 해당하는 12개 분석대상 지점에서 수달이 출현한 지점은 5개인 반면 수달이 미 출현한 지점은 7개로 조사되었다.

둘째, 제방하안 재료의 인공화 정도는 저수로 하안과 마찬가지로 재료의 종류 및 인공피복 비율을 나타내는 것으로 수달 출현여부에 어떤 영향을 미치는지



분석하였다. 저수로 하안은 홍수가 일어났을 때 하천 범람으로 침수되거나 평상시에는 수면위에 노출되는 곳으로써 육역과 수역을 연결하는 전이공간이며, 생물의 이동과 생태계의 연속성 확보에 중요하다. 제방은 하천구역과 수변지역을 구분하는 인공구조물로서, 생태계 단절요인 중 하나이며, 하천생태계의 횡적 연결에 부정적 영향을 미친다. 낙동강 권역의 250개 지점에서 가장 많은 제방하안 재료는 투수성 재료의 사석으로 쌓아 놓은 자연형 하안블록으로 91개(36.4%)에 해당하고, 다음으로 인공 흙 제방(자연식생, 잔디 식재 등) 85개(34.0%)로 조사되었다. 수달 출현지점과 관계분석에 따르면 투수성 재료의 사석으로 쌓아 놓은 제방이나 자연형 하안블록으로 이루어진 하천에서의 수달출현비율이 상대적으로 높다. 투수성 재료의 사석으로 쌓아 놓은 제방은 낙동강 권역의 36.4%를 차지하고 있으나 수달의 출현지점 182개 지점 가운데 투수성 재료의 사석으로 쌓아 놓은 제방에서 71개(39.0%)가 조사되었다(Table 4). 인공화된 하천에서의 수달출현은 급감하였다. 예를 들어, 불투수성 콘크리트 하안은 41개(16.4%) 지점인데 수달출현지점 182개 가운데 24개(13.2%)가 불투수성 콘크리트 하안에 위치하고 있는 반면 수달 미 출현지점 68개 가운데 17개(25.0%)가 불투수성 콘크리트 하안에서 조사되었다(Table 4).

셋째, 수변환경 가운데 저수로 하안공사에 따른 하천의 수달 출현특성을 분석하였다. 수달은 대체적으로 하안공사가 없는 자연 상태의 하천을 선호한다. 낙동강 권역의 250개 조사지점에서 하안공사가 없는 자연 상태는 195개(78.0%)인데, 수달이 출현한 지점은 182개 지점 그 가운데 하안공사가 없는 자연 상태의 하천은 149개(81.9%)로 상대적으로 높은 비율을 보이고 있다. 한편, 수달이 출현하지 않은 68개 조사지점에서 하안공사가 없는 자연 상태 하천은 46개(67.6%)로 상대적으로 낮은 것으로 나타났다(Table 4). 불투수성으로 이루어진 콘크리트 하안에 위치한 9개 조사지점 가운데 수달이 출현한 지점은 4개이고, 수달이 출현하지 않은 지점은 5개로나 수달이 인공화된 콘크리트 호안을 선호하지 않음을 유추할 수 있다.

넷째, 제내지 토지이용이 수달의 출현과 어떤 관계

를 있는 지 확인하였다. 제내지는 제방을 통해 물로부터 인간을 보호하기 위한 지역으로 제방 안의 농경지 또는 주택 등이 있는 공간이다. 하천법(제2조)에서는 제방에서 독 바깥쪽으로 500 m 범위로 설정한다. 본 연구에서 제내지 토지이용은 제내지 내의 지배적인 토지이용을 도출하였으며, 산림, 습지, 경작지, 시가지 및 주거지가 수달 출현에 어떤 영향을 미치는지 살펴 보았다. 제내지 토지이용 분석결과, 제내지가 시가지와 경작지(논, 밭)인 조사지점이 250개 가운데 167개(66.8%)이고, 수달이 출현한 지점은 126개인 반면 수달이 출현하지 않은 지점은 41개로 나타났다(Table 4). 제내지 토지이용은 경작지, 공원, 시가지와 주거지가 가장 넓은 면적을 차지하고 있는데, 대부분 수달의 미 출현지점과 일치한다(Table 4).

다섯째, 제외지 토지이용은 수달이 먹잇감을 얻기 위한 섭식활동과 놀이, 이동을 위한 활동이 주로 일어나는 지역이다. 제외지는 도로, 체육시설, 주차장, 수상위락시설, 논과 밭 등으로 이루어져 하천환경에 부정적인 영향을 준다. 제외지 토지이용에서 가장 큰 비율은 자연식생으로 전체 조사지점의 64.0%에 해당하는 160개 지점이 자연식생지역으로 나타났다. 제외지 토지이용과 수달 출현특성과의 비교분석에 따르면, 제외지가 경작지(논, 밭)인 조사지점이 250개 가운데 30개(12.0%)이고, 수달이 출현한 지점은 23개인 반면 수달이 출현하지 않은 지점은 7개로 조사되었다(Table 4). 제외지 토지이용에 있어 자연식생지역이 70% 이상되는 구간(코드값: 10E)에서 수달의 출현지점은 119개인 반면 수달의 미 출현지점은 41개로 나타났다으며, 이를 통해 수달의 분포특성은 자연적인 제외지 토지이용과 높은 상관관계가 있음을 유추할 수 있다(Table 4).

수달의 출현지점과 미출현지점간의 수환경 변수의 통계적 유의도를 파악하기 위해 카이제곱 분석을 실시하였다. 분석에 따르면, 수달출현지점과 미출현지점의 차이를 설명하는데 있어 수면부 환경변수는 통계적으로 유의미한 차이가 없으나 수변부 환경변수는 5개 가운데 4개 변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Table 5). 수면부 환경변수는 수달의 먹이활동과 관련되거나 그물설치, 수중보 등과 같은 교란행위로 구분할 수 있으며, 수변부 환경변수는 수달의 보금

**Table 5.** Results of contingency  $\chi^2$  test to estimate statistical significance of environmental factors related to presence and absence sites of the Eurasian otter

Category	Environmental factor	$\chi^2$	P-value
Aquatic attributes	Riverside natural sandbar	8.376	.079
	Ratio of active channel width to alluvial plain width	1.444	.836
	Riverbed substrate	4.647	.326
	Channel-crossing structures (i.e., weir)	1.957	.744
	Flow diversity	4.872	.301
Riparian attributes	Riverbank characteristics	30.083	.000**
	Bank materials	8.128	.087
	Man-made embankment type	11.868	.018*
	Land use/land cover of inland	17.519	.002**
	Land use/land cover of riverside lands	11.867	.018*

\* P\_value < 0.05, \*\* P\_value < 0.01

자리, 번식활동을 위한 제내지 및 제외지 토지이용, 하도특성이나 저수로 하안공사 등을 제시할 수 있다. 수면부에 비해 수변부 환경변수가 중요하게 나타난 분석결과는 최근 하천환경의 개선을 통해 먹이자원이 풍부해지고, 어도설치를 통해 수면부 환경변수에 대한 수달의 서식지 영향은 점차 감소하는 반면 수변부의 돌 틈이나 나무뿌리, 하중도 등 자연적인 서식처는 점차 감소함에 따른 것으로 유추된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 하천생태계 건강성 지표종인 수달의 분포에 영향을 미치는 수환경 요인을 분석하였다. 분석결과, 10개의 환경변수 가운데 4개의 수변부 환경변수가 수달의 분포에 유의하다는 것을 알 수 있었다. 수달의 출현에 통계적으로 유의미한 환경변수는 하천의 종적 특성 2개 항목(하도 정비 및 하도특성의 자연성, 저수로 하안공 유형)과 하천의 횡적 특성 2개 항목(제내지 토지이용, 제외지 토지이용)으로 나타났다.

본 연구를 통해 하천의 수변환경과 관련된 변수 가운데 하천의 유속 및 흐름의 다양성을 결정하는 하도 정비 여부와 하도특성의 자연성 여부가 수달의 분포 특성을 결정하는데 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이는 수달이 자연사주 혹은 하중도를 휴식처와 놀이

를 위한 장소 또는 먹잇감을 섭취하기 위한 장소 (Manson and MacDonald, 1987; Han, 1997)로 이용하기 때문에 판단된다. 하안공은 홍수시 전체가 물에 잠기고 저수시에는 드러나는 곳으로써 수역과 육역을 연결하는 생태적으로 중요한 공간이다. 또한, 이 공간은 수달의 이동 및 서식장소로서 활발히 이용되는 곳이다(Kruuk et al., 1986). 하안의 재료 및 저수로 하안공에 대한 분석결과, 하안공이 없는 자연 상태를 선호하는 것으로 분석되었다.

하천의 수변환경은 하안공이 없는 자연 상태와 일부 투수성으로 된 자연형 하안 블록으로 되어 있는 하천에서 수달의 출현비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한, 하천수질에 직접적인 영향을 미치는 하천변 토지이용에 따른 수달 출현특성의 차이를 밝혀낼 수 있었다. 이는 인간의 활동이 하천에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 제내지 토지이용에 있어 경작지, 공원, 시가지와 주거지의 형태가 수달의 출현에 부정적인 영향을 미치는 반면, 인공녹지와 자연녹지가 혼재되었거나 자연 상태의 제내지 토지이용에서 수달의 출현비율이 높다. 또한 제외지의 경우 습지, 산림, 초지와 같은 자연형 토지이용이 수달의 출현에 긍정적인 영향을 미친다.

본 연구에서는 수생태계건강성 조사·평가 DB에서 추출한 낙동강 권역의 수환경이 수달의 출현에 미치는

영향인자를 분석하였다. 수면부에 비해 수변부의 환경변수가 수달의 분포특성에 영향을 미치고 있음을 밝혀냈는데, 이를 통해 수면부 환경특성을 대표하는 부착조류, 어류에 의한 건강성 평가와 함께 수변부 특성을 포괄하는 수달의 건강성 평가를 수변환경으로 분석할 수 있을 것이다. 향후 수변부 환경변수를 하천의 최상위 포식자인 수달의 분포특성과 관련하여 설정하며, 이를 위해 수변부 환경에 대한 조사가 확충되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 중견연구 “멸종위기 포유류 3종(사향노루, 산양, 수달)의 종분포모델 및 서식지 적합성지수 모델의 비교연구”(과제번호 2017R1A2B1012973) 일환으로 진행되었습니다.

### REFERENCES

- Cha, H. G., Kim, J. H., Yoon, M. H., 2017. A study on changes in the density of Eurasian otter spraints(2012-2016) - The Busan New Port-, J. Environ. Sci. Int., 26(4), 457-466.
- Cha, S. M., Han, S. Y., Son, S. W., 2001, Food habits of Eurasian otter (*Lutra lutra*) in Seomjin river and Namhae area in Korea, The Korean Society for Integrative Biology Conference Proceedings, 135.
- Choi, J. W., Yoon, M. H., 2012, A Study on food habits of the otter (*Lutra lutra*) and effects of construction of the Busan new port on its prey, J. Life Sci., 22(6), 736-743.
- Craig, D. A., 1987, Some of what you should know about water, Proceedings of the 35th Annual Meeting of the North America Benthological Society, 178-182.
- Han, S. Y., 1997. The ecological studies of Eurasian otter (*Lutra lutra*) in south Korea, Ph.D. Thesis, Kyungnam National University. Changwon, Korea.
- Hewson, R., 1969, Couch building by otters *Lutra lutra*, J. Zool., 159(4), 524-527.
- Hwang, S. J., Lee, S. W., Park, Y. S., 2011, Ecological monitoring, assessment, and restoration of running waters in Korea, Korean J. Limnol, 47, S1-S2.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources), 2014, IUCN Red List of Threatened Animals, New Zealand.
- Jo, M. H., Lee, S. H., Choi, H. L., Jang, S. H., 2013a, Building a GIS database for analyzing the integrated information on aquatic ecosystem health and its application, J. Korean Assoc. Geogr. Inf. Stud., 16(4), 189-203.
- Jo, M. H., Byun, M. S., Sim, J. S., Jang, S. H., 2013b, Geographic distribution of periphyton diatom species: A Case study of *Achnanthes convergens* in Nakdong river basin, J. Korean Assoc. Geogr. Inf. Stud., 17(3), 175-194.
- Jo, M. H., Sim, J. S., Lee, J. A., Jang, S. H., 2015, Health assessment of the Nakdong river basin aquatic ecosystems utilizing GIS and spatial statistics, J. Korean Assoc. Geogr. Inf. Stud., 18(2), 174-189.
- Jo, Y. S., Won, C. M., Kim, J. P., 2006, Distribution of Eurasian otter *Lutra lutra* in Korea, Korean J. Environ. Biol., 24(1), 89-94.
- Kruuk, H., Conroy, J. W. H., Glimmerveen, U., Ouwkerk, E. J., 1986, The use of spraints to survey populations of otters *Lutra lutra*, Biological Conservation., 35(2), 187-194.
- Kruuk, H., 1995, Wild otters: predation and populations, Oxford University Press Oxford, United Kingdom.
- Lee, H. J., Ha, J. W., Cha, J. Y., Lee, J. H., Yoon, H. N., Chung, C. U., Oh, H. S., Bae, S. Y., 2017. The habitat classification of mammals in Korea based on the national ecosystem survey, J. EIA, 26(2), 160-170.
- Lee, S. D., Cho, H. S., 2005, A Study of habitat use pattern of river otter (*Lutra lutra*) with land-cover map, J. EIA, 14(6), 377-385.
- Manson, C. F., MacDonald, S. M., 1987, The use of spraints for surveying otter *Lutra lutra* populations: an evaluation, Biological Conservation., 41(3), 167-177.
- Min, H. K., 2007, Studies on the behavior ecology and habitat environment of Eurasian otter(*Lutra lutra*) by radio-tracking, Ph.D. Thesis, Gyeongsang National University. Jinju, Korea.
- Ministry of Environment, 2012, The 4th nationwide survey guideline for natural environment, Ministry of Environment, Gwacheon, Korea.
- Ministry of Environment, 2013, Guideline for the national aquatic ecological monitoring program,

- Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Ministry of Environment, 2014, Survey and assessment report of stream river ecosystem health, Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Noh, S. Y., Choi, H. L., Park, J. Y., Hwang, S. J., Kim, S. H., Lee, J. A., 2015, Ecological health assessment using fish for the Han river and Nakdong river in Korea. J. Korean Soc. Water Environ., 31(3), 319-327.
- Rho, P., 2015, Using habitat suitability model for the wild boar (*Sus scrofa* Linnaeus) to select wildlife passage sites in extensively disturbed forests, J. Ecol. Environ., 38(2), 163-173.
- Thomas, A. G., John, E., Brock, R. M., Danny M., 2006, Space use and sociality of river otters (*Lontra canadensis*) in minnesota, J. Mammal., 87(4), 740-747.

■ Appendix : code description

Category	Environmental factor	Code	Description
Aquatic area	Riverside natural sandbar	1A	No sandbar existed
		1B	One sandbar existed
		1C	Two sandbars existed
		1D	Three sandbars existed
		1E	More than four sandbar existed
	Ratio of active channel width to alluvial plain width	2A	Ratio $\leq 0.5$ (narrow channel with wide alluvial plain)
		2B	$0.5 < \text{ratio} \leq 1.0$
		2C	$1.0 < \text{ratio} \leq 1.5$
		2D	$1.5 < \text{ratio} \leq 2.0$
		2E	Ratio $> 2.0$ (wide channel with narrow alluvial plain)
	Riverbed substrate	3A	Concrete and artificial materials
		3B	Silt and clay dominated
		3C	Fine and coarse sands
		3D	Gravel and hard bottom
		3E	Cobble, boulder, large mass of solid rock
	River-crossing structures (i.e., wier)	4A	River-crossing structures installed with no or malfunctioned fishways
		4B	Poorly designed fishways with steep slope along river
		4C	Well functioning migration facilities (i.e., fishway)
		4D	Semi-natural stream and mid-slope water courses
		4E	No artificial structures and natural river
	Flow diversity	5A	Stream depletion and no water flow
		5B	Slow water velocity with shallow water depth
		5C	Slow water velocity with relatively deep water (i.e., large ponds)
		5D	Moderately diverse flow diversity
		5E	Diverse water flow (well developed ponds and riffles)
Riparian area	Riverbank characteristics	6A	Canalization (constructed and concreted inland water courses)
		6B	Artificial straightened channel and alluvial plains
		6C	Artificial straightened channel, but irregular alluvial plain
		6D	Meandering alluvial channel with spotted artificial facilities
		6E	Natural riparian area with high sinuosity ratio
	Bank materials	7A	Concrete and artificial bank materials (impervious surface)
		7B	Rock, boulder and gravels (pervious surface)
		7C	Semi-natural materials with artificial boulders and planted vegetation
		7D	Man-made soil bank materials (natural vegetation, grass, forbs)
		7E	Natural soil bank (no artificial bank materials)
Man-made embankment type	8A	Artificial bank with concrete (impervious surface)	
	8B	Bank installed with large boulders (pervious surface)	
	8C	Bank stabilized with boulders and artificially planted vegetation	
	8D	Dominated natural banks and partially constructed bankside	
	8E	Natural bank with no human disturbance	
Land cover in inland	9A	$> 50\%$ urban or built-up area	
	9B	$30\text{-}50\%$ urban or built-up area mixed with croplands	
	9C	Dominated cropland with scattered parks and villages	
	9D	Natural vegetation mixed with artificial forest	
	9E	Natural riparian forest, shrub and herbaceous land	
Land cover in riverside area	10A	$> 50\%$ impervious surface with man-made structures	
	10B	$30\text{-}50\%$ parks and semi-natural area	
	10C	Agricultural lands (i.e., rice paddy and croplands, orchards)	
	10D	Natural vegetation ( $50\text{-}70\%$ ) mixed with artificial green space	
	10E	$> 70\%$ natural vegetation	