

## 도시 유역에 위치한 하구를 구성하는 하천의 저영향 개발 기간 산정

정안철·임정철·김송현·백충열\*\*

국립생태원 습지센터  
\*경상남도 람사르환경재단

### Estimation of low impact development duration of estuaries at urban area

Anchul Jeong·Jeongcheol Lim·Songhyun Kim·Chungyeol Baek\*\*

Wetlands Center, National Institute of Ecology, Korea  
\*Gyeongsangnamdo Ramsar Environmental Foundation, Korea

(Received : 30 August 2019, Revised: 30 September 2019, Accepted: 30 September 2019)

#### 요약

하구는 하천이 개방해역과 연결되어 있어 담수와 염수가 만나는 전이대로 생물다양성이 매우 높고 독특한 생태계를 구성하고 있다. 그러나 하구의 생태적 가치를 인식하기 전부터 다양한 훼손 및 교란이 이루어져 왔으며, 이를 위한 대책이 필요한 실정이다. 하구를 구성하는 하천의 하천기본계획은 지속적인 교란요소로 작용하고 있으나, 수재해로부터 인명피해를 최소화하고 하천의 기능을 강화시켜 국가 수자원을 관리하기 위한 공익적 목적이 있다. 따라서 개발과 생태계 보호라는 대립적 관계가 공존할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 이를 위해서 환경창이라는 개념을 이용해 하구 생태계가 개발의 부정적인 영향으로부터 교란이 최소화되는 기간인 저영향 개발 기간을 산정하였다. 본 연구에서 제시한 저영향 개발 기간 산정방법은 향후 이루어질 개발사업이나 교란·훼손 행위 등으로부터 생태계를 보호하기 위한 근거 및 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도시유역, 저영향개발, 하구, 환경창

#### Abstract

The estuary is a transition zone where fresh water and salt water meet because the stream is connected to the open sea area. So estuaries have very high biodiversity and form a unique ecosystem. However, before the recognition of the ecological value of the estuaries, various damage and disturbances have been occurred so countermeasures are needed. The river master plan is acting as a disturbance factor. However, the river master plan has the public object such as water disaster defense, river function improvement, and national water resources management. Therefore, it is necessary to study the ways in which the opposite relationship of development and ecosystem protection coexist. In this study, the concept of environmental windows were used to estimate the low impact development duration. We expected that proposed method for low impact development duration estimation can be used as a basis and basic data to protected the ecosystem from development project and disturbance in the future.

Key words : Environmental windows, Estuary, Low impact development, Urban area

## 1. 서 론

하구는 하천이 개방해역과 연결되어 있어 담수와 염수가 만나 형성된 전이대로 생물다양성이 매우 높고 독특한 생태계를 구성하고 있다(Fairbridge, 1968). 주로 하구에 위치하고 있는 연안습지의 생태적 가치는 1 ha 당 9,900달러로 농경지 92 달러보다 100배 이상 높게 평가되고 있으며, 지구상에서 가장 높은 생산성을 가지는 생태계라고 할 수 있다(Coatanza *et al.*, 1997). 일반적으로 하구는 항구와 산업시설 등이 위치하여 내륙과 해양의 연결점이자 교두보로서 인간 활동에 있어서도 매우

중요한 장소로 인식되고 이용되어 왔다. 우리나라 주요 하구도 인구가 밀집된 도시와 산업시설 등이 위치하고 있으며, 해양 접근성이 양호한 다수의 중소 하구 또한 지역의 경제적 논리에 입각한 개발압력으로 인해 훼손 또는 훼손위기에 처해 있는 상황이다. 특히 도시화를 비롯하여 토지이용 변화, 배수시설 건설, 농업용지 확장 등은 하구 및 그 일대 훼손의 주요 원인이라고 볼 수 있다. 하구를 구성하는 하천의 관점에서 본다면 10년 단위로 이루어지는 하천기본계획이나 수공구조물의 건설, 지역 개발사업 등은 하구 생태계를 교란시키는 주요 요인이라고 할 수 있다. 구체적으로 수질 오염, 어류 이동의 연속성 차단, 생태계 서식처 훼손, 및 경관 훼손 등을 예로 들 수 있다(Jeong *et al.*, 2015a). 그러나 하천기본계획은 홍수와 같은 수재해로부터 인명피해를 최소화하고 하천의 기능을 강화시켜 국가 수자원을 관리하기 위한 목적이 있다. 따라서 개발과 생태계 보호라는 대립적 관계가

\* To whom correspondence should be addressed.  
Gyeongsangnamdo Ramsar Environmental Foundation, Korea  
E-mail: thisplus0414@naver.com

공존할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

과거부터 위와 같은 연구는 대부분 개발사업에 대한 부정적인 영향을 저감하기 위한 구조물적 방법에 치중되어 연구가 이루어져 왔으며, 생태통로나 옹탁방지망, 친환경 건설 공법 및 장비 등이 있다(Jeong, 2018). 일반적으로 구조물적 방법은 그 효과가 가시적이라는 장점이 있는 반면에 예산과 시간의 소요가 크다는 단점이 있다. 반면에 비구조물적 방법은 효과를 정량화할 수는 없으나 상대적으로 적은 비용이 든다는 장점이 있다(Lee *et al.*, 2017). 개발사업과 생태계 보호의 공존을 위해서 연구된 대표적인 사례는 환경창(Environmental Windows; EWs)을 들 수 있다. 환경창은 미육군공병단에서 준설의 사회·환경적 측면을 중심으로 부정적인 영향을 최소화하기 위해서 개발하여 운영 중인 방법이다. 환경창은 준설의 부정적인 영향이 최소화되는 시기에 준설을 수행하도록 하고 그 외의 기간에는 제한하는 방법으로 2000년을 기준으로 미국 준설사업의 80%에 적용되고 있다(Dickerson *et al.*, 1998; TRB, 2001). 그러나 환경창은 준설사업에 대한 규제 강화로 인해서 준설비용을 과도하게 증가시킨다는 비판을 비롯하여 한 지역에 다수의 환경창이 존재하는 경우 준설기간 산정이 어렵게 되는 누적효과(cumulative effect)가 발생하며 수립 기준이 명확하지 않아 과학적이지 못하다는 비판이 있다(Reine *et al.*, 1998; TRB, 2001; Suedel *et al.*, 2008). 국내에서도 환경창에 대한 연구가 수행된 바 있으나 하도 준설에 국한하여 이루어졌다. Jeong *et al.* (2015a)은 정구분포의 누가분포함수를 이용하여 환경창에 대한 정량적인 정보를 제공할 수 있는 환경창 지수를 제안하여 해당 방법을 낙동강 유역에 적용한바 있다. 그리고 이 방법의 검증에 위하여 현재 환경창이 수립되어 운영 중에 있는 샌프란시스코 만에 적용하여 방법론의 타당성을 입증하였다(Jeong *et al.*, 2016a). Jeong *et al.* (2016b)은 Jeong *et al.* (2015a)

의 연구에서 제안한 환경창 지수 산정 방법의 복잡성을 개선하고 기존 환경창의 단점인 누적효과 완화와 수립기준 체계화를 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해서 효용함수를 이용하여 방법론을 단순화하고 4대강 다기능보에 대한 환경창 지수를 산정하여 각 생물종에 대한 가중치를 적용함으로써 누적효과를 완화하였다. 그러나 통합 환경창을 수립하면서 각 생물종에 대해 동일 가중치를 적용하여 각 생물종의 특성을 반영하지 못한 한계점이 있었다. 통합 환경창 수립을 위해 적용되는 가중치 산정을 위해서 Jeong *et al.* (2015b)의 연구에서는 엔트로피 방법을 이용한 사례도 있다. 그러나 현재까지 엔트로피 방법을 이용하여 가중치를 산정하기에는 자료의 수가 적다는 단점이 존재하였다.

본 연구에서는 하구 개발에 의한 생태계 교란 및 훼손을 최소화하기 위한 방안으로서 환경창을 수립하여 생태계 측면에서 개발사업의 부정적인 영향이 최소화되는 저영향 개발 기간을 산정하였다. 2018년 하구역 생태계 정밀조사(NIER, 2018)가 이루어진 3개 하천에서 서식이 확인된 생물 중에서 멸종위기 야생생물을 대상으로 환경창 지수를 산정하고 각 연구대상 지별 저영향 개발 기간을 제안하였다.

## 2. 연구대상지 및 연구방법론

### 2.1 연구대상지

연구대상지는 동해시의 전천과 삼척시의 오십천, 인천광역시의 장수천 하구역으로 모두 도시 유역에 위치한 하천으로 구성된 하천을 대상으로 하였다. 하천의 수역을 중심으로 500 m의 완충지역을 포함하여 조사를 수행하였다(Fig. 1). Fig. 1에서 붉은 색 실선은 수역이며, 수역으로부터 500 m 확장한 범위인 노란색

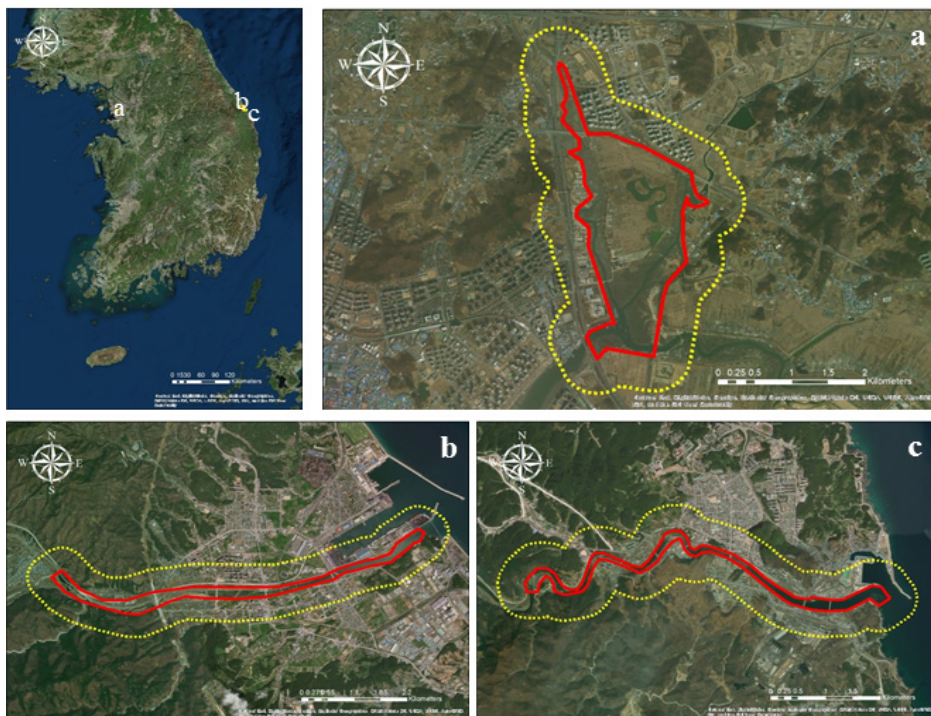


Fig. 1. Study area, (a) Jangsu stream, (b) Jeon stream, and (c) Osip stream

Table 1. Distribution status by biological species

Taxon	Jangsu stream	Osip stream	Jeon stream
Plants	217	262	263
Amphibians-Reptiles	4	7	8
Fishes	7	42	30
Birds	60	71	73
Mammalia	4	8	3
Insects	250	189	251
Invertebrates	63	131	131
Plankton	70	148	140
Total	675	858	899

점선으로 나타낸 부분까지 조사를 수행하였다. 조사항목은 지형·유역환경, 식생, 식물상, 조류, 어류, 포유류, 양서·파충류, 육상곤충, 저서무척추동물, 기수무척추동물, 동·식물 플랑크톤 총 12개 분류군에 대해서 조사를 실시하였다.

조사결과, 인천광역시의 장수천에서는 멸종위기 야생생물 4종을 포함해 총 675종의 생물종 서식이 확인되었으며, 소래습지 생태공원을 통해 지속적으로 관리가 이루어지고 있는 것으로 파악되었다. 삼척시의 오십천은 멸종위기 야생생물 8종을 포함한 858종의 생물종 서식이 확인되었으며, 동해시의 전천에서는 멸종위기 야생생물 3종을 포함해 총 899종의 생물종 서식이 확인되었다(Table 1). 전술한 바와 같이 3개의 하천은 모두 도시하천으로 대부분 강도 높은 교란에 지속적으로 노출되어 있는 것으로 조사되었다. 특히 오십천과 전천에서는 조사 기간 중에도 하천 개수공사가 이루어지고 있었다. 소래습지 생태공원을 조성하여 지속적인 관리를 하고 있는 장수천 역시 방문객들의 드론 비행으로 인해서 수조류가 이차륙을 반복하는 모습을 관찰할 수 있었으며, 장수천 상류에서는 다수의 골프공이 확인되어 생태계에 교란요소로 작용하고 있었다.

2.2. 연구방법론

본 연구에서는 하구를 대상으로 생태계 보호와 개발사업의 공존을 위한 저영향 개발 시기를 산정을 위해 환경창 지수를 이용하여 환경창을 수립하였다. 환경창 수립을 위한 단계는 Fig. 2와 같으며, 멸종위기 야생생물을 중심으로 연구를 진행하였다. 환경창 수립을 위해서 멸종위기 야생생물의 생활사에 대해서 월단위로 조사를 수행하였으며, 초기 생활사 단계에서 개발사업의 부정적인 영향의 강도가 크다고 가정하였다. 위의 가정을 기반으로 각 멸종위기 야생생물의 생활사에 등급을 부여하였으며, 부여된 등급을 이용하여 환경창 지수를 산정하였다. 환경창 지수 산정에 있어 무차원 단위로 단위를 통일해주고 동일한 범위 내에서 상대적 중요도를 평가하기 위해 Eq. (1)과 같이 표현되는 효용함수를 이용하였다 (Jeong et al., 2016b).

$$u_i = \frac{z_i - \min(z_i)}{\max(z_i) - \min(z_i)} \quad (1)$$

여기서  $u_i$ 는  $i$ 의 효용으로 환경창 지수,  $i$ 는 생물 분류군,  $z_i$

는  $i$ 의 척도로 각 월별로 분류군에 부여된 등급,  $\max(z_i)$ 와  $\min(z_i)$ 는 각 분류군의 최대·최소 등급을 의미한다.

위와 같이 산정된 환경창 지수는 분포 범위가 0.0~1.0까지로 1.0에 근사할수록 개발사업의 부정적 영향이 상대적으로 작은 시기가 되며, 0.0에 근사하면 그 반대가 된다. 따라서 1.0에 근사하는 경우가 저영향 개발 시기라고 할 수 있다. 본 연구에서는 위와 같은 단계를 거쳐 각각의 생물에 대한 환경창을 개별 환경창이라고 하였다. 한 지역에 다양한 생물의 환경창이 수립되는 경우에는 상충된 생활사를 갖는 생물 분류군에 의해 저영향 개발 시기를 산정하기 어렵게 된다. 이러한 상황을 해결하기 위해서 본 연구에서는 가중치를 적용하여 개별 환경창을 하나의 환경창으로 나타내었으며, 이를 통합 환경창이라고 하였다. 통합 환경창으로 통해서 저영향 개발 시기를 산정하였으며, 가중치에 의해서 각 분류군의 생활사가 환경창에 반영되는 경향과 과정을 검토하였다.

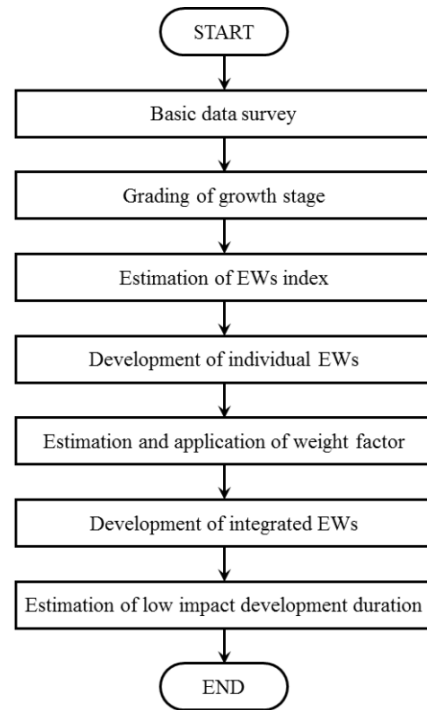


Fig. 2. Flow chart of environmental windows estimation

2.3 기초자료 수집

3개 하구역에서 서식이 확인된 멸종위기 야생생물은 장수천 4종, 오십천 8종, 전천 3종으로 Table 2와 같으며, 오십천에서 가장 많은 멸종위기 야생생물이 서식하는 것으로 조사되었다. 각 분류군별 멸종위기 야생생물의 분포 비율은 조류, 무척추동물, 포유류 순이었으며, 어류와 양서·파충류는 각 1종 씩 조사되었다. 연구대상 구역에 따라서 중복되어 서식이 확인된 생물도 있어 총 11종에 대한 생활사를 NIBR(2012a, 2012b, 2012c, 2012d, 2012e), Kown et al. (2013), NIBR(2018)을 참고하여 조사하였다(Table 3).

조사된 각 생물의 생활사에서 공란으로 표기된 부분은 특별한 생활사에 대한 언급이 없는 기간이다. 조롱이(*Accipiter gularis*), 흰발농계(*Clithon retropictus*) 등은 산란기를 제외한

Table 2. Endangered wildlife species status

Taxon	Jangsu stream	Osip stream	Jeon stream	Total
Birds	<i>Platalea minor</i> , <i>Falco subbuteo</i>	<i>Falco subbuteo</i> , <i>Accipiter gularis</i> , <i>Charadrius placidus</i>	<i>Charadrius placidus</i>	6
Mammalia		<i>Prionailurus bengalensis</i> , <i>Lutra lutra</i>	<i>Lutra lutra</i>	3
Fishes		<i>Cottus hangiongensis</i>		1
Amphibians-Reptiles	<i>Kaloula borealis</i>			1
Invertebrates	<i>Uca lactea</i>	<i>Cybister japonicus</i> , <i>Clithon retropictus</i>	<i>Clithon retropictus</i>	4
Total	4	8	3	15

Table 3. Growth stage of endangered wildlife species

Month	P	F	A	C	PB	L	CH	K	U	CJ	CR
Jan.	M	M				B		W			
Feb.	M	M			B	B		W			
Mar.	D	D		B	B	B	B	W			
Apr.	B	D		B	B	B, G	B	W			
May	B	B	B	B	B	B, G	G	W			
Jun.	D	B	B	B	B	G		B	B	B	B
Jul.	D	G		B	G	G		B	B		B
Aug.	D	G			G	G		B	B		B
Sep.	D	M				G		G			B
Oct.	D	M						G			
Nov.	D	M						G			
Dec.	M	M						W			

P: *Platalea minor*, F: *Falco subbuteo*, A: *Accipiter gularis*, C: *Charadrius placidus*, PB: *Prionailurus bengalensis*, L: *Lutra lutra*, CH: *Cottus hangiongensis*, K: *Kaloula borealis*, U: *Uca lactea*, CJ: *Cybister japonicus*, CR: *Clithon retropictus*, M: Migration season, D: Domestic ingabitation, B: Breeding season, G: Growth season, W: Winter sleep period

다른 생활사에 대한 연구 및 조사 결과를 취득이 어려웠으며, 향후 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 자료취득의 한계로 인해서 생활사가 조사되지 않은 기간은 특별한 생활사가 없다고 가정하고 가장 낮은 등급을 부여하였다.

### 3. 연구결과 및 분석

#### 3.1 개별 환경창 수립

Table 3과 같이 조사된 각 생물의 생활사를 환경창 지수로

환산하기 위해서 산란기와 같은 초기 생활사에서는 개발사업의 부정적인 영향의 강도가 상대적으로 크다고 가정하였다. 위와 같은 가정을 이용하여 각 생물의 생활사를 등급화하면 Table 4와 같다.

등급화 결과에 Eq. (1)을 적용하면 각 생물에 대한 개별 환경창이 수립되며, 그 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 적색 계열은 개발사업의 부정적인 영향 강도가 상대적으로 큰 기간을 의미하며 녹색 계열은 그 반대를 의미한다. 노란색 계열은 적색과 녹색의 중간 정도에 해당하는 개발사업의 부정적인 영향 강도를 나타낸다.

Table 4. Grading results of endangered wildlife species growth stage

Month	P	F	A	C	PB	L	CH	K	U	CJ	CR
Jan.	3	4	2	2	3	1	3	3	2	2	2
Feb.	3	4	2	2	1	1	3	3	2	2	2
Mar.	2	3	2	1	1	1	1	3	2	2	2
Apr.	1	3	2	1	1	2	1	3	2	2	2
May	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	2
Jun.	2	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1
Jul.	2	2	2	1	2	3	3	1	1	2	1
Aug.	2	2	2	2	2	3	3	1	1	2	1
Sep.	2	4	2	2	3	3	3	2	2	2	1
Oct.	2	4	2	2	3	4	3	2	2	2	2
Nov.	2	4	2	2	3	4	3	2	2	2	2
Dec.	3	4	2	2	3	4	3	3	2	2	2

P: *Platalea minor*, F: *Falco subbuteo*, A: *Accipiter gularis*, C: *Charadrius placidus*, PB: *Prionailurus bengalensis*, L: *Lutra lutra*, CH: *Cottus hangiongensis*, K: *Kaloula borealis*, U: *Uca lactea*, CJ: *Cybister japonicus*, CR: *Clithon retropictus*

Table 5. Individual environmental windows for each species

Species	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
P	1.000	1.000	0.500	0.000	0.000	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	1.000
F	1.000	1.000	0.667	0.667	0.000	0.000	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000
A	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
C	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
PB	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000
L	0.000	0.000	0.000	0.333	0.333	0.667	0.667	0.667	0.667	1.000	1.000	1.000
CH	1.000	1.000	0.000	0.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
K	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.500	1.000
U	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CJ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CR	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

P: *Platalea minor*, F: *Falco subbuteo*, A: *Accipiter gularis*, C: *Charadrius placidus*, PB: *Prionailurus bengalensis*, L: *Lutra lutra*, CH: *Cottus hangiongensis*, K: *Kaloula borealis*, U: *Uca lactea*, CJ: *Cybister japonicus*, CR: *Clithon retropictus*

대부분 산란기에 해당하는 기간이 적색 계열로 나타났으며, 녹색은 특별한 생활사를 나타내지 않는 기간이다. 조류는 4~7월, 포유류는 1~6월, 어류는 3~4월, 그 외 생물들은 6~9월이 개발 사업의 부정적인 영향의 강도가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 해당 기간은 대부분 산란기나 번식기에 해당하는 기간으로서 초기 생활사에 포함되는 기간이기 때문에 환경창지수가 낮게 산정되었다.

3.2 연구대상지별 통합 환경창 수립

각 개별 환경창을 각 연구 대상지로 국한하여 표기하면 Table 6과 같이 나타낼 수 있다. 장수천의 경우에는 12~2월 까지 모든 생물에 대한 환경창 지수가 1.0을 나타내고 있으며, 오십천과 전천은 10~12월로 나타났다. 모두 3개월에 해당하는 기간에 대해서 개발사업에 대한 부정적인 영향의 강도가 낮은 것으로 나타났다. 그러나 3개월 이상의 공기를 갖는 개발

사업이나 겨울철 결빙으로 인해서 공사가 어려운 경우에 대해서는 기간의 조정이 필요하다. 그러나 개별 환경창을 통해서 기간을 조정하는 것은 각 생물 분류군의 특성을 반영하기 어렵기 때문에 각 생물 분류군의 특성을 고려한 하나의 환경창이 필요하다.

본 연구에서는 각 생물 분류군의 특성을 고려하여 가중치를 산정하여 적용함으로써 각 연구대상지별 하나의 통합 환경창을 수립하여 제시하고자 하였다. 가중치 산정은 수체를 중심으로 개발사업으로부터 회피가 어려운 생물 분류군으로 등급을 부여하여 해당 등급에 역수를 취해 가중치를 산정하였다. 따라서 가중치는 저서무척추동물이 가장 크고 그 다음으로 어류, 양서·파충류, 육상곤충, 포유류, 조류 순으로 부여되었다 (Table 6).

가중치를 Table 6에 적용하면 Table 7과 같은 통합 환경창을 수립할 수 있다. 장수천 하구역의 경우에는 개별 환경창과

Table 6. Individual environmental windows and weight factors of study area

Classification		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	WF
Jangsu stream	P	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.15
	F	1.00	1.00	0.67	0.67	0.00	0.00	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.15
	K	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.23
	CJ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.46
Osip stream	F	1.00	1.00	0.67	0.67	0.00	0.00	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.09
	A	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.09
	C	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.09
	PB	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.11
	L	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	0.11
	CH	1.00	1.00	0.00	0.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17
Jeon stream	CR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.34
	C	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.18
	L	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	0.27
	CR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.55

P: *Platalea minor*, F: *Falco subbuteo*, A: *Accipiter gularis*, C: *Charadrius placidus*, PB: *Prionailurus bengalensis*, L: *Lutra lutra*, CH: *Cottus hangiongensis*, K: *Kaloula borealis*, U: *Uca lactea*, CJ: *Cybister japonicus*, CR: *Clithon retropictus*, WF: *Weight factor*

Table 7. Integrated environmental windows of study area

Study area	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Jangsu stream	1.000	1.000	0.872	0.795	0.692	0.077	0.590	0.590	0.808	0.808	0.808	1.000
Osip stream	0.886	0.771	0.486	0.524	0.467	0.248	0.419	0.505	0.619	1.000	1.000	1.000
Jeon stream	0.727	0.727	0.545	0.636	0.636	0.182	0.182	0.364	0.364	1.000	1.000	1.000

동일하게 12~2월에 개발사업을 진행하는 것이 생태계에 부정적인 영향을 최소화하는 기간으로 나타났다. 오십천과 전천은 10~12월에 개발사업으로 인해 생태계에 미치는 부정적인 영향을 최소화할 수 있는 기간으로 산정되었다. 이와는 반대로 개발사업의 부정적인 영향이 가장 큰 기간은 모두 6월로 나타났다, 전천 하구역만 6~7월까지인 것으로 나타났다.

### 3.3 통합 환경창의 임계치 설정

무분별한 개발행위나 훼손 위기로부터 하구 생태계를 보호하기 위한 수단으로 환경창을 이용하는 경우에는 개발사업이 이루어질 수 있는 기간과 그렇지 않은 기간을 분리할 필요가 있다. 이를 정확히 파악하기 위해서는 홍수기 및 결빙기와 같은 개발사업이 어려운 시기와 가중치의 영향 등을 종합적으로 고려하여 위험기간, 완충기간, 저영향 개발기간을 분할하기 위한 임계치를 설정해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 개발사업에 대한 회피 가능성이 높은 분류군이라도 산란기나 번식기와 같은 생태적으로 중요한 시기에는 훼손 및 교란이 없어야 한다고 가정하고 연구대상지별 임계치를 설정하였다.

장수천 하구역은 4월에 저어새의 산란기를 시작으로 멧꿩의 산란기가 8월에 끝나 약 5개월간 산란기가 지속되는 것으로 조사되었다. 해당 기간 동안 장수천 하구역의 통합 환경창에서 최대 환경창 지수는 0.795이다. 따라서 0.795를 임계치로 설정하고 0.795 이하의 환경창 지수를 보이는 기간에 대해서는 위험기간으로 설정하였다. 저영향 개발 기간에 대한 임계치는 특별한 생활사를 보이지 않음에 따라 최대 환경창 지수로 산정된 1.0으로 채택하였다. 위와 같은 방법으로 연구대상지의 통합 환경창을 임계치에 따라 구분하면 장수천 하구역은 4~8월까지 위험기간, 12~2월까지 저영향 개발 기간, 그 외 4개월에 해당하는 기간이 완충기간으로 산정되었다. 오십천 하구역은 1~9월까지 위험기간, 10~12월이 저영향 개발 기간으로 산정되었으며, 완충기간은 없는 것으로 나타났다. 전천 하구역 역시 완충기간은 없는 것으로 산정되었으며, 위험기간은 1~9월, 저영향 개발 기간은 10~12월인 것으로 나타났다.

기간에 대한 임계치 외에도 공간적 범위를 한정해주는 임계 범위도 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어 장수천에서 서식이 확인된 멧꿩의 경우에 장수천 하구 전역에 분포하는 것은 아닐 수 있기 때문이다. 따라서 서식이 확인된 지점을 중심으로 저영향 개발 범위를 산정하는 연구도 필요하지만 본 연구의 목적은 저영향 개발 기간 산정이기 때문에 제외하였다.

### 3.4 저영향 개발 기간 산정

임계치를 이용하여 분할되어 제시된 기간은 생태계 중에서도 멸종위기 야생생물만을 고려한 결과이다. 하지만 실제 개발 사업을 수행하는데 있어 자연·환경적인 조건 등에 의해서 물리적으로 개발사업을 수행하기 어려운 기간이 있으며, 홍수기가 이러한 기간에 포함될 수 있다. 홍수기에는 하천의 수위가 증가되어 안전상의 문제가 있을 수 있으므로 생태적인 측면을 고려하지 않더라도 하천에서 개발사업을 진행하기 어렵게 된다. 따라서 이러한 기간을 고려하여 저영향 개발 기간을 산정할 필요가 있다. 국내의 홍수기는 댐 관리규정(K-water, 2012)에서 6월 21일부터 9월 20일까지로 제안하고 있으며, 본 연구에서는 이를 참고하여 7~9월까지를 홍수기로 고려하였다. 홍수기를 고려하여 환경창을 수립하고 임계치를 적용한 결과는 Table 8과 같다.

저영향 개발 기간은 모두 3개월로 산정되었으며, 장수천은 12~1월, 오십천과 전천은 10~12월로 나타났다. 3개월을 초과하는 개발사업이 필요한 경우에는 완충기간으로의 기간 확대가 필요하다. 완충기간으로 확대할 경우에는 환경창 지수가 낮은 완충기간보다 상대적으로 환경창 지수가 높은 기간이 우선시 될 필요가 있다. 완충기간이 없는 오십천과 전천 같은 경우에는 위험기간에 대하여 환경창 지수가 높은 기간으로 확장하는 계획이 필요하다고 판단된다. 또한 가뭄 등의 영향으로 개발사업이 가능하다고 판단되는 홍수기로 포함된 기간에는 높은 환경창 지수를 나타내는 기간에 한정하여 개발사업을 진행하는 계획 수립이 이루어져야 한다고 판단된다.

위의 기준을 토대로 장수천에서 4개월 이상의 개발사업이

Table 8. Estimation results of low impact development duration

Study area	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Jangsu stream	1.000	1.000	0.872	0.795	0.692	0.077	0.590	0.590	0.808	0.808	0.808	1.000
	L		B	D					B		L	
Osip stream	0.886	0.771	0.486	0.524	0.467	0.248	0.419	0.505	0.619	1.000	1.000	1.000
	D									L		
Jeon stream	0.727	0.727	0.545	0.636	0.636	0.182	0.182	0.364	0.364	1.000	1.000	1.000
	D									L		

L: Low impact development duration, B: Buffer duration, D: Danger duration

수행될 경우에는 11월, 10월, 3월 순으로 확장 가능할 것으로 판단되며, 오십천과 전천의 경우에는 1월, 2월 순으로 확장 가능할 것으로 판단된다. 오십천에서 6개월 이상의 개발사업이 불가피하게 진행될 경우에는 3월로 확장하는 것보다는 9월로 확장하는 방안도 고려할 수 있다.

이러한 과정은 모두 환경창 지수 및 홍수기 등을 고려한 경우이기 때문에 중요도 측면에서 현실과 다를 가능성도 있다. 따라서 환경창 지수를 통해 저영향 개발 기간을 산정하였다 하더라도 이해당사자 등의 의견을 수렴하여 환경창과 상호 비교·검토하는 과정이 필요하다고 본다.

#### 4. 결 론

최근 사회적인 문제를 비롯하여 생태·환경에 대한 관심과 인식이 증가되고 있는 상황에서 개발사업에 대한 부정적인 인식이 높아지고 있다. 이러한 현실에서 개발사업의 계획단계부터 생태계를 고려하여 개발에 따른 부정적인 영향을 최소화하기 위해서 저영향 개발 기간을 산정하였다. 이를 위해서 기존에 준설 사업에 적용되고 있는 환경창이라는 개념을 적용하였다.

연구대상지는 인천광역시 옹진군, 삼척시의 오십천, 동해시의 전천으로 11개 생물분야 분류군의 조사 결과를 이용하였다. 그 중에서 멸종위기 야생생물의 생활사를 이용하여 개발사업의 부정적인 영향의 강도가 초기 생활사에 미치는 영향이 가장 크다고 가정하여 연구를 수행하였다. 효용함수를 이용하여 환경창 지수를 산정하여 하나의 생물에 해당하는 개별 환경창을 수립하였으며, 가중치를 적용하여 각 연구대상지를 대표하는 통합 환경창을 제시하였다. 가중치는 각 분류군별로 개발사업의 교란 및 훼손으로부터 회피 가능성을 고려하여 산정하였으며, 통합 환경창에 임계치와 홍수기를 적용하여 저영향 개발 기간을 산정하였다. 임계치는 생물 분류군의 산란기 및 번식기에는 개발사업이 이루어지지 않도록 설정하였으며, 홍수기는 7~9월을 적용하였다. 모든 연구대상지의 저영향 개발 기간은 3개월로 산정되었으며, 장수천은 12~2월, 오십천과 전천은 10~12월로 산정되었다. 3개월 이상 개발사업이 필요한 경우에는 완충기간 및 환경창 지수가 상대적으로 큰 기간으로 확장하도록 제안하였다.

환경창 지수를 산정함에 있어서 본 연구에서는 멸종위기 야생생물의 생활사를 이용하였으나 현재까지 멸종위기 야생생물의 생활사에 대한 조사가 미흡하여 산란기만 제시된 생물이 다수 존재하였다. 개발사업의 교란과 훼손으로부터 생태계를 보호하기 위해서는 위와 같은 생활사에 대한 조사 및 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있다고 판단된다. 또한 가중치 산정을 위해서 일반적으로 사용되는 AHP 혹은 Delpi 등의 기법을 이용하지 않았으나, 추후 연구에서는 이를 고려하여 가중치를 산정하고자 한다. 임계치 산정에 대해서도 각 분류군의 전문가 자문을 받아 추가적인 연구를 수행하고자 한다. 본 논문의 연구대상지역인 하구역의 특성을 추가로 고려할 방안으로 조수간만의 영향 및 해수 온도에 대한 영향 등도 반영하여 추가적인 연구를 수행하고자 한다.

하구역은 담수와 염수의 혼합으로 기수역을 형성하는 독특한 생태계로 생물 다양성과 생산성이 매우 높은 지역으로 알려져 있지만, 산업화와 도시화 등과 같은 교란 및 훼손 행위에 노출되어 왔다. 이러한 상황에서 본 연구에서 제시한 저영향 개발 기간은 향후 이루어질 개발사업이나 교란·훼손 행위 등으로부터 생태계를 보호하기 위한 근거 및 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 의사결정권자 및 이해당사자들에게 정량적인 정보를 제공함으로써 개발사업의 부정적인 영향의 강도를 저감하여 생태와 인간이 공존할 수 있는 하나의 수단으로 활용되길 바란다.

#### References

- Costanza, R, d'Arge, R, de Groot, RS, Farber, S, Grasso, M, Hannon, B, Limburg, K, Naeem, S, O'Neill, RV, Paruelo, J, Raskin, RG, Sutton, P and van den Belt, M (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387, pp. 253-260. [DOI: <https://doi.org/10.1038/387253a0>]
- Dickerson, DD, Reine, KJ and Clarke, DG (1998). *Economic impacts of environmental windows associated with dredging operations*. DOER Technical Notes Collection, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Fairbridge, RW (1968). *The Encyclopedia of Geomorphology*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jeong, A. (2018). *Development of decision support system for river dredging by river morphodynamic considering hydraulic structure operation*. Ph.D. dissertation, Chungnam National University, Daejeon. [Korean Literature]
- Jeong, A, Kim, S, Kim, M and Jung, K (2015a). Environmental windows setting method for environmental-friendly river dredging in Nakdong river basin. *Journal of Environmental Policy*, 14(4), pp. 45-61. [Korean Literature]
- Jeong, A, Oh, S, Kim, S, Kim, M and Jung, K (2015b). Development of Korean environmental windows using entropy. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, Gosung, Korea, p. 108. [Korean Literature]
- Jeong, A, Kim, S, Kim, M and Jung, K (2016a). Development of environmental windows index for environmental-friendly dredging. *Proceedings of the 2016 Spring Meeting the Korean Environmental Dredging Society*, Seoul, Korea, pp. 49-62. [Korean Literature]
- Jeong, A, Kim, S, Yu, W, Kim, M and Jung, K (2016b). Estimation of environmental friendly dredging season at multi-functional weirs by environmental windows. *Journal of Korean Society Hazard Mitigation*, 16(4), pp. 339-348. [DOI: [10.9798/KOSHAM.2016.16.4.339](https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.4.339)] [Korean Literature]

- Kown, S, Jeon, Y and Park, J (2013). *Checklist of organisms in Korea 7, Benthic macroinvertebrates*. [Korean Literature]
- K-water (2012). *Dam operational practices handbook*. [Korean Literature]
- Lee, S, Noh, SJ, Jang, C and Rhee, DS (2017). Simulation and analysis of urban inundation using the integrated 1D-2D urban flood model. *Journal of Korea Water Resources Association*, 50(4), pp. 263-275. [DOI: [10.3741/JKWRA.2017.50.4.263](https://doi.org/10.3741/JKWRA.2017.50.4.263)] [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR) (2012a) *Red data book of endangered birds in Korea*. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR) (2012b) *Red data book of endangered amphibians and reptiles in Korea*. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR) (2012c) *Red data book of endangered fishes in Korea*. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR) (2012d) *Red data book of endangered mammals in Korea*. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR) (2012e) *Red data book of endangered mollusks in Korea*. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR) (2018) *Endangered wildlife at a glance*. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2018). *The 2nd intensive survey on estuarine ecosystem('18)*. [Korean Literature]
- Reine, KJ, Dickerson, DD and Clarke DG (1998). *Environmental windows associated with dredging operations*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Suedel, BC, Kim J, Clarke DG and Linkov, I (2008). A risk-informed decision framework for setting environmental windows for dredging projects. *Science of the Total Environment*, 403, pp. 1-11. [DOI: [10.1016/j.scitotenv.2008.04.055](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.055)]
- Transportation Research Board (TRB) (2001). *A process for setting, managing, and monitoring environmental windows for dredging projects*.

#### 〈저자소개〉

##### **Anchul Jeong**

National Institute of Ecology  
Research fellow / anchuly@nie.re.kr

##### **Jeongcheol Lim**

National Institute of Ecology  
Research fellow / ljc8002@nie.re.kr

##### **Songhyun Kim**

National Institute of Ecology  
Research fellow / palaeokim@korea.kr

##### **Chungyeol Baek**

Gyeongsangnamdo Ramsar Environmental Foundation  
Research fellow/ thisplus0414@naver.com