

〈Original article〉

대형 댐과 농업용 보가 하류 서식처 특성에 미치는 영향 연구: 탐진강 유역을 대상으로

옥기영* · 강지현¹ · 박형근 · 강동원²

국립생태원 생태기반연구실, ¹국립생태원 생태조사연구실, ²국립생태원 멸종위기종복원센터

Combination Effects of Large Dam and Weirs on Downstream Habitat Structure: Case Study in the Tamjin River Basin, Korea

Giyoung Ock*, Ji-Hyun Kang¹, Hyung-Geun Park and Dong-Won Kang²

Division of Basic Research, National Institute of Ecology (NIE), Seocheon 33657, Republic of Korea

¹*Division of Ecological Monitoring, NIE, Seocheon 33657, Republic of Korea*

²*Research Center for Endangered Species, NIE, Yeongyang 36531, Republic of Korea*

Abstract - The purpose of this study was to investigate the long-term habitat morphological alteration resulting from a large dam and weirs in the Tamjin River. To achieve this, we carried out a hydrograph analysis and a substrate size distribution analysis. We also estimated the channel width, bar area and vegetation encroachment using aerial photographs taken before and after the construction of the dam and weirs. The result of the hydrological analysis showed that flooding downstream was greatly reduced with small peaks occurrence after the dam construction. Interestingly, normal hydrographs in the main channel appeared just after tributary conjunction. There was a similar pattern in the substrate size analysis. Despite coarsened substrate just downstream of the dam site, more sand appeared again after introduction of the tributary. However, there was an increase in the bar area downstream of the dam's channels with most bars covered with vegetation. The channel width increased at the upper area of weirs through impoundment, but decreased downstream because of vegetation encroachment. This study indicate that unregulated tributary plays an important role in restoring hydro-physical habitat conditions in mainstream channels below a large dam. However, numerous weirs could be a causal factor to accelerate habitat deterioration in the dam downstream channels.

Keywords : dam impact, weirs, habitat alteration, bar vegetation

서 론

생물서식처로서의 여울과 소, 사주, 홍수터 등의 하천 지형은 유역에서 물과 유사의 에너지 균형과 조합으로 형성된다. 유역에서 하천은 물 뿐만이 아니라, 산지에서 바다까지 유사가 이동하는 컨베이어 벨트로서, 하도는 침식과 퇴적 기능을

* Corresponding author: Giyoung Ock, Tel. 041-950-5987,
Fax. 041-950-5953, E-mail. ockgy@nie.re.kr

반복하면서 서식처 지형을 유지한다(Kondolf 1997). 그러나 댐은 유역 규모에서 물의 흐름과 유사 이동, 이 두 가지 요소 모두를 직접적으로 변화시키기 때문에, 댐 건설에 따른 인위적인 유황(flow regime)의 변화와 유사이동(sediment transport)의 단절은 하류하천에 하상재료의 조립화, 여울과 소의 소실, 사주지형의 감소, 사주의 식생화, 홍수터의 육역화 등과 같은 서식처의 구조적 변화를 초래하게 되고, 결과적으로 생물종 다양성 감소를 가져오고 있다고 보고된다(Tsujimoto 1999; Petts and Gurnell 2005). 국내에서도 안동댐과 임하댐 건설 이후 하회마을 사주지형 변화 연구(Lee *et al.* 2008), 영천댐 건설 후 금호강의 서식처 변화(Park *et al.* 2008), 합천댐 하류 황강 사주식생의 확장(Choi *et al.* 2004) 등 상류 댐 건설과 운영에 따른 하류 하천의 장기적인 서식처 변화가 보고되고 있다.

대형 댐(large dams)이 홍수방지, 용수공급, 전력생산을 위한 목적으로 저수지에 물을 저장하기 위해 만들어진 높이 15 m 이상의 수리구조물이라면, 농업용 보(weirs)는 농경지에 물을 공급하기 위한 목적으로 하천에 일정 수위를 유지하기 위해 만들어진 상대적으로 작고 낮은 수리구조물이다. 따라서 보가 수생태계에 미치는 영향은 대형 댐에 비해 그 양상과 정도가 다를 것으로 예상했다. Ock and Lee (2012)에 따르면, 상류에 대형 댐이 없는 지석천의 보 구간에서 농업용 보 또한 댐과 유사한 서식처 지형변화를 유발했지만 영향범위는 보다 국지적이었다.

일반적으로 농경지를 흐르는 국내 대부분의 하천은 상류역에 대형 댐이 건설되어 있고, 중·하류역에는 집약적 농업을 위해 다수의 보가 설치되어 있다. 이러한 구조적 배치에서는 상류 댐에 의한 서식처의 질적·양적 변화가 하류로 이동하면서 보에 의해 그 영향의 정도가 가중될 수 있는 우려가 예상된다. 그럼에도 불구하고 대형 댐과 보가 함께 존재하는 유역을 대상으로 댐과 보의 서식처 영향을 구분하거나, 혹은 상호 복합적인 영향관계를 실증적으로 다룬 국내 연구는 상대적으로 부족하다.

전라남도 탐진강 유역은 국내에서 최근에 건설된 다목적 댐이 있으며, 40여 개의 농업용 보가 존재한다. 그리고 상대적으로 큰 규모의 지천이 댐 하류에서 본류로 합류하고 있으며, 국내에서는 드물게 하구둑이나 방조제로 막히지 않은 열린 하구의 유역 특성을 갖고 있다(Park and Ock 2017). 따라서, 탐진강 유역의 이러한 수리·지형학적 조건은 대형 댐과, 농업용 보, 열린 하구에 따른 복합적인 서식처 환경 변화, 그리고 지천 유입에 따른 자연성 회복의 가능성을 동시에 보여줄 수 있는 가능성을 제시할 수 있다.

본 연구에서는 장흥다목적댐 건설 이후 10여 년이 지난 현 단계의 탐진강의 서식처 지형변화를 정량적으로 분석하고,

이에 영향을 미치는 복합적인 환경요인(댐, 보, 조석, 하천정비)과의 인과관계를 유황변화, 하상재료 분석을 통해 파악하고자 하였다. 본 연구결과는 최근 보 하류 수생태계 자연성 회복에 대한 사회적 관심이 높아짐에 따라, 댐과 보가 공존하는 유역에서 하천 서식처의 자연성 회복을 위한 복원관리 방안을 도출하는 데 활용될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

1. 연구조사지

탐진강은 전라남도 장흥군과 강진군을 흐르는 하천연장 56 km, 유역면적 503 km²의 소규모 유역으로서, 댐 입지상 특별 하계도 유역의 중·하류부에 장흥다목적댐(높이 53 m, 저수량 191백만 m³, 이하 ‘장흥댐’)이 2006년 준공되어, 인근 9개 지자체(목포시, 장흥군, 강진군, 영암군, 신안군, 무안군, 해남군, 진도군, 완도군 등)로 일평균 350,000 m³의 유량을 상수용수로 공급하고 있다.

댐저수지인 탐진호의 상류역은 본류 탐진천(지방하천) 구간이며, 하류역은 탐진강(국가하천) 구간으로 구분되며, 우안으로 최대 지천인 금강천(하천연장 30 km, 유역면적 153 km²)이 합류되어 큰 물줄기를 이루면서 열린 하구의 강진만으로 유출된다. 유역의 토지이용은 댐 상류 탐진천에서는 전체적으로 산림의 비율이 높으며(87%), 댐 하류에서는 농경지(25%)와 도시(3%) 비율이 크게 증가한다. 그리고 금강천에서는 상대적으로 농경지(34%) 비율이 높다. 농업이 주요 산업인 유역의 특성상 탐진강 본류와 지천에 40여 개의 보가 집

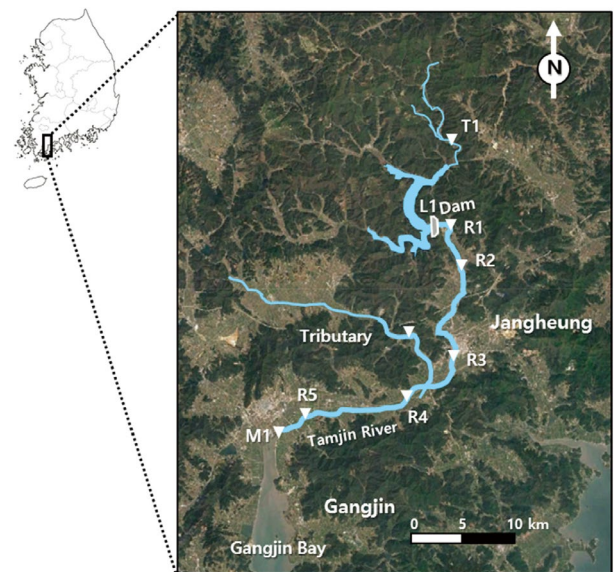
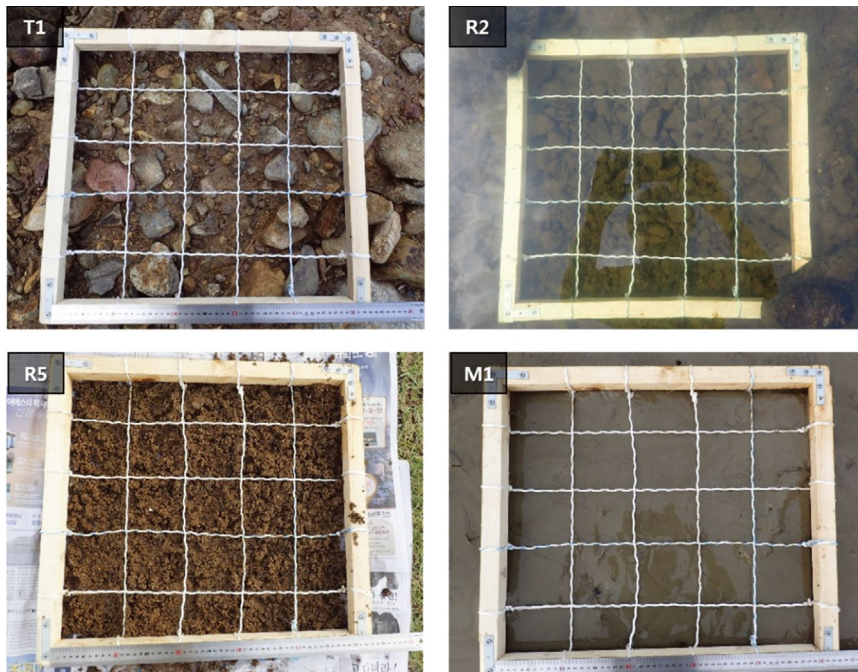


Fig. 1. Study area and survey sites in the Tamjin River basin.

Table 1. Study site properties and survey items

Location	Site ID	Survey items			Distance from mouth (km)	Details
		Flow discharge	Substrate size	Aerial photographs		
Up-stream	T1	○*	○	○	43	Mountain stream
Dam	L1	○	-	-	28	Dam site
	R1	○	○	○	26	Just below dam
Down-stream	R2	○	○	○	21	Before tributary conjunction
	R3	○	○	-	15	
	R4	-	○	○	10	After tributary conjunction
	R5	○	○	○	3	Tidal boundary
	M1	-	○	-	0	River mouth

*Symbol “○” represents the presence of available data for the survey item.

**Fig. 2.** Substrate materials along the Tamjin River (50 × 50 cm).

약적으로 설치되어 있다(MLTM 2012).

조사지점은 상기와 같은 대형 댐, 보, 열린 하구의 특성을 고려하여 탐진천(T1)과 탐진호(L1), 탐진강의 댐직하류(R1), 중상류(R2), 중류(R3), 금강천 합류 후(R4), 하류(R5), 그리고 강하구(M1)로 구분하였다. 특히 R5 지점은 탐진강에서 조석의 영향으로 하천의 수위가 변화하는 감조역에 해당한다(Fig. 1). 조사지점의 특성과 분석항목(유량분석, 하상재료분석, 지형분석)은 Table 1에서 정리하였다.

2. 유량변화 경년조사

국가유량측정망에서 장흥댐 유입량, 장흥댐 방류량, 장흥

댐 하류 유량(R2), 연산(R3), 군동(R4) 지점의 12년간(2005~2016)의 일유량을 비교하였다. 이 가운데 연산지점의 관측 개시시점(1973년)이 가장 오래되었고, 수위-유량 관계곡 선식이 안정적으로 적용되고 있기 때문에(MLTM 2012), 본 연구에서는 R3 지점을 대상으로 장흥댐 건설 전후 홍수 특성의 시간적 변화를 분석하였다.

3. 하상재료 조사

하상재료 조성의 공간적 분포 특성을 조사하기 위하여 하상재료 입도분석을 실시하였다(Table 1). 현장조사는 홍수가 지나고 하상이 안정된 가을철(2016년 10월)에 실시하였으

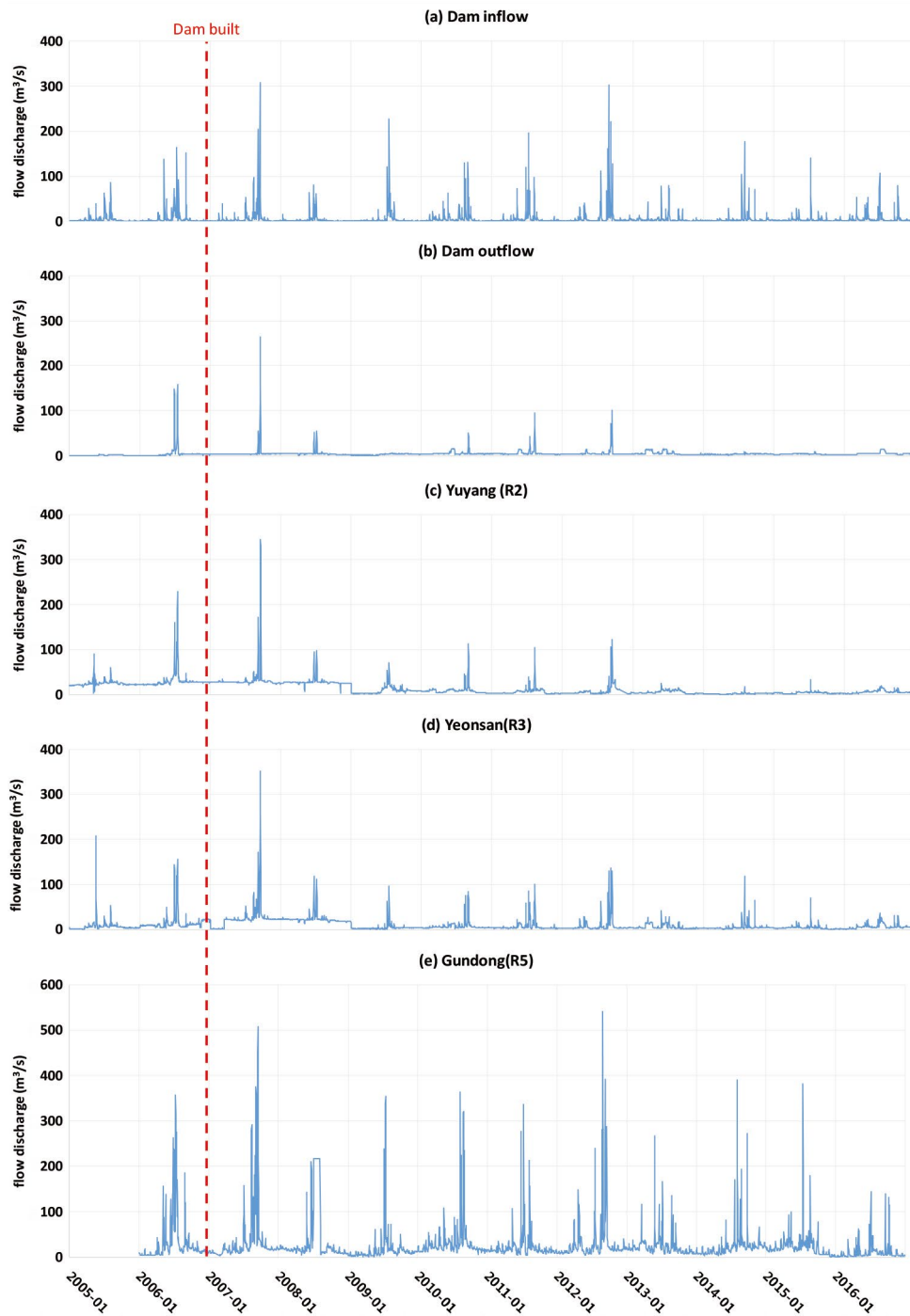


Fig. 3. Annual changes in flow discharge along the Tamjin River (2005–2016).

며, 저수로 내 재료의 이동성이 명확하고, 식생이 활착되지 않은 이동상 하상 지점을 선정하여 Fig. 2와 같이 격자틀(50×50 cm)을 고정한 뒤 바닥에서 약 20 cm 정도 깊이까지 구역 내의 모든 재료를 채취하였다(Ock and Lee 2012). 이러한 벌

크시료는 현장에서 호박돌 이상의 굵은 재료와 자갈 이하의 비교적 가는 재료로 분리하였다. 유기물 함량이 높은 미립질 시료는 미생물 분해를 방지하기 위해 실험실까지 저온 냉장하여 이동하였다. 모래 이상 재료는 체분석을, 실트 이하 재료

는 침강속도 분석을 수행하였으며, 분석결과는 구성재료의 입경에 따라 통과중량백분율을 구한 뒤 입경가적곡선을 작성하여 지점별 평균입경 (D_m ; median diameter)과 균등계수 (C_u ; uniformity coefficient)를 계산하였다.

4. 하도 내 저수로폭과 사주 조사

장흥댐 건설 전·후의 하도의 지형변화를 분석하기 위하여, 국토지리정보원에서 제공되는 1990년(과거), 2002년(댐 건설 전), 2013년(댐 건설 후) 항공사진을 이용하였다. 1990년과 2002년의 항공사진은 2013년도 정사영상에 맞추어 지리 보정을 한 후 분석하였다. 조사구간은 각 정점을 기준으로 곡류부에서는 한 개의 만곡부를, 직선부에서는 지천의 합류를 고려하여 설정하였다(Table 1, Fig. 6). 하천의 저수로폭은 구간에서 100m 간격으로 흐름에 수직의 기준선에서, 그리고 사주면적은 하천의 제방선을 디지털이징한 후 하도내 사주를 추출하여 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 댐 건설 전·후 유량특성 변화

장흥댐을 기준으로 상류 유입유량과 방류량, 그리고 댐하

류 탐진강에서 하구까지의 흐름변화를 종적으로 비교하였다. 전체적으로 댐 상류 유입유량에서 나타나는 홍수기 최대 유량피크의 발생 빈도와 크기와 비교해서, 댐하류에서는 R1~R3 지점에서 2008년 이후 1/4 수준으로 떨어지는 등 뚜렷한 감소 경향을 보여주고 있다. 그렇지만, 유역의 최대 지류인 금강천이 합류되면서 강하류 R5에서는 자연유량에서 나타났던 홍수피크의 빈도와 크기가 다시 발생하였다(Fig. 3).

탐진강 하천정비기본계획 보고서(MLTM 2012)에 따르면, R3 지점의 과거 4년(2002~2005)의 유량자료에서 홍수기 일 최대유량(daily maximum flow rate)은 $37\sim 562\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ 를 기록하였다. 이를 기준으로 본 연구에서는 홍수규모를 소규모($40\sim 100\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$), 중규모($100\sim 200\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$), 대규모($>200\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$)의 세 단계로 구분하여, 장흥댐 건설에 따른 홍수의 발생빈도를 연도별로 분석하였다.

Fig. 4에서 보여주는 것과 같이, 댐 건설 후에는 댐 건설 전에 간헐적으로 발생했던 대규모 홍수피크가 나타나지 않았다. 중규모 홍수 또한 2007년 이전 평균 7회 정도에서 2008년 이후부터는 한번도 발생하지 않거나 연 5회 이하로 감소하였다. 상대적으로 소규모 홍수만이 연 발생빈도가 평균 5회, 최대 14회(2012년)를 기록했지만, 이것 또한 댐 건설 전 평균 15회 이상, 최대 26회 이상을 기록했던 것에 비하면 절반 정도 감소했다. 이상과 같이 장흥댐의 홍수량 조절결과 하류 탐진강에서 중대규모 홍수가 가장 두드러진 감소를 보였으며, 이는 하천

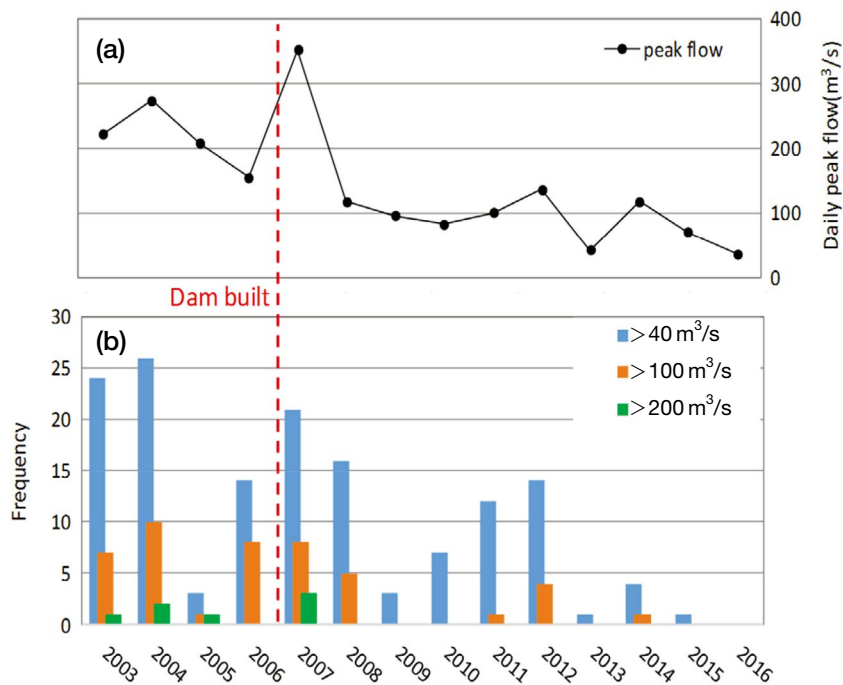


Fig. 4. Annual changes in daily peak flow (a) and flooding frequency (>40 , >100 , $>200\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$) (b) at R3 site (2003–2016).

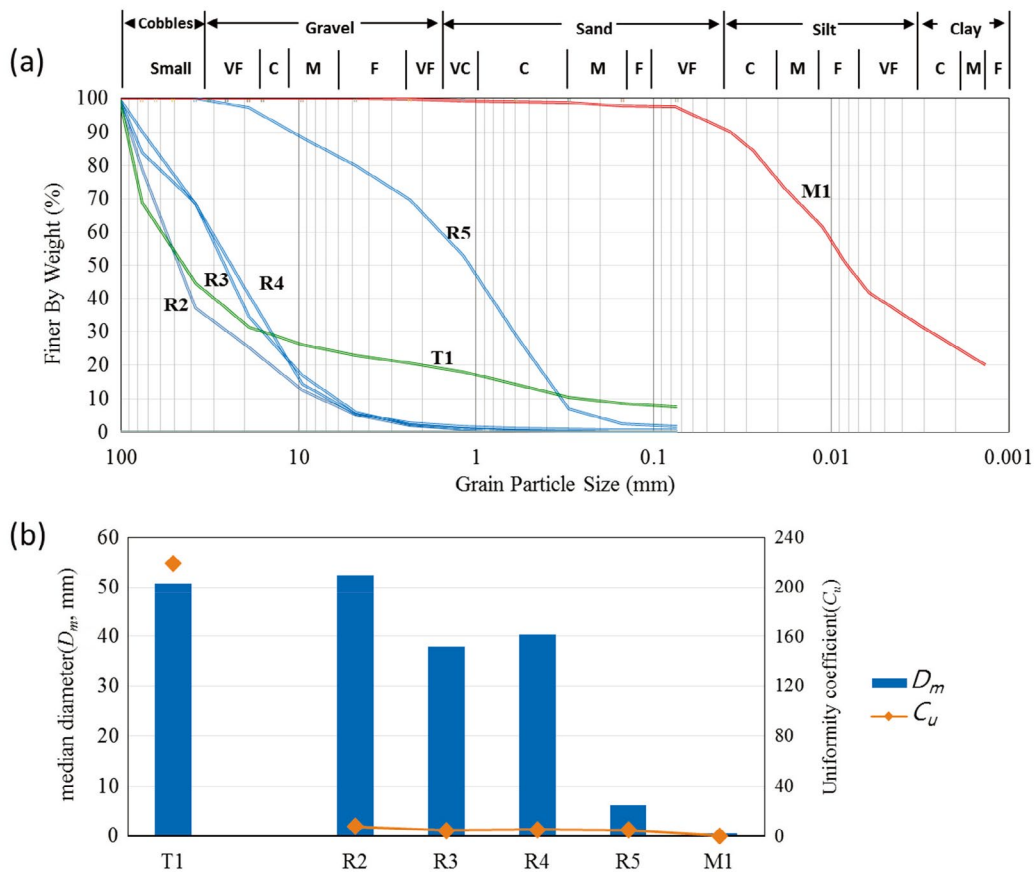


Fig. 5. Substrate size distribution curves (a) and longitudinal changes in median diameter and uniformity coefficient (b) in the Tamjin River. VC, C, M, F and VF in (a) represents very coarse, coarse, medium, fine and very fine, respectively.

의 물질이송 에너지를 감소시키는 결과를 가져오게 되어 하상재료 분포와 서식처 지형 변화의 주된 요인으로 작용한다.

하천 내 퇴적지형은 유량과 유사량의 변화에 따라 에너지의 균형을 맞춰나가는 과정에서 증가 또는 감소한다. 특히 댐과 같이 인공구조물이 설치된 이후에는 일반적으로 연간 일 최대유량과 같은 홍수량이 감소하는 경향을 보이고, 이로 인해 유사 이송능력이 감소한다. Fig. 3과 같이, 장흥댐 건설 후 유량변화 특성 분석결과, 댐 하류 구간에서 일 최대유량 및 홍수빈도 감소 특성을 보인 직접적인 영향 범위는 댐직하류에서 금강천이 합류되기 이전까지로 (R1~R3) 확인되었으며, 금강천 합류 이후에는 본류에서 자연유량의 홍수기 그래프가 다시 발생했다. 이러한 결과는 대형 댐 하류에서 흐름의 자연성 회복을 위해서 비조절 유입하천의 역할과 중요성을 실증적으로 보여주고 있다.

2. 댐 건설 전·후 하상재료 변화

탐진강 상류에서 하구까지 대표입경을 비교해보면 T1에서

는 모래와 자갈, 호박돌 크기의 다양한 재료가 고르게 분포하고 있지만, 댐하류 R2~R4에서는 굵은자갈/매우큰자갈로 조립성 재료로 바뀌었다. 특히 R2에서는 댐상류와 비교해서 균등계수가 급감하였다(Fig. 5). 이는 댐하류에서 모래의 비율이 현저히 줄어들면서 상대적으로 매우굵은자갈/호박돌과 같은 조립성 재료의 비율이 증가한 결과이다. 이러한 댐 상하류 하상재료의 차이는 장흥댐 직하류에서는 댐 건설이후 모래 크기의 소류사 공급이 감소했지만 오히려 기존 하상에 잔류하던 모래가 중소규모 홍수에 씻겨 내려가면서 하상재료가 조립화되는 현상을 보여준다(Kondolf 1997). 그러나 강 최하류 지점인 R5에서는 모래 비율이 64%까지 증가하면서 자갈 이상의 재료가 급격하게 감소하였다. 이는 조석의 영향으로 상류 지점에서 유입된 모래의 퇴적이 발생한 것으로 판단된다.

이상과 같이 장흥댐 하류는 비록 25 km의 짧은 구간이지만 댐 직하류에서는 모래가 급감하며 하상재료가 조립화 되었고, 금강천 합류 이후 열린하구 구간에서는 다시 모래 비율이 높아지고 갯벌이 발달하는 등 하천의 자연성이 회복되고 있는 것으로 나타났다.

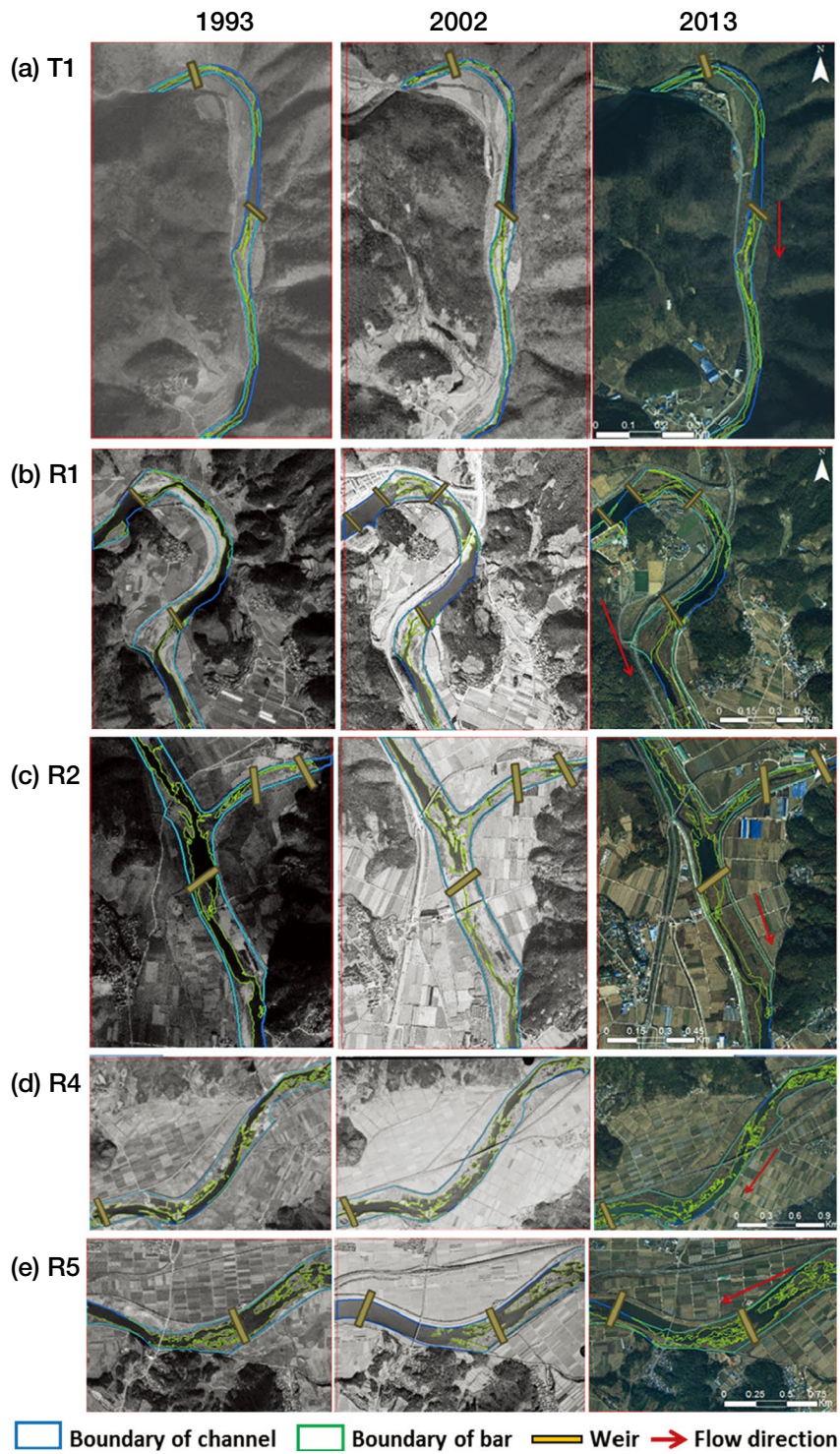


Fig. 6. Spatiotemporal changes in habitat morphological structure along the Tamjin River.

3. 댐 건설 전후 서식처 지형 변화

탐진강은 유역규모에서는 상류에서 하류로 갈수록 하폭이

넓어지는 일반적인 자연하천의 경향성을 보이지만, 구간별로 연도별 변화를 분석한 결과 대형 댐과 농업용 보의 환경 영향이 구분되어 나타났다(Fig. 6).

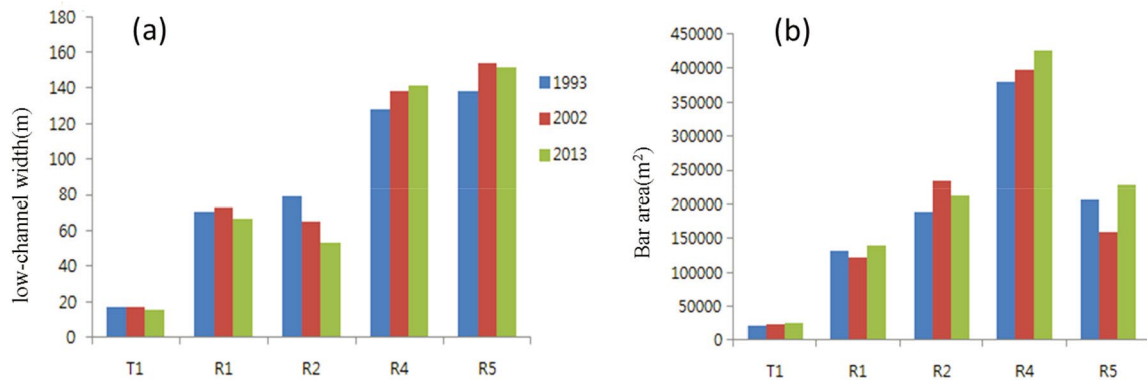


Fig. 7. Spatial and temporal changes in low channel width and bar area in the Tamjin River.

산지하천인 T1 구간은 지난 20여 년간 저수로폭과 사주면적이 거의 변하지 않았다. 일반적으로 댐 하류하천에서는 상류에서 공급되는 유사량이 감소되어 사주면적이 감소하는 경향을 보이지만, 장흥댐 하류 구간에서는 댐 건설 전(1990년)과 비교해서 건설 후(2013년)의 사주면적이 전체적으로 약 11% 증가했다.

장흥댐 직하류에 위치한 R1 구간부터는 제내지 농경지가 시작되는 곳으로 농업용수 수요증가에 따라 과거 2개의 농업용 보 이외에 2002년 이후 2개의 보가 추가로 건설되었다. 항공사진 분석결과, 전체적으로 하폭이 6% 줄어들고 사주면적이 증가했는데, 이는 댐 직하류 지점임에도 불구하고 댐의 영향보다 보의 영향이 상대적으로 크다는 것을 의미한다. 보 건설 이후 보상류는 과거(1993년) 곡류부에 발달했던 사주가 물에 잠기면서, 하폭이 증가하고 사주는 감소되었다. 그러나 보 하류는 다시 10여 년의 시간이 지나면서 사주부에 높은 밀도의 식생이 정착하였다. 이는 댐에 의해 저하된 하천의 에너지 감소가 다시 보의 영향으로 증대되어 사주의 이동이 고정화되면서 하도 내 달뿌리풀과 같은 고경초본과 갯버들 같은 관목의 활착이 용이해졌음을 보여주고 있다. R2 구간의 경우 저수로폭의 감소는 더 크게 나타나는데 댐 건설 후 하폭이 댐 건설 전에 비해 약 32% 감소하였으며, 이는 사주 내 식생이 증가하면서 하도가 좁아진 것이 원인이라 할 수 있다.

R4 구간은 금강천 합류 후 하천폭이 갑자기 넓어지면서 유역 내 사주가 가장 발달한 지역으로, 상류와는 다르게 과거 20여년 동안 평균하폭이 10% 이상 크게 증가하였고, 사주면적도 지속적으로 증가하였다. 항공사진 영상에서 지천 합류부에 형성되는 사주를 지속적으로 준설한 흔적이 나타나는데, 이로 인해 저수로폭이 인위적으로 확장된 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고, 댐 건설 후 금강천으로부터 공급된 유사가 퇴적되면서 기존의 소규모의 하중도가 확장하면서 만곡부에서 점사주 면적이 증가하는 결과를 가져왔다. 이러한 현상은

지천에서 유사의 공급이 이루어지고 있음에도 불구하고 대형 댐 건설 이후 본류 자체의 이송에너지가 회복되지 못한다면, 식생이 정착하면서 점차 사주가 확장되는 과정을 거치게 된다는 것을 의미한다(Lee *et al.* 1999). R5 구간은 농업용 보가 건설되고 동시에 준설을 통해 사주를 제거한 흔적이 나타난다. 이 결과 하폭은 10% 이상 크게 증가하였지만, R4와 유사하게 댐 건설 후 사주면적이 증가하고 식생이 피복되는 전형적인 변화과정을 보여주고 있다(Fig. 7).

하천 내 퇴적지형은 유량과 유사량의 변화에 따라 에너지의 균형을 맞춰나가는 과정에서 증가 또는 감소한다. 특히 댐과 같이 인공구조물이 설치된 이후에는 일반적으로 연간 일 최대유량과 같은 홍수량이 감소하는 경향을 보이고, 이로 인해 유사 이송능력이 감소한다(Richter *et al.* 1998; Park *et al.* 2008). 또한 농업용 보는 하류역에 국지적인 유량 감소 효과를 가져오게 되어, 식생의 발아, 활착, 전이하는 조건을 형성하게 된다. 이상과 같이 탐진강의 장흥댐에서 열린하구까지 형성된 하도 내 하상재료와 서식처 지형구조는 상류 대형 댐의 홍수 이송에너지 감소에 따른 전반적인 영향과 함께, 과밀화된 농업용 보에 의한 국지적인 지형변화, 하천정비사업에 따른 인위적인 준설, 그리고 조석의 영향이 복합적으로 작용한 결과이다.

장흥댐 건설 이후 탐진강 유역의 수리수문의 변화와 서식처 지형변화가 강하구를 통하여 강진만의 기수생태계에도 영향을 미치고 있는 것으로 예상되므로, 이러한 연구결과는 대형 댐과 열린하구의 생태계 연결성을 관리하는 데 기여할 것으로 기대한다.

적 요

본 연구는 대형 댐과 농업용 보가 공존하는 탐진강 유역을

대상으로 장흥다목적댐 건설 이후 탐진강의 서식처 지형변화를 정량적으로 분석하고, 이에 영향을 미치는 복합적인 환경요인(대형 댐, 농업용 보, 조석, 하천정비)과의 인과관계를 유황변화, 하상재료, 항공사진 분석을 통해 파악하였다. 장흥댐 건설 후 유황변화를 분석한 결과, 유역에서 댐에 의한 유량 변화의 직접적인 영향 구간은 최대 지천이 합류되기 이전까지로 판단된다. 이 구간에서는 대규모 홍수는 발생하지 않았으며, 중소규모 홍수빈도 또한 절반 이하로 감소하는 등 하천의 유사이송 에너지가 감소하였다. 하상재료의 입도분포는 댐 직하류에서 모래가 급감하는 등 하상재료가 조립화되었지만, 금강천 합류 이후 하구까지는 다시 모래 비율이 높아지면서 하천의 자연성이 회복되고 있는 것으로 보여진다. 그렇지만, 지천 합류 이후의 이러한 유량 및 유사의 자연성 회복력은 본류 내 사주의 식생활착을 제어하기에는 부족해 보인다. 탐진강 하류에서 사주면적은 증가했지만 식생 피복율이 높은 원인은 지천에서 탐진강으로 공급된 유사가 장흥댐 건설에 따른 홍수 이송에너지의 감소와 더불어, 과밀화된 농업용 보에 의한 국지적인 지형변화, 그리고 감조역 구간에서 조석의 영향이 복합적으로 가져온 영향이라고 할 수 있다. 본 연구결과는 댐하류 서식처 지형의 자연성 회복을 위해서 유입지천의 중요성과 함께 본류의 환경 유량 복원과 유사 이송을 반영한 고도화된 수생태계 관리전략 수립의 필요성을 제시하고 있다.

사 사

본 연구는 국립생태원 기초생태연구사업 ‘유역규모 생태계 물질순환 기능 연구’ 과제의 일환으로 수행되었음.

REFERENCES

- Choi SU, BM Yoon, HS Woo and KH Cho. 2004. Effect of flow-regime change due to damming on the river morphology and vegetation cover in the downstream river reach: a case of Hapchon Dam on the Hwang River. *J. Korea Water Res. Assoc.* 37:55-66.
- Kondolf GM. 1997. Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environ. Manage.* 21:533-552.
- Lee SH, GY Ock and JK Choi. 2008. A study on the expansion process of vegetation on sand-bars in fluvial meandering stream. *Korean J. Environ. Ecol.* 22:658-665.
- Lee SH, K Fujita and K Yamamoto. 1999. A scenario of area expansion of stable vegetation in a gravel-bed river based on the upper Tama River case. *Proc. Hydraulic Eng.* 43: 977-982.
- MLTM. 2012. Tamjin River basin river master plan report, technical Report. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea.
- Ock GY and SH Lee. 2012. Effects of reduced sediment dynamics on fluvial channel geomorphology in the Jiseok River. *J. Korea Water Res. Assoc.* 45:445-454.
- Park BJ, CL Jang, SH Lee and KS Jung. 2008. A study on the sandbar and vegetation area alteration at the downstream of dam. *J. Korea Water Res. Assoc.* 41:1163-1172.
- Park BJ, YD Sung and KS Jung. 2005. An evaluation of fish habitat conditions due to the construction of Youngchun Dam in the Gumbo River. *J. Korea Water Res. Assoc.* 38: 771-778.
- Park HG and GY Ock. 2017. Estimation of the total terrestrial organic carbon flux of large rivers in Korea using the national water quality monitoring system. *Korean J. Environ. Biol.* 35:549-556.
- Park HG, DW Kang, KH Shin and GY Ock. 2017. Tracing source and concentration of riverine organic carbon transporting from Tamjin River to Gangjin Bay, Korea. *Korean J. Ecol. Environ.* 50:422-431.
- Petts GE and AM Gurnell. 2005. Dams and geomorphology: Research progress and future directions. *Geomorphology* 71:27-47.
- Richter BD, JV Baumgartner, DP Braun and J Powell. 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regul. Rivers* 14:329-340.
- Tsujimoto T. 1999. Effects of dams on physical environment of rivers: from the aspects of river engineering and hydraulics. *Ecol. Civil Eng.* 2:103-112.

Received: 8 December 2018

Revised: 14 December 2018

Revision accepted: 14 December 2018