

Original article

복원된 양재천에서 복원 효과 평가 및 평가 결과에 기초한 개선방안

김아름 · 김동욱 · 임봉순 · 설재원 · 이창석^{1,*}

서울여자대학교 생명환경공학과 대학원, ¹서울여자대학교 생명환경공학과

An Evaluation on Restoration Effect in the Restored Yangjae Stream and the Improvement Plan Based on the Result. A Reum Kim (0000-0001-8637-3251), Dong Uk Kim (0000-0002-9170-0154), Bong Soon Lim (0000-0003-1724-6552), Jae Won Seol (0000-0002-0585-0181) and Chang Seok Lee^{1,*} (0000-0002-4288-4348) (Department of Bio and Environmental Technology, Graduate School, Seoul Women's University; ¹Department of Bio and Environmental Technology, Seoul Women's University, 621, Hwarang-no, Nowon-gu, Seoul 01797, Republic of Korea)

Abstract This study was carried out to evaluate the restoration effect in the restored Yangjae stream and to draw up an adaptive management plan based on the results. As the result of evaluation on the restoration effect, the restored Yangjae stream was evaluated with low naturalness in both terms of the morphology of the stream and the composition and spatial distribution of vegetation. The diverse functional groups were introduced in the vegetation restoration, but the flooding regime, which is significant in the spatial distribution of riparian vegetation, were not correctly reflected. Exotic species or species that were not ecologically suitable for the location were introduced on the embankment and thus a measure to improve those problems is required. As the ecological principle was not reflected in the restoration plan, the stream was constructed as the double terrace structure. Therefore, the width of the waterway was narrowed further, and the waterfront was not designed to accommodate changes from flooding disturbance, making the micro-topography of the stream simpler and the naturalness lower. The adaptive management plan was prepared to improve those problems, and a plan for creating an ecological network was recommended to enhance the restoration effect.

Key words: adaptive management, ecological network, evaluation, restoration effect, Yangjae stream

서 론

하천은 유역 전체에 걸쳐 댐과 보 건설, 직강화 및 토지 이용에 의해 크게 변화되어 왔다. 일부 동·식물 종은 사라졌고, 외래종이 침입하였으며, 하천의 기능이 파괴되어 경관의 질이 떨어졌고 자연지역의 면적이 감소되었다 (Petts *et al.*, 1989; Salinas and Guiraldo, 2002; Zeng *et al.*, 2017;

Zeiringer *et al.*, 2018).

특히 쌀을 주식으로 삼은 아시아 국가들에서는 홍수터의 대부분이 논으로 전환되었고 홍수피해를 막기 위해 대형 제방이 축조되었다. 결과적으로 대부분의 하천은 그 폭이 크게 축소되었다. 나아가 그들 논 중 많은 것이 다시 도시로 전환되었고, 한때 사행하고 복잡했던 수로는 직선화되고 단순해졌다. 그러한 과정이 이어지며 수변 생물군집이 크게 퇴행하거나 식물의 제거, 외래종 도입, 농경활동을 위한 수로 변경, 경작지 및 도로 건설 등으로 파괴되어 왔다. 이러한 인간의 영향 때문에 하천생태계와 주변 환경을

Manuscript received 7 December 2020, revised 7 December 2020, revision accepted 9 December 2020
* Corresponding author: Tel: +82-2-970-5666, Fax: +82-2-970-5822
E-mail: leecs@swu.ac.kr

포괄하는 강변 경관은 거의 원 모습을 유지하지 못하고 있다. 최근까지 강변경관은 이수 및 치수 중심으로 관리되어 왔다. 하지만 현대 사회에서 자연환경과 인위 환경 사이의 기능적 불균형이 심화됨에 따라 자연환경에 대한 관심이 높아지고 있다(Woo *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2005, 2011a, b; An *et al.*, 2014, 2016, 2017; Lee, 2016; Jung *et al.*, 2018; Lim *et al.*, 2020).

건강하고 자기 유지가 가능한 하천은 인간 삶이 의존하는 중요한 상품과 생태계서비스를 제공한다(Postel and Richter, 2003; Summers *et al.*, 2012). 이러한 서비스를 지속적으로 유지하는 것에 대한 관심이 복원에 대한 관심을 유도하였다. 21세기가 시작됨에 따라 지속가능한 생태계 관리는 중요한 과제 중의 하나로 부각되어 있다. 하천을 관리하기 위해 환경 친화적이고 과학적 원리가 적용된 접근법이 개발되어 왔다. 결과적으로 과거에 도시와 산업시설을 건설하고 농업 활동을 진행하는 과정에서 질이 떨어진 하천을 복원하고자 하는 활동이 세계적으로 활발해지고 있다(NRC, 1992; Salinas and Guirardo, 2002; Ormerod, 2003; Palmer *et al.*, 2005; Cantonati *et al.*, 2020; Lim *et al.*, 2020). 하천복원은 현재 환경과학의 핵심 분야이고 수역, 수변 및 연관된 육상생태계 사이의 생물, 화학 및 물리적 연결을 재설정하는 과정이다(Kauffman *et al.*, 1997; Wohl *et al.*, 2015). 도시지역에서 하천복원은 레크리에이션, 심미성 확보 및 공공 측면의 편익 때문에 증가해 왔다(Purcell *et al.*, 2002; Deffner and Haase, 2018).

복원사업은 그 성과가 과학적으로 평가되어야 하지만 대부분의 복원 프로젝트는 여전히 평가가 이루어지지 않고 평가가 이루어져도 애매한 결과를 낳고 있다(Kondolf and Micheli, 1995; An *et al.*, 2014; Lee, 2016; Rubin *et al.*, 2017). 더구나 성공적인 복원이 무엇인지에 대한 공감대가 형성되지 않고 있다. 그밖에 복원프로그램이 국지적 수준으로부터 지구적 차원에 이르기까지 자연자원관리 전략에 포함되지만 이러한 노력을 효과적이고 효율적으로 수행하는 방법에 대한 불확실성이 여전히 남아 있다(Suding, 2011; McDonald *et al.*, 2016). 하지만 복원사업에 대한 적절한 평가가 이루어지지 않으면 성공과 실패에 대한 교훈을 얻을 수 없고 발전도 이루어낼 수 없다(Kondolf, 1995; McDonald *et al.*, 2016; Rubin *et al.*, 2017). 더구나 복원 프로젝트의 성과를 평가하는 것은 순응관리에 중요하고, 앞으로 진행될 사업의 효과를 개선하는 데도 중요하다(Woolsey *et al.*, 2007; Weber *et al.*, 2017).

복원 효과를 평가하는 것은 단순하지 않고 성공적인 복원을 규정하고 그것을 효과적으로 측정하는 방법도 이론의 여지가 있다(Wortley *et al.*, 2013; Rubin *et al.*, 2017).

Hobbs and Norton (1996)은 복원의 목적과 방법을 비롯해 생태적 복원을 실행하는데 요구되는 내용을 체계적으로 기술하기 위한 틀을 제공하였는데, 그것은 대상을 확장하여 생태학을 넘어 역사, 사회, 문화, 정치 및 도덕적 측면까지 포괄하고 있다(Higgs, 1997). 그러나 그 후 복원의 목표(Thorpe and Stanley, 2011), 기후변화의 영향(Choi, 2004; Seabrook *et al.*, 2011) 및 사회경제적 환경(Hull and Gobster, 2000; Hobbs, 2009; Le *et al.*, 2012)에 대한 논의가 계속되어 왔다. 이러한 문제가 모두 복원의 성공에 대한 정의와 평가에 영향을 미쳐 이러한 논의를 종합하여 유용한 지표를 개발해 왔다(Wortley *et al.*, 2013).

하천복원의 효과에 대한 평가는 주로 대형 무척추동물을 이용해 평가해 왔다(Miller *et al.*, 2010; Palmer *et al.*, 2010; Rubin *et al.*, 2017). 대부분의 연구는 평가지수로 다양성지수를 사용하고 있으나 그러한 지수가 복원효과에 어떻게 관계되는지에 대한 설명은 분명하게 밝히지 못하고 있다(Miller *et al.*, 2010; Palmer *et al.*, 2010; Rubin *et al.*, 2017). 많은 연구들이 서식지의 이질성 개선에 대한 생물학적 반응(Kerans and Karr, 1994; Ruiz-Jaen and Aide, 2005a; Leps *et al.*, 2016)을 평가해 온 반면에 다른 연구들은 서식처 개선(Kondolf and Li, 1992; Kondolf, 1997; Barbour *et al.*, 1999; Rosgen, 2001; Gardali *et al.*, 2006; Whitacre *et al.*, 2007; Florsheim *et al.*, 2008; Shields *et al.*, 2010; Bennett *et al.*, 2013; Golet *et al.*, 2013; Lisle *et al.*, 2015) 또는 어메니티 개선(Woolsey *et al.*, 2007; Wild *et al.*, 2011; Boromisza *et al.*, 2019)을 평가해 왔다.

한편, 몇몇 연구는 복원된 장소의 온전성, 다양성 및 지속가능성을 대조생태계와 비교하여 평가하였다(White and Walker, 1997; Swanson and Wagner, 2003; Palmer *et al.*, 2005; Whittier *et al.*, 2007; Gilvear and Bryant, 2016; Lim *et al.*, 2020). 대조생태계의 조건은 인간 활동에 의해 거의 훼손되지 않은 상태를 의미하고 복원의 개념적 모델이 되며 복원효과 평가의 지침을 의미한다(Doll *et al.*, 2003; SERI, 2004; McDonald *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2020).

국제생태복원학회가 제시하는 생태복원지침은 생태적 복원의 개념을 보급하여 현장에 적용하고 그 원리를 통합하는 목적을 가지고 있다. 그것은 성공적인 복원을 의미하는 지표로 아홉 가지 핵심속성목록을 제시하고 있다(SERI, 2004). McDonald *et al.* (2016)은 복원된 생태계의 회복 경로를 따라 진행과정을 평가하기 위해 그 목록을 보강하여 체계화한 체계로 복원과정 평가 틀인 '회생바퀴'를 제공하고 있다. 이 체계는 세 가지 생태적 성과, 즉 식생의 구조, 종 다양성과 수도 그리고 생태적 과정을 담고 있는데(Ruiz-Jaen and Aide, 2005a), 그들은 생태계의 조건을

나타내는 지표를 분류하는 데 종종 사용되고 있다(Noss, 1990; Aronson and Le Floch, 1996; Ruiz-Jaen and Aide, 2005b).

하천은 수계, 육지, 그리고 대기의 세 가지 다른 세계가 서로 접하는 장소로서 넓게 연속된 개방 경관을 가진 다양한 식생과 동물군집이 존재하는 곳이다. 즉, 하천은 생물군집이 매우 다양한 추이대(ecotone)를 이루고 있다. 사실 하천은 물, 흙, 그리고 공기로 이루어진 비생물계, 식물, 동물 및 미생물로 이루어진 생물계, 그리고 그것을 이용하는 인간의 문화계가 조합된 복합적인 계로서 하나의 경관(landscape)을 이루고 있다(Lee *et al.*, 2002).

하천은 인간을 위한 환경이기 이전에 다양한 생물의 서식장소로서 중요한 환경이다. 그러나 도시화, 산업화가 진전됨에 따라 하천은 인공화되어 생물의 서식장소로서의 기능을 상실하고 아울러 인간생활에 도움을 주는 다양한 생태적 기능도 발휘하지 못하고 있다(Lee *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2002).

하천생태계에서 생물의 서식장소는 본래 침식, 운반, 그리고 퇴적의 과정을 통하여 그것의 기본적 틀이 만들어지고, 그곳에 성립된 식생에 의해 안정화되며 환경을 질적으로 향상시킨다(Lee *et al.*, 1999). 하천생태계에서 식생은 하천의 형태와 함께 생물의 서식환경의 기반이 된다. 즉, 식생은 초식동물의 먹이가 되고, 산란장소 및 피난처로서의 역할을 한다(Petts and Calow, 1996; Lee *et al.*, 1999, 2002).

하천의 물가에 성립된 식생은 물이 흐르는 과정에서 침식에 의해 발생한 물질을 붙잡아 수질을 개선하는데 기여한다. 나아가 식생은 폭우가 내릴 때 물이 흐르는 속도를 늦추고 운반되는 물질을 붙잡아 그것이 흘러가 하천의 하류에 미치는 영향(예를 들면, 부영양화)을 감소시킨다. 하천 식생은 하천생태계에서 1차생산자로서 기본적인 역할을 하고 있어 하천 생물의 종 다양성 감소를 방지하는 기능을 하게 되고, 일부 침수식물은 자연정화능을 가지고 있다(Jung *et al.*, 2018). 또한, 물가에 성립된 식생이 일반적으로 갖춘 발달된 근계는 강독을 튼튼하게 하여 홍수 피해를 줄이는 데도 기여 한다(Lee *et al.*, 1999, 2002; Salinas and Guirado, 2002).

이와 같이 다양한 하천 식생의 기능을 고려할 때 하천생태계의 구조와 기능을 파악하는데 있어서 하천 식생에 대한 이해는 반드시 필요하고, 다양한 생물서식환경으로서 하천을 복원하고 관리하는데 있어서도 중요하다(Lee *et al.*, 1999, 2002)

1990년대 후반부터 국내에서 하천 복원이라는 용어가 사용된 이후 지자체, 환경부, 국토교통부, 행정안전부 등

하천 관리 부서에서 다양한 하천 복원 사업이 진행 중에 있다. 그러나 이러한 복원 사업은 생태적 의미의 하천 복원이기 보다는 조경 차원의 공원 하천 조성 사업에 그치고 있어 복원의 효과 또한 크게 나타나지 않고 있다(Lee *et al.*, 2007). 그럼에도 불구하고 그 영향으로 현재 국내의 여러 지자체와 정부 부처에서 경쟁적으로 하천 복원 사업을 벌이고 있지만, 그러한 사업들이 체계적인 생태 복원의 절차와 방법을 따르고 있지 않아 많은 비용과 에너지를 투자하고도 생태 복원이 추구하는 성과를 거두지 못하고 있는 실정이다. 특히 복원의 효과에 대한 평가가 이루어지지 않아 그러한 사업이 지속되어도 기술이나 개념의 진전이 없다(An *et al.*, 2014; Lee, 2016).

하천은 연결되어 연속성을 갖는 하나의 거대한 구조체로서 그 구간을 명확하게 구분하기 어렵다. 흔히 하천은 상류, 중류 및 하류로 구분한다. 그러나 이것을 구분하는 기준은 명확하지 않다. 그 특성상 하천의 구간을 구분하는 기준을 명확하게 제시하기는 어렵지만 하천은 구간별 특징을 보여준다. 따라서 훼손된 하천을 온전한 자연하천으로 복원하고자 할 때는 하천의 구간별 특징이 반영되어야 한다(Jung *et al.*, 2018).

자연하천의 횡단지형은 수역, 하중도, 수변, 홍수터 및 제방으로 구분되고, 각 부분은 서로 다른 수위와 침수체제를 갖는다. 하천제방권은 고수위권, 하중도와 홍수터는 중수위권, 그리고 수변과 수역은 저수위권에 해당한다. 이와 같이 지형에 의해 구분된 각 지소는 수위와 홍수 시 침수빈도 및 침수기간의 영향을 받아 지소에 어울리는 식생이 성립한다. 이러한 구간은 침수일 수에 의해서도 구분할 수 있다. 즉 저수위권인 수역은 360일 이상 침수되고, 중수위권은 185일 이상, 그리고 고수위권은 30일 이상 침수된다(Ellenberg, 1986).

하천에서는 횡단지형에 의해 결정된 환경구배(특히 홍수체제)에 따라 대상으로 식생이 분포한다. 그 분포는 대체로 부착조류 및 플랑크톤 구역, 초본식물대, 관목림대, 연목림대 및 경목림대의 순서를 보인다. 이를 전술한 하천의 횡단지형과 대비시켜 보면, 수변, 홍수터 및 제방은 각각 대체로 초본식물대-관목림대, 관목림대-연목림대, 연목림대-경목림대에 대응한다(Ellenberg, 1986). 그러나 이러한 대응은 하천의 지리적 위치에 따라 차이를 보인다. 특히 상류에서 계류로 접근함에 따라 이러한 차이가 뚜렷해져 단계별로 초본식생대, 관목식생대가 사라지고 연목대식물이 수변에 출현하기도 한다(Lee *et al.*, 1999, 2002, 2011a; Lee and You, 2001; Jeong *et al.*, 2018).

본 연구는 복원된 양재천을 대상으로 하천의 형상과 수변식생을 조사하고 이를 종합하여 양재천의 구간별 자연

성을 평가하는데 일차적 목표를 둔다. 나아가 그 진단 결과에 기초하여 기 복원된 양재천의 새로운 복원 방안을 제시하는 것은 본 연구의 또 하나의 목표가 된다.

방 법

1. 조사지 개황

양재천은 관악산 계곡과 청계산에서 발원해 과천시와 서초구, 강남구 대치동을 지나 탄천으로 유입되는 하천이다(Fig. 1). 1963년 이후 축대와 호안공사 그리고 1970년대 토지구획사업의 일환으로 수로를 정비하고 콘크리트 제방을 축조하면서 사행하던 물길이 직선화하고 그 주변이 개발되어 수질이 악화되는 것은 물론 생태계가 심하게 훼손되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 1995년 중앙정부와 지자체 협동으로 우리나라 최초로 하천 복원사업이 추진되었다.

본 연구는 복원사업이 진행된 구간인 서울시와 경기도 과천시 경계지역으로부터 양재천이 탄천과 만나는 지역에 이르는 구간에서 수행되었다(Fig. 1).

2. 조사 방법

하천의 자연도는 도상 작업과 현장조사를 병행하여 하천의 형상에 기초하여 평가하였다. 식생의 자연도는 현장 조사를 통해 작성한 식생단면도에 근거하여 평가하였다. 식생단면도는 하천을 가로질러 10 m 폭의 피조사구를 설치한 후 거리에 따라 나타나는 미지형의 변화와 주요 식생의 변화를 묘사하여 작성하였다(Lim *et al.*, 2020).

나아가 식생도를 작성하여 구성하고 있는 식생의 생태적 특성을 검토하여 그 질을 평가하였다. 식생도는 네이버가 제공하는 항공사진을 다운받아 실내에서 균질한 상태로 나타나는 식생단위를 구분한 후 각 식생단위를 현장에서 식별하는 과정을 거쳐 작성하였다(Lim *et al.*, 2020). 지도화 작업은 GIS 프로그램(ArcGIS program, ver. 10.1)을 이용하여 수행하였다.

하천의 형상 및 식생단면도에 근거한 자연도 평가 및 식생의 생태적 특성에 근거한 질 평가는 인간에 의해 교란되지 않은 것을 ‘자연적인 모습’으로 보고 인간에 의해 왜곡된 정도에 따라 1등급에서 5등급으로 구분하여 평가하였다(Table 1, Lim *et al.*, 2020).

대조생태계의 조건은 인간 활동에 의해 거의 훼손되지 않은 상태로서 복원의 개념적 모델이 되고 복원 후에는 효과 평가의 지침이 된다(Doll *et al.*, 2003; SERI, 2004;

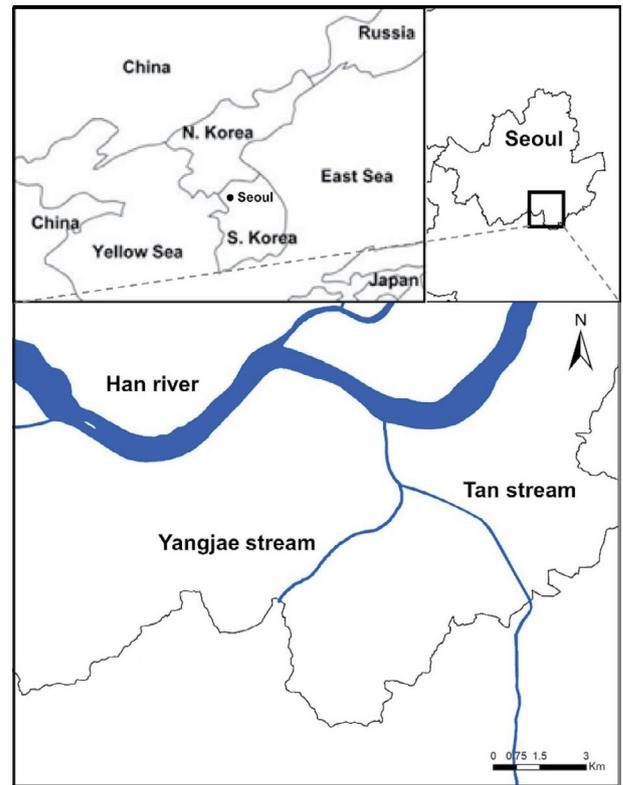


Fig. 1. A map showing a location of the Yangjae stream.

McDonald *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2020). 대조생태정보는 보통 복원대상지역과 유사한 생태적 조건을 갖춘 가까운 장소에서 수집한다(Doll, 2003). 그러나 양재천에서는 그러한 장소를 찾을 수 없어 수생태 건강성 평가를 위해 수집한 정보 중 1등급 지소로서 양재천과 유사한 생태적 조건을 갖춘 하천의 정보를 체계화하여 대조생태정보로 삼았다(Lim *et al.*, 2020).

결 과

1. 하천단면

양재천의 하천단면은 전형적인 복단면이고, 그 경사가 급해 자연하천과 거리가 멀다. 수로변의 경사도 자연하천과 거리가 멀고, 저수호안 소재는 매우 강하여 물 흐름에 의한 변화를 수용하기 어려운 소재로 이루어져 있다. 이러한 하천의 단면 구조가 자연도 평가 결과에 반영되어 하천의 형상에 기초한 자연도가 매우 낮은 것으로 평가되었다(Photo 1, Table 3).

Table 1. Guidance for assessment of river's naturalness (Ministry of Environment, 2007). 5: very good, 4: good, 3: medium, 2: poor, 1: very poor

Division	Item	Index for assessment	
	1	Sinuosity of watercourse	Ratio of actual length to direct line one
		5 More than 1.5	4 1.4~1.5
	2	The number of sandbars	The number of sandbars appeared in the length of 20 times of river breadth
		5 More than 4	4 4
3	Diversity of flow	Diversity of water flow toward longitudinal and transverse directions depending on existence of riffle and pool	
	5 Very diverse	4 Diverse	
4	River profile	River profile	
	5 Irregular natural profile	4 Close to irregular natural profile	
Morphological characteristics of river	5	Diversity of water course breadth	Diversity of water course breadth created by water flow
		5 Very diverse	4 Diverse
	6	Degree of water-margin protection	Types and artificial degree of water-margin protection facilities
		5 Natural state without any water-margin protection facilities	4 Natural material such as wood + artificial planting
	7	Artificial degree of bank	Artificial degree of bank material
		5 Without any artificial bank	4 Artificial soil bank (natural vegetation + artificial protection block)
	8	Land use within bank	Artificial degree of dominant land use type (Within 1 km from river bank)
		5 Natural landscape element	4 Agricultural field (rice field, upper field, orchard)
	9	Floodplain use	Artificial degree of floodplain
		5 Natural state without artificial vegetation and facilities	4 Mixture of natural and artificial vegetation
Ecological characteristics of river	10	Transverse artificial facilities	Existence of artificial facilities, which inhibit migration of migratory animals including fish and inhibiting intensity
		5 Without and transverse artificial facilities	4 Weir with fish way that fishes can migrate as weir higher than 30 cm appear
	11	Vegetation type	Sorts and diversity of vegetation types
		5 Mixture of native tree, shrub, and herb dominated vegetation (include zone that herbaceous vegetation zone is covered with sands and pebbles)	4 Mixture of tree (artificially introduced), shrub and herb dominated vegetation

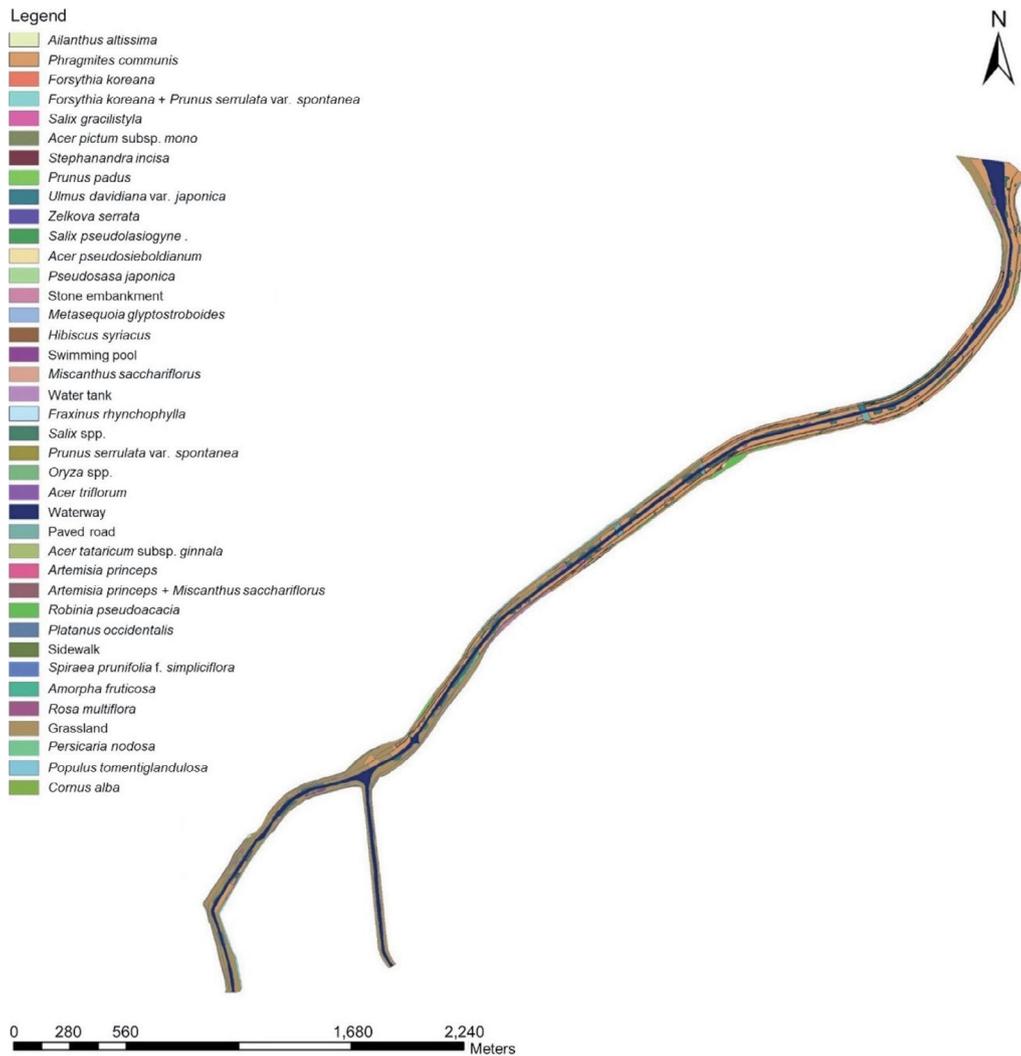


Fig. 2. A map showing the spatial distribution of the vegetation types in the Yangjae stream.

2. 식생의 조성과 공간 분포

양재천의 식생도를 Fig. 2에 나타내었다. 양재천에는 갈대 (*Phragmites communis* Trin.) 군락이 45.1%로 가장 넓은 면적을 차지하였고, 초지, 버드나무혼합 (*Salix* spp.) 군락, 느티나무 (*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino) 식재지, 물억새 (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth.) 군락, 개나리-벚나무 (*Forsythia koreana* (Rehder) Nakai - *Prunus serrulata* var. *spontanea* (Maxim.) E.H.Wilson) 혼합 식재지 등이 뒤를 이었다. 그러나 갈대군락과 초지가 차지하는 면적이 80% 이상으로 대부분을 차지하여 다른 식생이 차지하는 면적은 적었다 (Table 2).

한편, 양재천에 성립한 총 32개 식생유형 중 외래종, 외지종, 생태적 위치가 다른 종 등으로 이루어져 생태적 분

제가 있는 식생유형은 20개로 나타나 그 비율이 60% 이상을 차지하였다 (Table 2).

3. 식생단면도

양재천의 상류구간으로 정한 영동 1교 주변의 식생단면도를 Fig. 3에 나타내었다. 수로 변에는 갈대, 갯버들 (*Salix gracilistyla* Miq.) 및 버드나무 (*Salix koreensis* Andersson)가 식재되었고, 제방에는 물억새, 벚나무, 개나리 및 메타세쿼이아 (*Metasequoia glyptostroboides* Hu & W. C.Cheng)가 도입되었다. 한편, 홍수터에는 양안에 모두 산책로가 조성되어 있다 (Photo 1).

복원을 위해 도입된 식생은 초본, 관목 및 교목 식생을 이루는 갈대, 갯버들 및 버드나무가 모두 도입되었지만 버



Photo 1. A feature of the restored Yangjae stream. The stream is composed of the double step sections and the slope of the section is steep (a). The introduction of vegetation does not reflect the flood regime, and thereby tree willow are introduced closer to the waterway than herbaceous reeds (b). On the waterfront, cobbles are piled up with steep slopes and trails for recreation are constructed (c), and thus reduce the naturalness and the ecological connectivity (d).

드나무를 수변에 배치하고 초본식물과 관목의 배치도 홍수체제를 반영하지 못하고 있다. 또 제방 상의 식생은 외래종을 도입하고 장소에 어울리지 않는 식물을 도입하여 생태적 고려보다는 미관을 다듬는 데 초점을 맞추고 있다 (Photo 1).

양재천의 중류구간으로 정한 영동 2교와 3교 사이의 식생단면도를 Fig. 3에 나타내었다. 수로 변에는 갈대, 물억새, 갯버들, 버드나무 및 물푸레나무 (*Fraxinus rhynchophylla* Hance)가 도입되었다. 제방에는 물푸레나무, 뽕나무, 족제비싸리 (*Amorpha fruticosa* L.)가 도입되었고 외래 초본식물이 지피식물로 도입되어 있다. 제방 아래 부분에는 복원을 위해 도입된 갈대가 확산되고 있다. 홍수터에는 양안에는 모두 산책로가 조성되어 있지만 홍수터의 폭이 상류 및 중류 구간과 비교해 상대적으로 넓어 그 점유율은 낮은 편이다.

양재천의 하류구간으로 정한 대치교와 탄천교 사이의 식생단면도를 Fig. 3에 나타내었다. 수로 변에는 갈대, 갯버들, 버드나무 및 고로쇠나무 (*Acer pictum* subsp. *mono*

(Maxim.) Ohashi)가 도입되었다. 제방에는 은사시나무 (*Populus tomentiglandulosa* T.B.Lee)와 개나리가 도입되었고 외래 초본식물이 지피식물로 도입되어 있고 있다. 제방 아래 부분에는 복원을 위해 도입된 갈대가 확산되고 있다. 홍수터에는 양안에는 모두 산책로가 조성되어 있지만 홍수터의 폭이 상류 및 중류 구간과 비교해 상대적으로 넓어 그 점유율은 낮은 편이다.

4. 자연도

수로의 굴곡, 중·횡 사주, 흐름의 다양성, 하천 단면, 저수로 폭의 다양성, 저수로 호안, 제방 호안 재료, 제내지 수변구역 토지이용, 제외지 홍수터 이용 및 횡방향 인공 구조물에 근거한 자연도는 상류와 중류에서 각각 1, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 1, 2 및 5등급으로 평가되었다 (Table 3). 하류구간에서는 중·횡 사주가 3등급으로 그리고 제외지 홍수터 이용이 2등급으로 상류와 중류 구간에 비해 높았다 (Table 3).

직선 길이에 대한 곡선 길이의 비는 1.2 이하로 직선

Table 2. Composition of plant communities established in the Yangjae stream and their ecological characteristics.

Community name	Area (m ²)	Percentage (%)	Remarks
<i>Ailanthus altissima</i>	152.5	0.03	Exotic species
<i>Acer triflorum</i>	1,267.8	0.24	Non-ecological position
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	2,701.2	0.51	Non-ecological position
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	356.3	0.07	Non-ecological position
<i>Acer saccharinum</i>	1,720.1	0.33	Exotic species
<i>Amorpha fruticosa</i>	363.0	0.07	Exotic species
<i>Artemisia princeps</i>	908.0	0.17	–
<i>Artemisia princeps</i> - <i>Miscanthus sacchariflorus</i>	436.6	0.08	–
<i>Cornus alba</i>	56.8	0.01	Non-ecological position
<i>Forsythia koreana</i> Nakai - <i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	8,193.3	1.55	Non-ecological position
<i>Forsythia koreana</i>	5,414.0	1.02	Non-ecological position
Grassland	184,956.0	35.01	–
<i>Hibiscus syriacus</i>	135.2	0.03	Non-ecological position
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	538.7	0.1	Exotic species
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	9,177.9	1.74	–
<i>Oryza</i> spp.	442.7	0.08	–
<i>Persicaria nodosa</i>	1,053.0	0.2	–
<i>Phragmites communis</i>	238,312.8	45.11	–
<i>Platanus occidentalis</i>	5,535.2	1.05	Exotic species
<i>Populus tomentiglandulosa</i>	1,906.8	0.36	Hybrid species
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spont</i>	7,555.8	1.43	Non-ecological position
<i>Prunus padus</i>	1,327.0	0.25	Non-ecological position
<i>Pseudosasa japonica</i>	277.6	0.05	Non-ecological position
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1,347.2	0.26	Exotic species
<i>Rosa multiflora</i>	391.1	0.07	–
<i>Salix gracilistyla</i>	1,676.3	0.32	–
<i>Salix</i> spp.	33,533.0	6.35	–
<i>Salix pseudolasiogyne</i>	1442.1	0.27	–
<i>Spiraea prunifolia</i> f. <i>simpliciflora</i>	501.4	0.09	–
<i>Stephanandra incisa</i>	368.9	0.07	Non-ecological position
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	6,192.3	1.17	Non-ecological position
<i>Zelkova serrata</i>	10,033.6	1.9	Non-ecological position

에 가까웠다(1등급). 따라서 물의 흐름이 단조로워(2등급) 종·횡 방향 사주 수는 2개로 매우 드물게 나타났다(2등급). 하천의 단면 구조는 복단면 사다리꼴 규칙 단면이고(2등급), 저수로 폭은 거의 같을 정도로 단순했으며(2등급), 저수로 호안소재는 돌로 이루어져 있다(3등급). 제방은 흙으로 덮여 있지만 주로 인공식생으로 이루어지고(4등급), 제내지는 주로 시가지 및 주거지로 이루어져 있으며(1등급), 홍수터에는 공원시설과 운동시설이 도입되어 있다(2등급). 그러나 물 흐름이 원활한 징검다리 외에 횡단구조물은 없었다(5등급).

하류구간의 경우는 토사가 많이 밀려오고 물의 흐름이

느린 관계로 사주 수가 늘어나 자연도가 향상되었고(3등급), 홍수터 이용강도가 낮아져 자연도가 향상되는 요인으로 작용하였다(2등급).

식생유형은 상류, 중류 및 하류 구간에서 모두 교목, 관목 및 초본 우점 식생이 혼재하여 2등급으로 평가되었다(Table 3).

5. 대조생태정보

대조생태정보는 보통 복원대상지역과 유사한 생태적 조건을 갖춘 복원대상지역과 가까운 장소에서 수집하여야

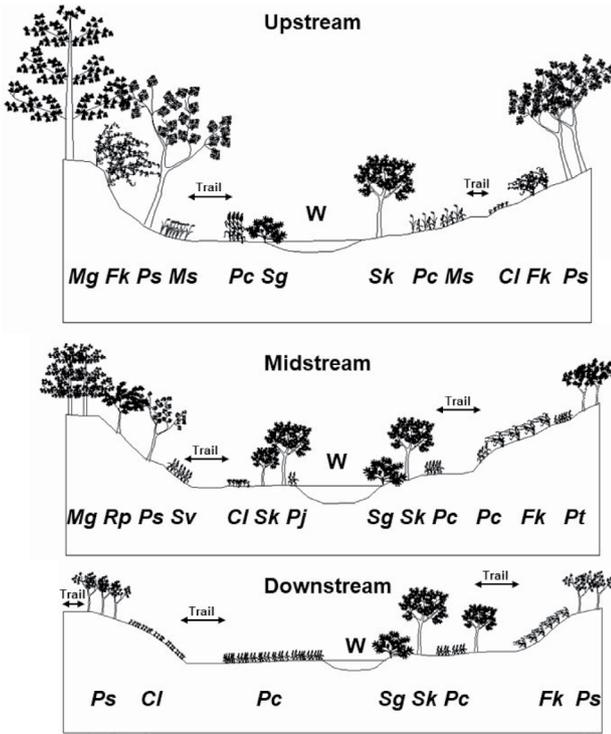


Fig. 3. Micro-topography of flood bed and vegetation profiles in upstream, midstream, and downstream in the Yangjae stream. Mg: *Metasequoia glyptostroboides*, Fk: *Forsythia koreana*, Ps: *Prunus serrulata* var. *spontanea*, Ms: *Miscanthus sacchariflorus*, Pc: *Phragmites communis*, Sg: *Salix gracilistyla*, Sk: *Salix koreensis*, Cl: *Coreopsis lanceolate*, Rp: *Robinia pseudoacacia*, Sv: *Setaria viridis*, Pj: *Phragmites japonica*, Pt: *Populus tomentiglandulosa*, W: Waterway.

하나 양재천에서는 그러한 장소를 찾을 수 없어 수생태 건강성 평가를 위해 수집한 정보 중 1등급 지소로서 양재천과 유사한 생태적 조건을 갖춘 하천의 정보를 체계화하여 대조생태정보로 구축하였다(Lim *et al.*, 2020, Fig. 4).

물 흐름이 빠른 상류구간에서 초본 우점 식생구역은 달뿌리풀(*Phragmites japonica* Steud.)이 지배한다. 관목 우점 식생구역과 교목 우점 식생구역은 각각 갯버들과 버드나무가 지배하고 있다(Fig. 4).

중류구간에서는 수로 내에 모래톱이 형성되면 명아자여뀌(*Persicaria nodosa* (Pers.) Opiz)가 정착하고 이어서 갈대와 달뿌리풀이 혼재하여 초본 우점 식생구역을 지배하고 관목 우점 식생구역은 갯버들과 개키버들(*Salix integra* Thunb.)이 혼재하여 지배한다. 교목 우점 식생구역은 버드나무(*S. koreensis*)가 지배하고 부분적으로 왕버들(*Salix chaenomeloides* Kimura)이 섞여난다. 한편, 관목 우점 식생구역 및 교목 우점 식생구역에 갈풀(*Phalaris arundinacea* L.)이 섞여나고 있다(Fig. 4).

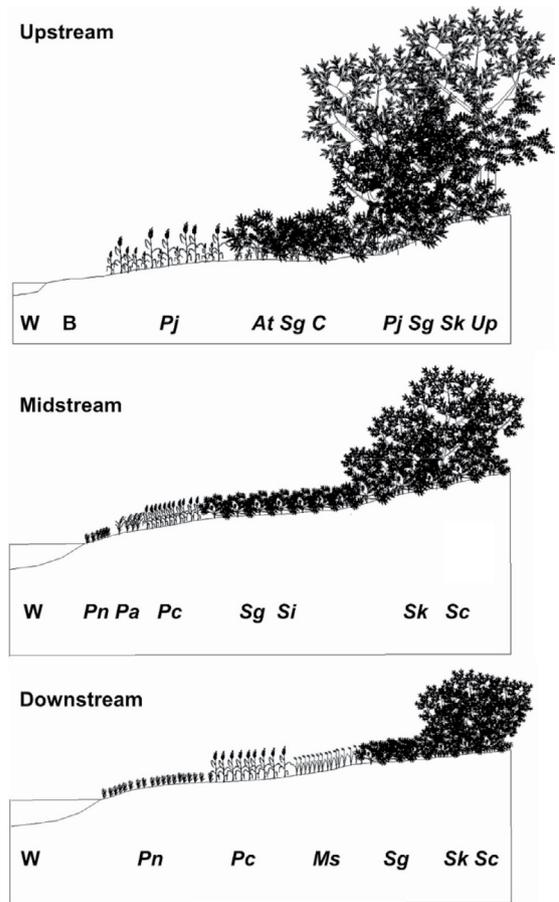


Fig. 4. Reference information prepared for improving the ecological quality of the upstream, the mid-stream, and the downstream reaches of the Yangjae stream. At: *Acer tataricum* subsp. *ginnala*, C: *Carex* spp., Up: *Ulmus parvifolia*, Ms: *Miscanthus sacchariflorus*, Pa: *Phalaris arundinacea*, Pc: *Phragmites communis*, Pn: *Persicaria nodosa*, Sc: *Salix chaenomeloides*, Sg: *Salix gracilistyla*, Si: *Salix integra*, Sk: *Salix koreensis*, Pj: *Phragmites japonica*, W: Waterway, B: Barelnad.

하류구간에는 수로 변에서 명아자여뀌, 갈대 그리고 물억새가 언급된 순서로 이어지며 초본 우점 식생구역을 지배하고 관목 우점 식생구역은 개키버들이 지배한다. 교목 우점 식생구역은 버드나무가 지배하고 왕버들이 섞여나고 있다(Fig. 4).

6. 순응관리계획

순응관리계획은 대조생태정보에 기초하여 검토하고 그 개선방안을 제시하였다(Fig. 5). 홍수터의 식생은 갈대, 물억새, 갯버들 및 버드나무 등을 도입하여 홍수체제를 반영하여 초지, 관목림 및 교목림을 이들 주요 식물의 구성은 갖추어 놓고 있다. 그러나 그들의 배치는 홍수체제를 반영

Table 3. The degrees of naturalness assigned to upstream, midstream and downstream in the Yangjae stream. 5: very good, 4: good, 3: medium, 2: poor, 1: very poor

Geographic position	Upstream	Midstream	Downstream
Item	Degree	Degree	Degree
Sinuosity of watercourse	1	1	1
The number of sandbars	2	2	3
Diversity of flow	2	2	2
River profile	2	2	2
Diversity of water course breadth	2	2	2
Artificial degree of water front protection	3	3	3
Artificial degree of bank	4	4	4
Land use within bank	1	1	1
Floodplain use	2	2	4
Transverse artificial facilities	5	5	5
Vegetation stratification	4	4	4

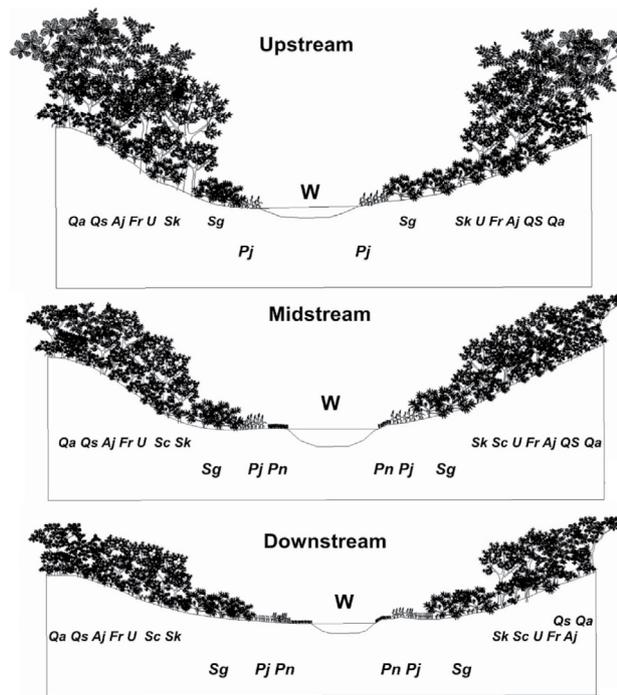


Fig. 5. A revised plan of micro-topography of flood bed and vegetation profiles recommended to improve the ecological quality of the restored Yangjae stream presented in Fig. 3. Qa: *Quercus aliena*, Qs: *Quercus serrata*, Aj: *Alnus japonica*, Fr: *Fraxinus rhynchophylla*, U: *Ulmus* spp., Ms: *Miscanthus sacchariflorus*, Pc: *Phragmites communis*, Pn: *Persicaria nodosa*, Sc: *Salix chaenomeloides*, Sg: *Salix gracilistyla*, Si: *Salix integra*, Sk: *Salix koreensis*, Pj: *Phragmites japonica*, W: Waterway.

한 생태적 배치이기 보다는 사람의 이용에 초점을 맞추고 있다. 수로에서 먼 곳에 배치하여야 할 버드나무를 갯버들

과 함께 수로 변에 배치하고, 초본식물 갈대를 수로에서 더 먼 곳에 배치하고 있다(Fig. 3). 따라서 개선을 위한 적응관리계획에서는 홍수체제를 반영하여 그 배치순서가 갈대-갯버들-버드나무의 순서가 되도록 바로 잡을 필요가 있다(Fig. 5). 종의 구성에서도 상류구간에는 갈대 대신 달뿌리풀을 권장하고, 중류에서는 관목식물로 개기버들을 추가하며 하류에서는 갯버들을 개기버들로 교체할 것을 권하고 싶다. 물억새의 배치도 현재는 갈대와 같은 위치에 혼재하고 있는데, 자연에서 그들의 공간적 위치를 고려하면 갈대보다 수로에서 먼 곳에 배치하여야 한다(Fig. 5).

그러나 양재천에서 생태적 복원을 실현하기 위해 무엇보다 중요한 것은 하천의 단면에 대한 개선이 이루어져야 한다. 즉 현재의 복단면구조를 하천의 자연단면을 모방하여 완만한 경사의 웅덩이형 단면으로 개선하여야 한다. 양재천을 포함하여 우리나라의 하천은 대부분 하천주변에서 토지이용을 위해 하천의 폭이 크게 축소되어 있다(Jung et al., 2018). 현재의 복단면구조에서는 수로 폭이 더 좁아져 홍수 시 유속이 증가하여 자연도 평가에서 나타나듯이 수로의 미지형이 단순해진다(Table 3). 또 수분구배가 자연스럽게 연결되지 않아 홍수기에 육상식물이 번성하게 되고 외래식물의 침입과 번성이 용이해져 하천의 생태적 질이 떨어지는 주요 원인이 되고 있다(Lim et al., 2020).

주변의 토지이용 실태를 고려할 때(Lee et al., 2008), 제방단면의 개선은 당분간 어려워 보인다. 따라서 현재의 상태에서도 개선이 가능한 식생의 변화를 제안하고자 한다. 현재 양재천 제방의 경사는 매우 가파르다. 따라서 공간적 위치는 하천이지만 경사의 조건으로 보면 산지 산록부의 경사 이상으로 가파르다. 이러한 조건을 고려하여 도입

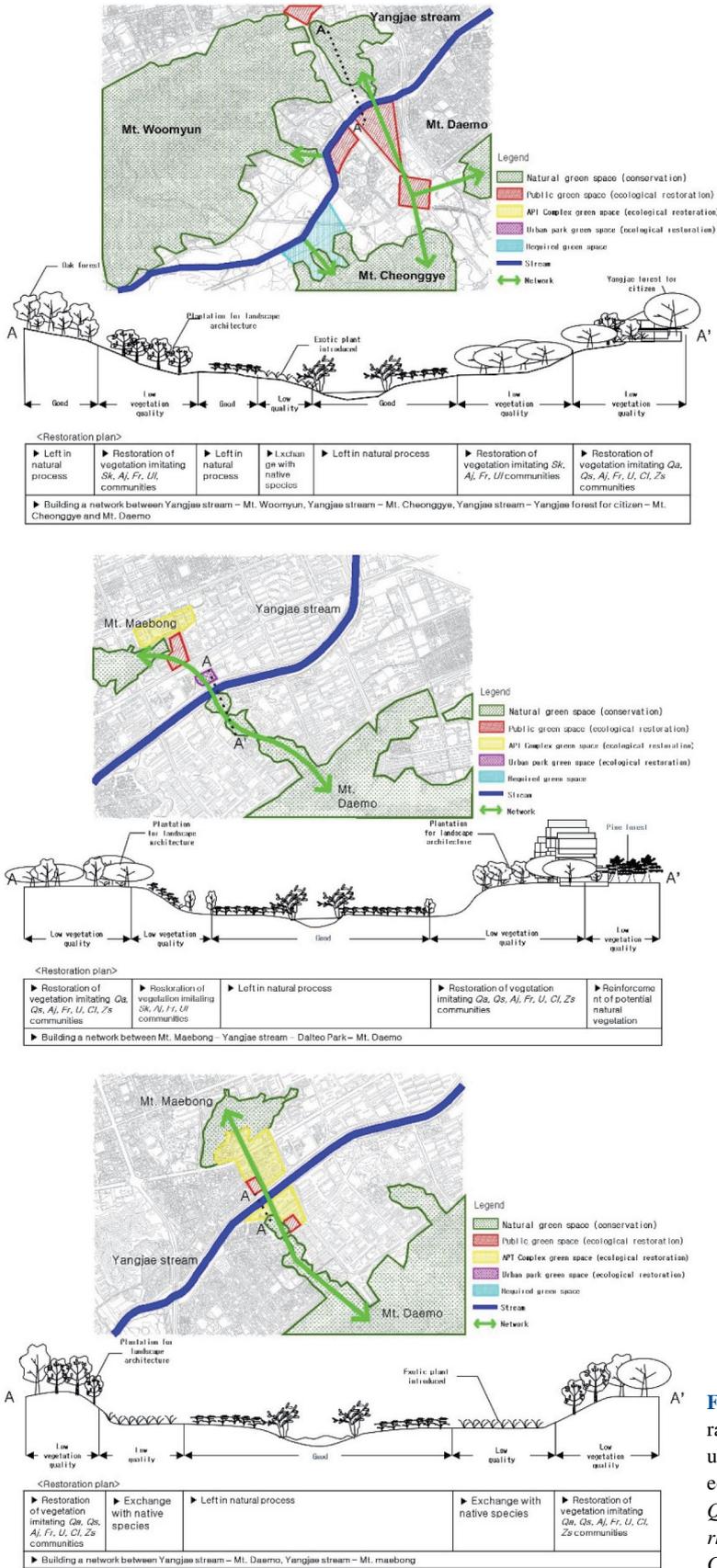


Fig. 6. The current status of land use and the restoration plans to improve the ecological role of each land use type on the ecological network courses to be created focused on the Yangjae stream. *Qa*: *Quercus aliena*, *Qs*: *Quercus serrata*, *Aj*: *Alnus japonica*, *Fr*: *Fraxinus rhynchophylla*, *U*: *Ulmus* spp., *Sk*: *Salix koreensis*, *Cl*: *Carpinus laxiflora*, *Zs*: *Zelkova serrata*.

하는 식생은 강변식생에서 연목대와 경목대 식생을 이루는 오리나무 (*Alnus japonica* (Thunb.) Steud.), 물푸레나무 및 느릅나무속 (*Ulmus* spp.) 식물 그리고 산지에서 산록부 식생을 이루는 갈참나무 (*Quercus aliena* Blume), 졸참나무 (*Quercus serrata* Thunb. ex Murray) 등을 추천한다(Lee *et al.*, 2008; Jung *et al.*, 2018). 하층식생으로 도입할 식물은 상기한 식물들이 이루는 숲에서 하층식생을 이루고 있는 찔레꽃 (*Rosa multiflora* Thunb.), 쥐똥나무 (*Ligustrum obtusifolium* Siebold & Zucc.), 조팝나무 (*Spiraea prunifolia* f. *simpliciflora* Nakai) 및 백당나무 (*Viburnum opulus* var. *calvescens* (Rehder) H. Hara) 등을 도입하고 초본식물은 자연정착을 유도하는 방안을 권하고 싶다.

나아가 복원된 양재천의 생물다양성을 증진하고 고밀도 개발이 이루어진 도심의 생태적 안정성을 높이기 위한 방안으로 양재천을 중심으로 한 생태 network 조성계획을 검토하였다(Fig. 6). 생태 network은 육상 녹지의 연결성이 양호한 세 구간을 선정하고 네트워크를 조성하기 위해 요구되는 생태적 복원방안을 제시하였다. 제 1구간은 양재천을 양재시민의 숲-청계산과 바위피 공원-우면산에 연결하는 구간, 제 2구간은 양재천을 달터공원 출발마당-대모산과 독골공원-매봉산에 연결하는 구간 그리고 제 3구간은 양재천을 달터근린공원-개포공원-대모산과 늘벗공원-매봉산과 연결시키는 구간으로 삼았다.

이러한 생태네트워크이 구축되면 양재천이 이 일대의 주요 생태경관요소인 청계산, 대모산, 우면산 및 응봉산과 양재천이 연결되어 양재천에 서식하는 멸종위기종 두꺼비의 서식환경을 개선하는데 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 나아가 이들을 연결하는데 녹지역 역할을 할 도심 내 근린공원들을 확충하고, 그들을 연결하는 숲 띠가 조성되면 그것은 심각한 상태로 진행되고 있는 도심기후 완화는 물론 미세먼지를 비롯한 오염물질 정화기능을 발휘하여 환경개선에 큰 기여를 할 것으로 판단된다. 실제로 도시 숲은 기후 조절 기능을 통해 쾌적한 환경을 확보하는 것은 물론 식물의 비정상적인 계절 현상도 완화시키는 것으로 나타났다(Jung *et al.*, 2020).

논 의

1. 복원된 양재천에서 확인되는 문제점과 그 개선방안

복원은 파괴되기 이전의 건전한 자연상태를 회복하는 것을 그 목표로 삼고 있다(Aronson *et al.*, 1993; SERI, 2004; Lee, 2016; McDonald *et al.*, 2016). 복원된 지소에 성립된 식생이 복원되지 않은 지소와 비교하여 더 다양한 식물을

보유하고 더 높은 지면 피복율을 보이는 사실을 고려하면(Lee *et al.*, 2003; Lee and Lee, 2004; Lee *et al.*, 2010; Lim *et al.*, 2020), 양재천 복원은 이러한 측면에서 복원의 효과를 이룬 것으로 평가된다(Photo 1 참고).

복원은 또 다른 목표로 그것을 통해 회복한 자연의 완충기능을 이용하여 인간의 쾌적한 생활환경을 확보하는 것을 들 수 있다(Freedman, 1995; Gunn, 1995; Lee *et al.*, 2004, 2007, 2008; Lim *et al.*, 2020). 그러한 식생의 완충기능은 온전한 구조를 갖춘 완전한 상태, 즉 자연상태의 계에서 최대로 발휘될 수 있다(Lee and You, 2001). 복원된 지소가 이처럼 다양한 종 조성을 갖추게 된다는 사실을 고려하면, 양재천 복원은 인간의 쾌적한 생활환경 확보 측면에서도 그 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

복원된 지소에서는 식생과 동물상 둘 다에서 복원되지 않은 지소와 비교하여 높은 종 다양성을 보였다(Lim *et al.*, 2020). 종의 다양성은 어떤 계의 안정성을 결정하는 중요한 요소이다(Odum and Barrett, 2005). 그리고 생태적 복원은 인간의 간섭에 지배되어 단순하고 불안정한 상태로 변화된 계를 복잡하고 안정된 계로 바꾸고자 한다(Bradshaw, 1984). 따라서 복원되지 않은 지소와 비교하여 복원된 지소가 크게 높은 다양성을 보인 것은 양재천 복원이 환경의 안정성 회복 차원에서 복원의 효과를 발휘할 수 있을 것으로 평가된다.

그러나 양재천 복원에서 이러한 긍정적인 측면만이 예상되는 것은 아니다. 이곳의 복원계획은 충분한 사전 검토와 부지 확보가 이루어지지 못해 생태적인 측면에서 여러 가지 문제점을 드러낸다.

우선, 하천의 단면은 경사가 급하여 자연하천이 보이는 완만한 경사와 큰 차이를 보인다. 나아가 이러한 급한 경사는 이곳에 도입하고자 하는 식생에도 영향을 미쳐 또 다른 생태적 문제를 야기시키고 있다. 하천의 물리적 환경에서 발견되는 다른 문제점은 서식처 복원의 단순함에서 찾을 수 있다. 유럽의 예(room for the river, Fokkens, 2006)에서처럼 복원을 위해 충분한 공간이 확보된다면 이러한 문제가 해결될 수 있지만, 양재천 복원은 그 공간을 최소한으로 확보한 상태에서 복원을 추구하고 있다. 이런 점에서 향후 자연의 과정에 의존하여 다양한 생물서식처를 창출하기는 힘들 것으로 판단된다. 이런 점에서 향후 보다 다양한 생물서식환경을 창출하기 위한 노력이 요구된다.

식생 측면에서의 문제점은 먼저 외래식물을 도입한 데서 찾을 수 있다(Table 2). 자연하천 복원이 소실된 자연을 되찾고, 그것을 통하여 갖추게 된 안정된 체계를 통해 외래종의 침입 및 확산을 억제할 수 있다는 복원 본래의 의미를 고려하면(SERI, 2004; Lee, 2016; McDonald *et al.*,

2016) 이러한 식생의 도입은 그 본래의 목적과 크게 어긋난다(Lee *et al.*, 2003). 식생 측면의 다른 문제점은 도입 식물의 공간분포, 지리적 분포, 미지형에 따른 차이 등 생태적 정보의 부재에서 찾을 수 있다(Photo 1, Fig. 3).

2. 하천자연도

하천자연도란 하천생태계의 자연스러운 정도를 의미한다. 하천 자연도 평가는 하천 환경의 인위적 훼손 정도를 상대적으로 평가하여 현재 하천이 원래의 자연 상태에서 어느 정도 벗어나 있는지를 가능하고, 그러한 차이가 하천 생태계에서 어떤 의미가 있으며 하천을 자연에 가깝도록 복원하기 위해서 어느 정도의 인위적 도움이 필요한지를 결정하기 위하여 시행한다(Doll, 2003; Lim *et al.*, 2020). 물론 생태계의 총체적인 환경을 정량적으로 평가하는 것은 쉽지 않으며, 주관적으로 흐르거나 전문가의 경험에 의지하는 경우가 많다. 그럼에도 불구하고 하천과 같이 환경변화와 오염에 취약한 생태계일수록 환경훼손의 정도를 반영할 수 있는 평가방법이 필요하다. 또한 하천의 생물서식처를 복원하기 위해서도 하천자연도 평가를 시행하는 것은 그 의미가 크다.

널리 알려진 대로 하천은 이수, 치수, 환경의 3대 기능이 있다. 그 중 환경적 기능의 중요성이 부각된 역사는 그리 길지 않다. 이 기능이 주목을 받게 된 것은 인간이 하천에 끼친 각종 행위에 대해 하천이 인간에게 ‘피해’의 형태로 작용하게 되면서부터이다. 하천은 인간에 의한 환경적인 스트레스에 매우 민감하게 반응하는 자연계이다. 달리 말하면 하천은 스스로의 모습을 가장 안정적인 것으로 조정하는 기능을 내재하고 있다고 할 수 있다. 인간에 의해 변형된 하천이 보이는 각종 반응(피해)이 바로 이 조정기능의 일환이다. 그러나 이러한 기작은 최근에 들어서야 널리 이해되고 있다. 그동안 하천과 더불어 살고자 하는 인간의 욕심에 비해 하천에 대한 이해의 수준은 매우 미흡하였다(Lee *et al.*, 1999, 2002).

이러한 관점에서 하천을 원래의 자연적인 모습으로 되돌리려는 시도는 자연을 바라보는 시각이 인간분위에서 자연중심으로 전환되고 있음을 보여준다(Lee *et al.*, 1999). 이러한 패러다임의 전환을 지원하기 위하여 하천을 자연스러운 모습으로 바꾸는 일련의 과정에 과학적, 사회적 타당성을 부여하는 방법을 개발할 필요가 있다(MEA, 2005). 하천자연도 평가란 하천의 자연스러운 정도를 구체적이고 정량적으로 평가하는 것을 말한다. 하천자연도 평가의 목적은 하천 이용과 보전, 나아가 복원계획에 대한 잠재적인 적합성의 근거를 파악하고 이에 대한 가치를 부여하기 위

한 것이다. 하천자연도를 평가하여 복원사업의 현실적인 가능성을 파악하고, 복원의 방법과 수준을 결정하며 나아가 복원의 효과를 확인해 볼 수도 있다(Lim *et al.*, 2020). 본 연구에서는 복원된 양재천을 대상으로 복원효과 평가 차원에서 평가가 시도되었다.

3. 하천의 구조와 복원

하천은 침식, 운반, 퇴적이라는 세 가지 작용을 끊임없이 수행하고 있다. 침식에 의해서 못이 형성되고, 침식된 토사는 하류로 운반되어 퇴적된다. 퇴적부는 여울이 되고, 유속이 증가하면 다시 침식을 시작한다. 이렇게 하여 하천바닥에는 종단방향으로 여울과 못이 연속적으로 형성된다(Lee *et al.*, 1999, 2002).

하천에서 흐르는 물은 구불구불 흐르는 특성을 갖는다. 이와 같은 사행천의 특성도 하천의 세 가지 작용에 기인한다. 즉, 물은 높은 곳으로부터 낮은 곳으로 흐르게 마련인데, 이러한 흐름의 과정에서 침식, 운반, 퇴적의 작용이 반복된다. 이때 침식은 기질이 약한 부분을 중심으로 일어난다. 그 흐름이 경사가 완만한 부분에 이르렀을 때는 물의 흐름이 느리기 때문에 침식작용이 심하지 않지만 이 경우에는 불어난 물의 양이 압력으로 작용하며 침식작용을 주도한다. 이 경우에도 침식은 기질이 약한 부분을 중심으로 일어나 마찬가지로 구불구불한 사행천을 형성한다. 외관상 직선으로 흐르는 것처럼 보이는 하천이라도 그 내부에서는 반드시 구불구불 흐르게 마련이다. 따라서 하천은 본래 수로 폭의 10배 이상의 거리에 걸쳐 직선을 형성하는 경우가 없다(Lee *et al.*, 1999, 2002).

구불구불 흐르는 하천의 수로에는 작은 섬(하중도)과 못이 연속하여 나타난다. 직선화한 하천에서도 이후의 간섭이 배제되면 물의 흐름에 의해 침식과 퇴적이 반복되며 이러한 하천의 미지형을 형성한다. 이와 같이 형성된 수로 내의 요철부는 수심의 차이를 가져오고, 수심의 차이는 수온의 차이로 이어지며, 수온의 차이는 다시 용존산소량의 차이를 가져와 결국 중요한 미소환경의 차이를 유발한다. 이와 같이 복잡한 과정을 제외하더라도 수심의 깊고 얇은 것은 물 흐름의 속도를 조절하여 그곳에 서식하는 생물의 종류를 결정하고, 때로는 그곳에 사는 생물의 피난처나 은신처로도 작용하며 생물의 서식에 중요한 역할을 하고 있다(Lee *et al.*, 1999, 2005, 2006).

한편, 하천은 하천의 세 가지 작용과 구불구불 흐르는 특성이 복합작용하여 그 횡단방향에서도 하천의 바닥 깊이의 차이가 발생한다. 침식작용이 일어나는 하천의 가장자리는 물의 흐름에 의해 깎이고 그 압력으로 더 안쪽으

로 후퇴하며 솟아오르게 된다. 즉, 이러한 과정을 통해 하천의 제방과 같은 지형이 형성된다. 못의 가장자리가 우뚝 솟아오르고 큰 나무로 덮인 장소가 많은 것은 이러한 영향 때문이다. 이와 같은 침식작용에 의해 발생된 토사는 물의 흐름을 따라 이동하며 어느 한곳에 퇴적되게 마련이다. 퇴적작용이 일어나는 부분은 침식작용이 일어난 부분과 달리 매끄러운 지형을 형성한다. 이러한 퇴적작용이 수로 내에 한정되면 작은 섬이 만들어지고, 보다 넓은 범위로 이어지면 범람원을 이루어 후에 습생식물대로 정착한다. 이러한 작용이 이어지며 하천생태계의 횡단면상의 지형구조가 형성되는데, 그 내부에서 외부로 이어지며 나타나는 지형은 수로-홍수터-제방의 순서가 일반적이다(Lee *et al.*, 1999, 2005, 2006).

이러한 지형구조는 각기 다른 교란체계 (disturbance regime)와 지하수위(water table)를 유지하여 서로 다른 식생을 보유한다. 그 식생의 형태는 수로 변, 홍수터 및 제방 상에서 각각 초지생, 관목림 및 교목림의 형태가 된다. 각 식생역을 이루는 식물 종은 지역에 따라 차이가 있지만 일반적인 중구성은 초본식생역에서 갈대, 달뿌리풀, 미나리 (*Oenanthe javanica* (Blume) DC.), 고마리 (*Persicaria thunbergii* (Siebold & Zucc.) H.Gross) 및 명아자여뀌 등을 들 수 있고, 관목식생역은 여러 종의 버드나무류 (*Salix* spp.)가 주류를 이루며, 제방상의 교목식생역은 버드나무, 왕버들, 신나무 (*Acer tataricum* subsp. *ginnala* (Maxim.) Wesm.), 오리나무, 물푸레나무, 비술나무 (*Ulmus pumila* L.), 참느릅나무 (*Ulmus parvifolia* Jacq.) 및 느릅나무 (*Ulmus davidiana* var. *japonica* (Rehder) Nakai) 등이 주류를 이루고 있다(Lee *et al.*, 2008; Jung *et al.*, 2018).

4. 진정한 복원(true restoration)을 이루어내기 위한 제안

생태적 복원은 온전한 자연의 체계를 이루어 건강한 자연을 회복하는 과정이다(SERI, 2004; Lee, 2016; McDonald *et al.*, 2016). 모든 생태계는 개방계로서(Odum and Barrett, 2005) 생태계와 생태계 사이는 상호작용하여 경관(landscape)을 이루어낸다(Zonneveld, 1995; Hong *et al.*, 1997; Farina, 2006). 하천도 사실 수역생태계(stream ecosystem)와 수변생태계(riparian ecosystem)가 조합된 경관(landscape)이다(Goodwin *et al.*, 1997). 한편, 하천이 다양한 생물의 번식공간으로 기능하고, 곤충, 양서류, 파충류, 조류 등이 생활사 단계에 따라 다양한 경관요소를 필요로 하고 있음을 고려하면(Lee *et al.*, 1999), 복원된 하천은 주변의 육상생태계와 생태적 연결을 이룰 때 복원 본래의 목적을 이루어낼 수 있다(Lee *et al.*, 2007).

그러나 토지이용강도가 높은 대도시 지역에서 경관규모의 생태적 복원을 이루어내기는 쉽지 않다. 따라서 이러한 복원을 이루어내기 위해서는 효율적으로 네트워크를 구축할 수 있는 경로의 선정이 중요하다. 이에 본 연구에서는 양재천을 중심으로 가장 짧은 거리로 청계산, 대모산, 우면산 같은 거점 녹지에 이르는 생태네트워크를 구축하기 위한 달할 수 있는 구간과 경로로 선정하였다(Fig. 6). 또 선정된 경로에는 양재시민의 숲, 바우피 공원, 달터공원, 독골공원, 개포공원, 늘벗공원 등 생태적 역으로 역할을 할 수 있는 도시공원이 자리잡고 있고, 경로 상에 나타나는 아파트 정원이나 학교 숲 또한 생태적으로 정비하면 생태축으로서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 가로공원 또한 생태적 정비가 뒷받침되면 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다(Lee *et al.*, 2008). 그럼에도 불구하고 생태적 연결이 부족한 부분에서는 지방정부나 시민의 배려를 통한 녹지 확보가 요구된다(Fig. 6).

저자 정보 임봉순, 김아름, 김동욱, 설재원(서울여자대학교 생명환경공학과 대학원생), 이창석(서울여자대학교 생명환경공학과 교수)

저자기여도 연구설계: 이창석, 현장조사: 임봉순, 김아름, 김동욱, 설재원, 이창석, 데이터 분석: 임봉순, 김아름, 김동욱, 설재원, 이창석, 원고 작성: 김아름, 이창석, 원고 검토: 김아름, 이창석

이해관계 본 연구는 이해관계의 충돌 여지가 없습니다.

연구비 이 논문은 서울여자대학교 교내연구비의 지원을 받았음(2020-0250).

REFERENCES

- An, J.H., C.H. Lim, S.H. Jung, A.R. Kim and C.S. Lee. 2016. Effects of climate change on biodiversity and measure for them. *Journal of Wetlands Restoration* **18**: 481-487 (Korean literature).
- An, J.H., C.H. Lim, S.H. Jung, A.R. Kim, D.M. Woo and C.S. Lee. 2017. Restoration plan of Changwon and Nam streams based on the results of diagnostic assessment *Journal of Korean Society on Water Environment* **33**: 511-524 (Korean literature).
- An, J.H., C.H. Lim, Y.K. Lim, K.B. Nam and C.S. Lee. 2014. A review of restoration project evaluation and post management for ecological restoration of the river. *Restoration Ecology* **4**: 15-34 (Korean literature).
- Aronson, J.C., E. Le Floch, C. Ovalle and R. Pontanier. 1993.

- Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. II. Case studies in southern Tunisia, Central Chile and northern Cameroon. *Restoration Ecology* **3**: 168-187.
- Aronson, J.C. and E. Le Floch. 1996. Vital landscape attributes: missing tools for restoration ecology. *Restoration Ecology* **4**: 377-387.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers. United States Environmental Protection Agency. DC, Office of Water.
- Bennett, S.J., A. Simon, J.M. Castro, J.F. Atkinson, C.E. Bronner, S.S. Blerch and A.J. Rabideau. 2013. The evolving science of stream restoration. In: *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems*. Hoboken, Wiley Online Library.
- Boromisza, Z., A. Gergely, E. Jakli and C. Xuecheng. 2019. Landscape, ecological and visual impacts of a stream restoration in Hungary. In: *Proceedings of the Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning*, Vol. 6, Article 4.
- Bradshaw, A.D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Plan* **11**: 35-48.
- Cantonati, M., S. Poikane, C.M. Pringle, L.E. Stevens, E. Turak, J. Heino, J.S. Richardson, R. Bolpagni, A. Borrini, N. Cid, M. Ctvrtlíková, D.M.P. Galassi, M. Hájek, I. Hawes, Z. Levkov, L. Naselli-Flores, A.A. Saber, M. Di Cicco, B. Fiasca, P.B. Hamilton, J. Kubecka, S. Segadelli and P. Znachor. 2020. Characteristics, main impacts, and stewardship of natural and artificial freshwater environments: consequences for biodiversity conservation. *Water* **12**: 260.
- Choi, Y.D. 2004. Theories for ecological restoration in changing environment: toward 'futuristic' restoration. *Ecology Restoration* **19**: 75-81.
- Deffner, J. and P. Haase. 2018. The societal relevance of river restoration. *Ecology and Society* **23**: 35
- Doll, B.A., G.L. Grabow, K.R. Hall, J. Halley, W.A. Harman, G.D. Jennings and D.E. Wise. 2003. *Stream Restoration: A Natural Channel Design Handbook*, NC Stream Restoration Institute. NC State University, Raleigh.
- Ellenberg, H. 1986. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 1334.
- Farina, A. 2006. *Principles and methods in landscape ecology. Towards a science of landscape*. Springer, Netherlands.
- Florsheim, J.L., J.F. Mount and A. Chin. 2008. Bank erosion as a desirable attribute of rivers. *Bioscience* **58**: 519-529.
- Fokkens, B. 2006. The Dutch strategy for safety and river flood prevention. In *Extreme hydrological events: new concepts for security*. Springer: Dordrecht, Nederland, pp. 337-352.
- Freedman, B. 1995. *Environmental Ecology: The Ecological Effects of Pollution, Disturbance, and Other Stresses*, 2nd ed. Academic Press, San Diego.
- Gardali, T., A.L. Holmes, S.L. Small, N. Nor, G.R. Geupel and G.H. Golet. 2006. Abundance patterns of land birds in restored and remnant riparian forests on the Sacramento River, California, USA. *Restoration Ecology* **14**: 391-403.
- Gilvear, D. and R. Bryant. 2016. Analysis of Remotely sensed data for fluvial geomorphology and river science. In: *Tools in Fluvial Geomorphology*, 2nd ed. Chichester, John Wiley & Sons.
- Goodwin, C.N., C.P. Hawkins and J.L. Kershner. 1997. Riparian restoration in the Western United States: overview and perspective. *Restoration Ecology* **5**: 4-14.
- Golet, G.H., D.L. Brown, M. Carlson, T. Gardali, A. Henderson, K.D. Holl, C.A. Howell, M. Holyoak, J.W. Hunt, G.M. Kondolf, E.W. Larsen, R.A. Luster, C. McClain, C. Charles Nelson, S. Paine, W. Rainey, Z. Rubin, F. Shilling, J.G. Silveira, H. Swagerty, N.M. Williams and D.M. Wood. 2013. Successes, failures and suggested future directions for ecosystem restoration of the middle Sacramento River, California. *San Francisco Estuary and Watershed Science*. 11.
- Gunn, J.M. (ed.). 1995. *Restoration and Recovery of an Industrial Region*. Springer-Verlag, New York.
- Higgs, E.S. 1997. What is good ecological restoration?. *ProEnvironment/ProMediu* **11**: 338-348.
- Hobbs, R. 2009. Woodland restoration in Scotland: ecology, history, culture, economics, politics and change. *Journal of Environmental Management* **90**: 2857-2865.
- Hobbs, R.J. and D.A. Norton. 1996. Toward a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* **4**: 93-110.
- Hong, S.K. and C.S. Lee. 1997. Development and roles of landscape ecology as an emerging opportunity for ecology. *Korean Journal of Ecology* **20**(3): 217-227.
- Hull, R.B. and P.H. Gobster. 2000. Restoring forest ecosystems: the human dimension. *Journal of Forestry* **98**: 32-36.
- Jung, S.H., A.R. Kim, J.H. An, C.H. Lim, H.S. Lee and C.S. Lee. 2020. Abnormal shoot growth in Korean red pine as a response to microclimate changes due to urbanization in Korea. *International Journal of Biometeorology* **64**: 571-584.
- Jung, S.H., A.R. Kim, J. Seol, B.S. Lim and C.S. Lee. 2018. Characteristics and reference information of riparian vegetation for realizing ecological restoration classified by reach of the river in Korea. *Journal of Korean Society on Water Environment* **34**: 447-461 (Korean literature).
- Kauffman, J.B., R.L. Beschta, N. Otting and D. Lytjen. 1997. An ecological perspective of riparian and stream restoration in the western United States. *Fisheries* **22**: 12-24.
- Kent, M. and P. Cocker. 2011. *Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach*. CRC Press, Florida.
- Kerans, B.L. and J.R. Karr. 1994. A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee Valley. *Ecological Applications* **4**(4): 768-785.
- Kondolf, G.M. 1997. Application of the pebble count: notes on

- purpose, method, and variants. *Journal of the American Water Resources Association* **33**: 79-87.
- Kondolf, G.M. and E.R. Micheli. 1995. Evaluating stream restoration projects. *Environmental Management* **19**: 1-15.
- Kondolf, G.M. and S. Li. 1992. The pebble count technique for quantifying surface bed material size in instream flow studies. *Rivers* **3**: 80-87.
- Le, H.D., C. Smith, J. Herbohn and S. Harrison. 2012. More than just trees: assessing reforestation success in tropical developing countries. *Journal of Rural Studies* **28**: 5-19.
- Lee, C.S. 2003. Landscape ecological characteristics and use of ecological information in the northern area of the CCZ. *Environmental ecological survey analysis and impact assessment workshop of the DMZ*: 165-192.
- Lee, C.S. 2016. Role and task of restoration ecology in changing environment: Trends and issues in academic study, Biology. *The National Academy of Sciences* **5**: 481-527 (Korean literature).
- Lee, C.S. and A.N. Lee. 2004. Restoration Effects Confirmed in the Environmental Forests Created on the Bases of Ecological Principles. *Journal of Environmental Biology* **22**(1): 220-226.
- Lee, C.S. and Y.H. You. 2001. Development and Outlook of Restoration Ecology as an Ecology for the Future. *Korean Journal of Ecology* **24**(3): 191-202.
- Lee, C.S., A.N. Lee and Y.C. Cho. 2008. Restoration Planning for the Seoul Metropolitan Area, Korea. p. 393-419. In: Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives (Carreiro, M.M. et al., ed.). Springer, New York.
- Lee, C.S., J.M. Oh and N.J. Lee. 2002. Riverine environment and riparian plant. Donghwagisul Pub. Co., Seoul.
- Lee, C.S., A.N. Lee, Y.C. Cho, H.C. Shin and H.S. Woo. 2004. Effects of partial restoration practiced by a method suitable for the riverine environment in Korea. Proceedings of 16th International Conference, Society for Ecological Restoration International, August 24-26, 2004, Victoria, Canada, pp. 1-10.
- Lee, C.S., J.H. An, J.H. Pee, S.M. Lee and J.S. Lee. 2011a. Futuristic direction of river restoration in Korea under changing climate change. *Restoration Ecology* **2**: 137-143 (Korean literature).
- Lee, C.S., J.S. Moon, H.S. Woo, H.G. Ahn, G.H. Cho, Y.S. Bae and H.G. Byun. 2006. An analysis on landscape structure and biodiversity of the Bokha River as a model to restore the degraded urban river. *Journal of Ecology Field Biology* **29**: 113-124.
- Lee, C.S., S.G. Hong, H.J. Cho and J.M. Oh. 1999. Riverine environment and riparian plant. Donghwagisul Pub. Co., Seoul.
- Lee, C.S., Y.C. Cho, H.C. Shin, J.S. Moon, B.C. Lee, Y.S. Bae, H.G. Byun and H. Yi. 2005. Ecological Response of Streams in Korea under Different Management Regimes. *Water Engineering Research* **6**(3):131-147.
- Lee, C.S., Y.C. Cho, H.C. Shin, S.M. Lee and H.J. Cho. 2007a. Effects of partial restoration practiced by a method suitable for the riverine environment in Korea. *Journal of Ecology and Field Biology* **30**: 155-162.
- Lee, C.S., Y.C. Cho, W.S. Woo, S.A. Park and E.S. Seol. 2007b. Diagnosis of restoration effects and improving plan in the restored Cheonggye stream. *Journal of Water Resources Association* **2007**: 1135-1139
- Lee, C.S., Y.C. Cho, H.C. Shin, G.S. Kim and J.H. Pi. 2010. Control of an invasive alien species, *Ambrosia trifida* with restoration by introducing willows as a typical riparian vegetation. *Journal of Ecology and Field Biology* **32**: 207-215.
- Lee, C.S., Y.M. Jeong and H.S. Kang. 2011b. Concept, direction, and task of ecological restoration. *Restoration Ecology* **2**: 59-71 (Korean literature).
- Lee, H.S., H.M. Yoo and C.S. Lee. 2003. Distribution pattern of white snakeroot as an invasive alien plant and restoration strategy to inhibit its expansion in Seoripool park, Seoul. *Korean Journal of Biological Science* **7**: 197-205.
- Leps, M., A. Sundermann, J.D. Tonkin, A.W. Lorenz and P. Haase. 2016. Time is no healer: increasing restoration age does not lead to improved benthic invertebrate communities in restored river reaches. *Science of the Total Environment* **557**: 722-732.
- Lim, C.H, J.H. Pi, A.R. Kim, H.J. Cho, K.S. Lee, Y.H. You, K.H. Lee, K.D. Kim, J.S. Moon, H. Lee and C.S. Lee. 2020. Diagnostic evaluation and systematization of the reference information for river restoration in South Korea. International J Environmental Research and Public Health. In Press.
- Lisle, T.E., J.M. Buffington, P.R. Wilcock and K. Bunte. 2015. Can rapid assessment protocols be used to judge sediment impairment in gravel-bed streams? A commentary. *Journal of the American Water Resources Association* **51**: 373-387.
- McDonald, T., G.D. Gann, J. Jonson and K.W. Dixon. 2016. International Standards for the Practice of Ecological Restoration-Including Principles and Key Concepts. DC, Society for Ecological Restoration.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Miller, S.W., P. Budy and J.C. Schmidt. 2010. Quantifying macroinvertebrate responses to in-stream habitat restoration: applications of meta-analysis to river restoration. *Restoration Ecology* **18**: 8-19.
- National Research Council (NRC). 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy. National Academy Press, DC.
- Noss, R.F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* **4**: 355-364.

- Odum, E.P. and G.W. Barrett. 2005. Fundamentals of Ecology. Thomson Brooks/Cole, Belmont.
- Ormerod, S.J. 2003. Restoration in applied ecology: editor's introduction. *Journal of Applied Ecology* **40**: 44-50.
- Palmer, M.A., E.S. Bernhardt, J.D. Allan, P.S. Lake, G. Alexander, S. Brooks, J. Carr, S. Clayton, C.N. Dahm, J.F. Shah, D.L. Galat, S.G. Loss, P. Goodwin, D.D. Hart, B. Hassett, R. Jenkinson, G.M. Kondolf, R. Lave, J.L. Meyer, T.K. O'Donnell, L. Pagano and E. Sudduth. 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* **42**: 208-217.
- Palmer, M.A., H.L. Menninger and E. Bernhardt. 2010. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice?. *Freshwater Biology* **55**: 205-222.
- Petts, G. and P. Calow. 1996. River restoration. Blackwell Science, London.
- Petts, G.E., H. Moller and A.L. Roux. 1989. Historical Changes of Large Alluvial Rivers: Western Europe. John Wiley and Sons, Chichester.
- Postel, S. and B. Richter. 2003. Rivers for Life: Managing Water for People and Nature. Island Press, DC.
- Purcell, A.H., C. Friedrich, H. Vincent and V.H. Resh. 2002. An assessment of a small urban stream restoration project in Northern California. *Restoration Ecology* **10**: 685-694.
- Rosgen, D.L. 2001. A practical method of computing stream-bank erosion rate. In: Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, Reno, NV, USA, 25-29 March 2001.
- Rubin, Z., G.M. Kondolf, B. Rios-Touma. 2017. Evaluating Stream Restoration Projects: what do we Learn from monitoring?. *Water* **9**: 174.
- Ruiz-Jaen, M.C. and T.M. Aide. 2005a. Restoration success: how is it being measured? *Restoration Ecology* **13**: 569-577.
- Ruiz-Jaen, M.C. and T.M. Aide. 2005b. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management* **218**: 159-173.
- Salinas, M.J. and J. Guirardo. 2002. Riparian plant restoration in summer-dry riverbeds of Southeastern Spain. *Restoration Ecology* **10**: 695-702.
- Seabrook, L., C.A. McAlpine and M.E. Bowen. 2011. Restore, repair or reinvent: options for sustainable landscapes in a changing climate. *Landscape and Urban Planning* **100**(4): 407-410.
- Shields, F.D., R.E. Lizotte, S.S. Knight, C.M. Cooper and D. Wilcox. 2010. The stream channel incision syndrome and water quality. *Ecological Engineering* **36**: 78-90.
- Society for Ecological Restoration (SER). 2004. The SER Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International, Arizona, USA.
- Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group (SERI, PWG). 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org and Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Suding, K.N. 2011. Toward an era of restoration in ecology: successes, failures, and opportunities ahead. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **42**: 465-487.
- Summers, J.K., L.M. Smith, J.L. Case and R.A. Linthurst. 2012. A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services. *Ambio* **41**: 327-340.
- Swanson, S. and P.L. Wagner. 2003. Flows for floodplain forests: A successful riparian restoration. *BioScience* **53**: 647-656.
- Thorpe, A.S. and A.G. Stanley. 2011. Determining appropriate goals for restoration of imperiled communities and species. *Journal of Applied Ecology* **48**: 275-279.
- Weber, C., U. Åberg, A.D. Buijse, F.M.R. Hughes, B.G. McKie, H. Piégay, P. Roni, S. Vollenweider and S. Susanne Haertel-Borer. 2017. Goals and principles for programmatic river restoration monitoring and evaluation: collaborative learning across multiple projects. In: Wiley Interdisciplinary Reviews Water. 2017: e1257. <https://doi.org/10.1002/wat2.1257>.
- Whitacre, H.W., B.B. Roper and J.L. Kershner. 2007. A Comparison of Protocols and Observer Precision for Measuring Physical Stream Attributes I. Hoboken, Wiley Online Library.
- White, P.S. and J.L. Walker. 1997. Approximating nature's variation: Selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology* **5**: 338-349.
- Whittier, T.R., J.L. Stoddard, D.P. Larsen and A.T. Herlihy. 2007. Selecting reference sites for stream biological assessments: best professional judgment or objective criteria. *Journal of the North American Benthological Society* **26**: 349-360.
- Wild, T.C., J.F. Bernet and E.L. Westling. 2011. Deculverting: reviewing the evidence on the 'daylighting' and restoration of culverted rivers. *Journal of Water Environment* **25**: 412-421.
- Wohl, E., S.N. Lane and A.C. Wilcox. 2015. The science and practice of river restoration. *Water Resources Research* **51**: 5974-5997.
- Woo, H.S., S.U. Choi, B.M. Yoon and K.H. 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. *Journal of Korea Water Resources Association* **37**: 56-66.
- Woolsey, S., F. Capelli, T. Gonser, E. Hoehn, M. Hostmann, B. Junker, A. Paetzold, C. Roulier, S. Schweizer, S.D. Tiegs, K. Tockner, C. Weber and A. Peter. 2007. A strategy to assess river restoration success. *Freshwater Biology* **52**: 752-769.

- Wortley, L., J.M. Hero and M. Howes. 2013. Evaluating ecological restoration success: A review of the literature. *Restoration Ecology* **21**: 537-543.
- Zeiringer, B., C. Seliger, F. Greimel and S. Schmutz. 2018. River Hydrology, Flow Alteration, and Environmental Flow. *In: Riverine Ecosystem Management* (Schmutz, S. and J. Sendzimir, eds.). Aquatic Ecology Series 8. SpringerOpen, NY.
- Zeng, L., L. Zhou, D.L. Guo, D.H. Fu, P. Xu, S. Zeng, Q.D. Tang, A.L. Chen, F.Q., Luo, Y., Gui-Feng and G.F. Li. 2017. Ecological effects of dams, alien fish, and physiochemical environmental factors on homogeneity/heterogeneity of fish community in four tributaries of the Pearl River in China. *Ecology and Evolution* **7**: 3904-3915.
- Zonneveld, I.S. 1995. Land ecology: an introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation. SPB Academic Publishing.