

## 청미천에서 홍수 유량의 변화에 따른 하안식생의 확장

# Expansion of Riparian Vegetation Due to Change of Flood Regime in the Cheongmi-cheon Stream, Korea

진승남 · 조강현\*

인하대학교 생명과학과

Seung-Nam Jin and Kang-Hyun Cho\*

Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 22212, Korea

Received 20 December 2016, revised 23 December 2016, accepted 23 December 2016, published online 31 December 2016

**ABSTRACT:** The distribution of floodplain vegetation is mainly affected by hydrological and hydraulic processes. In this study, we investigated changes in the vegetation distribution due to flood discharge alteration, and the relationship between the vegetation types and the flood frequency during the last ten-year period in the Cheongmi-cheon Stream. Flood discharge of the Cheongmi-cheon Stream tended to decrease from 2006 to 2016. It has greatly decreased to less than 160 m<sup>3</sup>/s since 2013. This resulted in the settlement of *Phragmites japonica* to the wide sand bar at the Cheongmi-cheon Stream, even though it had sparse vegetation before 2013. The sand bar was fully covered with *P. japonica* in 2016. Vegetation communities in the floodplain were classified by dominant species, i.e. the annual-hygrophytic, the perennial hygrophytic and the mesophytic communities. Analysis of the relationship between the vegetation communities and the flood frequency shows the annual hygrophytes, perennial hygrophytes and the mesophytes communities distributed in the range of under 1 year, 1-10 year and over 7 year flood inundation area, respectively. In conclusion, distribution of the floodplain vegetation is closely related with the flood discharge and frequency in the Cheongmi-cheon Stream.

**KEYWORDS:** Climate change, Flood discharge, Riparian vegetation, Vegetation expansion

**요 약:** 하천에서 식생의 분포는 수리적 특성에 영향을 받는다. 본 연구에서는 청미천에서 홍수 유량의 변화에 의한 식생분포의 변화 및 식생 유형과 지난 10년 동안의 홍수 빈도와와의 관계에 대하여 연구하였다. 청미천에서 2006년부터 2016년까지 홍수 유량은 감소하는 경향을 보였다. 특히 2013년 이후로는 160 m<sup>3</sup>/s 이하로 크게 감소하였다. 이러한 홍수 유량의 감소는 2013년 이전에는 식생이 드물게 분포하였던 청미천 점동 구간의 넓은 사주에 달뿌리풀 (*Phragmites japonica*)의 정착을 야기하였다. 2016년에는 사주의 대부분이 달뿌리풀로 뒤덮였다. 조사대상구간 홍수터의 식생은 우점하는 종에 의해 1년생 습생식물 군집, 다년생 습생식물 군집 및 중간습생식물 군집으로 분류되었다. 식생 유형과 홍수 빈도의 상관 관계를 분석한 결과, 1년생 습생식물, 다년생 습생식물 및 중간습생식물 군집은 각각 1년이하의 홍수 범람 범위, 1년에서 10년 빈도의 홍수 범람 범위, 그리고 7년 이상의 홍수 범람 범위에서 분포하였다. 결론적으로, 청미천에서 홍수터 식생의 분포는 홍수 유량 및 빈도와 밀접하게 연관되어 있었다.

**핵심어:** 기후 변화, 홍수 유량, 하천 식생, 식생 확장

\*Corresponding author: khcho@inha.ac.kr, ORCID 0000-0003-4546-3546

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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

우리나라는 몬순기후의 영향으로 여름철인 6월에서 8월 사이에 강우가 집중되는 장마가 발생한다. 이로 인해 하천의 물이 불어 범람하는 홍수가 발생하게 된다. 하천 생태계에서 홍수파동 개념 (flood-pulse concept)에 따르면, 홍수는 하천 수로와 홍수터 사이에 물, 토양, 물질, 에너지 및 생물을 순환시켜 하천 홍수터 생태계의 생물다양성과 생산성을 증진시키는 역할을 한다 (Junk et al. 1989). 또한 홍수의 강도가 매우 높은 경우에는 하상소류력이 강하게 발생하여 홍수터에서 생육하는 생물과 퇴적 물질을 제거하는 교란으로서 작용하기도 한다 (Nilsson 1987). 강도가 강하고 빈도가 잦은 홍수에 의해 교란을 받는 하천에서는 개척자 식물이 주로 서식하게 된다. 댐의 건설로 인하여 흐름이 조절되면 홍수의 유량이 조절되면 사주에 유기물과 미사질 토양이 퇴적되고 사주가 안정화되면서 이러한 개척자 식물이 더욱 안정적이고 밀집하게 정착을 하게 된다 (Lenssen et al. 1998).

우리나라에서는 댐 건설과 하천 정비의 영향으로 홍수시 유량이 감소하였으며 이로 인해, 하천의 홍수터에 넓은 모래사주가 형성되어 있던 화이트리버에서 홍수터의 식생이 번무하는 그린리버로 변화하고 있다 (Woo et al. 2010). 하지만 최근에는 이러한 댐 건설과 하천정비 외에도 기후 변화에 의해서 홍수의 유량이 감소하고 있다. 지구 온난화로 인해 여름철 장마의 원인이 되는 오호츠크 고기압과 북태평양 고기압 중에서 장마전선을 한반도로 밀어 올리는 북태평양 고기압이 제대로 발달하지 못하여 장마에 장마전선이 형성은 되었지만 우리나라에 접근하지 못하거나 활동이 약하여 비가 적게 내리는 이른바 ‘마른장마’가 최근 몇 년간 지속되면서 댐이 건설되지 않은 비조절 하천에도 홍수의 유량이 감소하고 있다 (KMA 2016). 따라서 본 연구에서는 비조절하천인 청미천에서 홍수 유량의 감소와 사주의 식생 분포 변화를 확인하고, 홍수 유량 변화에 따른 식생 분포 및 식생 유형별 분포와 홍수 범람 빈도의 관계를 분석하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상지

본 연구의 대상하천인 청미천은 남한강의 지류하천으로 하상이 모래로 이루어진 모래하천이다. 청미천은 댐이

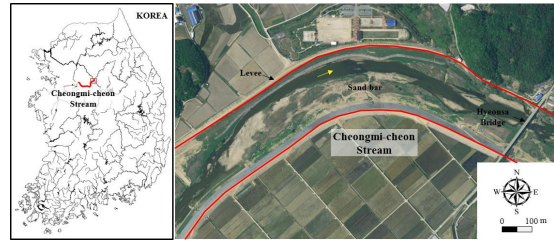


Fig. 1. Map showing the study sites in the Cheongmi-cheon Stream, Korea.

건설되지 않은 비조절하천으로 강우에 의해 하천수위가 변화하며 특히 여름철 집중강우시 수위 상승으로 인해 홍수터가 범람되는 특성을 갖는다. 조사대상지점은 경기도 여주시 점동면을 흐르는 청미천에 위치하며 현사교로부터 상류방향으로 길이 약 1 km의 시주이다 (Fig. 1). 시주는 하천수로에서부터 우안 제방 독마루까지 약 140 m 넓이이며 수로에서 제방까지 완만한 경사를 이루고 있다. 사주에는 2016년 현재 개방사주가 거의 없이 식생으로 뒤덮여 있다. 조사대상지 상류 약 6.5 km의 원부교에는 하천의 수위와 유량을 관측 및 기록하는 원부 수위관측소가 위치하고 있다.

### 2.2 자료 수집 및 분석

홍수 유량 변화에 따른 식생 분포 변화를 분석하기 위하여 2006년부터 2016년까지의 유량 및 식생분포 자료를 수집하였다. 유량자료는 국가수자원관리종합정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 청미천 원부 수위관측소의 2006년 1월부터 2016년 11월까지의 일별 유량 자료를 수집하여 연도별 최대 홍수유량의 변화 및 빈도별 홍수유량을 분석하였다. 1차원 수리모델인 HEC-RAS (USACE 2010)를 이용하여 원부 수위관측소에서 조사대상지점까지의 수위변화를 모의하였고, 2차원 수리모델인 River2D (Steffler and Blackburn 2002)를 이용하여 조사대상지점의 1, 3, 5, 7 및 10년 빈도의 홍수 유량에 대한 홍수 범람 범위를 산출하였다.

조사대상지점의 식생분포는 항공사진을 이용하여 사주 내에 분포하는 식생의 면적변화를 분석하였다. 항공사진은 국토지리정보원에서 제공하는 2006년과 2014년의 항공사진과 인터넷 포털사이트 다음 (<http://map.daum.net>)에서 제공하는 2008년, 2009년, 2011년, 2012년 및 2015년의 항공사진을 이용하였으며, 2016년의 식생분포는 드론 (Inspire Pro V1, DJI)을 이용하여 직접 촬영한 영상을 이용하였다. 항공사진을 이용하여 사주에 분포하는 식생의 범위를 연

도별로 비교하였다. 또한 현장에서 좌안 제방에서 우안 제방까지 하천을 가로지르는 transect를 설치한 후, 지형변화에 따른 식생 분포 특성을 조사하였다. 조사대상지점에 분포하는 식생을 우점 식생에 따라 1년생 습생식물 군집 (annual-hygrophytic community), 다년생 습생식물 군집 (perennial-hygrophytic community), 중건생식물 군집 (mesophytic community)로 분류하고 현장에서 군집 유형별 분포 범위를 항공사진 위에 표시하여 식생도를 작도하였다.

홍수 유량 변화에 따른 식생 분포 변화를 알아보기 위하여 홍수 유량 변화와 연도별 사주내 식생 분포의 변화를 비교하였다. 식생 유형별 분포와 빈도별 홍수위의 비교를 통해서 홍수 범람 주기에 따른 식생 분포 특성을 분석하였다.

### 3. 결과 및 논의

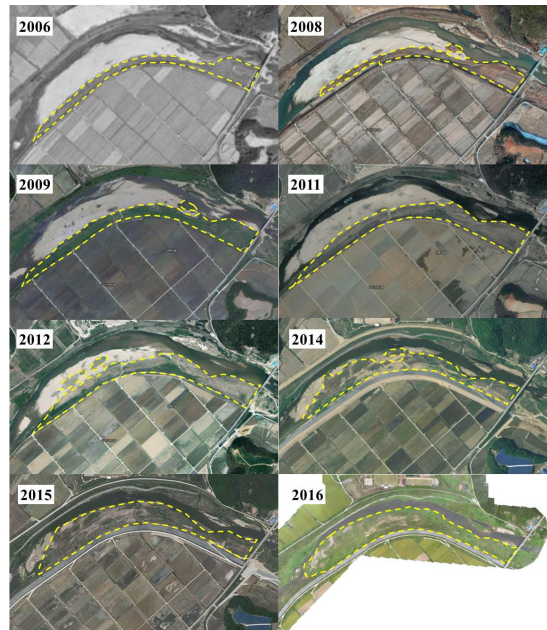
청미천의 원부 수위관측소에서 관측된 2006년부터 2016년까지의 홍수 유량은 지속적으로 감소하였다 (Fig.

2). 홍수 유량은 2006년 7월에 유량이 1,251 m<sup>3</sup>/s에 달하는 기록적인 홍수를 기록한 후 2013년까지 300-500 m<sup>3</sup>/s 범위의 홍수 유량을 유지하였다. 특히 2013년 이후에는 홍수 유량이 160 m<sup>3</sup>/s 이하로 감소하였다. 조사기간 내에서 청미천의 1, 3, 5, 7 및 10년 빈도 홍수량을 살펴보면, 10년 빈도 홍수량은 1,251 m<sup>3</sup>/s로서 1년 빈도 홍수량 78 m<sup>3</sup>/s의 16배에 달하였다 (Table 1).

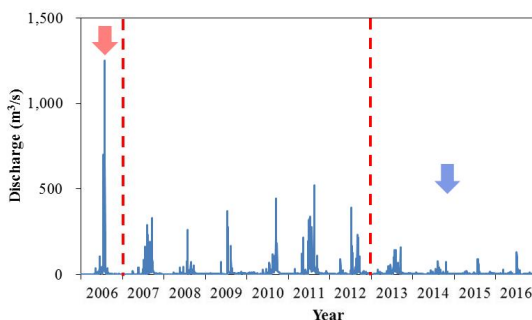
조사대상지점에서 항공사진을 이용하여 식생의 분포 범위의 변화를 분석한 결과, 사주 내 식생분포는 2006년부터 2016년까지 지속적으로 증가하고 있었다 (Fig. 3, Fig. 4). 2006년에 사주 내에 분포한 식생은 식생의 확장

**Table 1.** Discharge by flood frequency from 2006 to 2016 in the Cheongmi-cheon Stream.

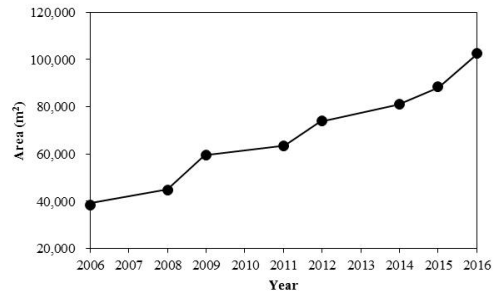
| Flood frequency (yr) | Discharge (m <sup>3</sup> /s) |
|----------------------|-------------------------------|
| 1                    | 78                            |
| 3                    | 160                           |
| 5                    | 330                           |
| 7                    | 389                           |
| 10                   | 1,251                         |



**Fig. 3.** Aerial photos showing the expansion of vegetation area of the sand bar in Cheongmi-cheon Stream from 2006 to 2016. The yellow dotted line indicates the boundary of the vegetated area.



**Fig. 2.** Changes of flood discharge at the Wonbu Gauging Station located 6.5 km upstream from the study site in the Cheongmi-cheon Stream from 2006 to 2016. The red arrow indicates the highest flood discharge and the blue arrow the lowest flood discharge. The red dotted line indicates the boundary of the three flood discharge pattern.



**Fig. 4.** Changes of vegetation area on the sand bar of the study site in Cheongmi-cheon Stream from 2006 to 2016.

특성과 2016년 현재 식생 분포를 검토하면 달뿌리풀 (*Phragmites japonica*)인 것으로 판단된다. 달뿌리풀은 기는 줄기에 의해 빠르게 세력을 확장하며, 홍수에 의해 떠 내려온 조각에 의해서도 쉽게 이입이 되는 생육 특성을 갖는다 (Asaeda and Rajapakse 2008). 2006년에는 사주의 하류 부분과 제방에 인접한 지역에만 좁은 면적으로 분포하였다. 2008년에는 제방에 인접하여 분포한 식생이 하천 수로 방향으로 분포를 확장하기 시작하였고, 사주 내에 조각 (patch) 형태로 식생이 유입된 것을 확인하였다. 2009년과 2011년 항공사진을 통해서 식생은 사주의 상류 및 하천 수로 방향으로 더욱 확장한 것을 볼 수 있었다. 특히 2011년에는 제방사면에 분포하던 식생이 조각 형태로 이입되었던 지역까지 분포 범위가 확장되었다. 2012년에

는 조각 형태의 식생이 개방사주에 새로이 출현하였지만 여전히 넓은 면적의 개방사주가 유지되었다. 2014년에는 기존의 식생과 조각 형태의 식생이 확장하여 사주의 약 80% 면적에 식생이 분포하였다. 2013년 이후 홍수 유량이 감소하면서 홍수에 의한 식생의 쓸림 교란이 감소하여 식생의 하천 수로 방향으로의 확장이 빨라지는 것으로 판단된다 (Benjankar et al. 2011). 이 시기에는 하천 정비사업으로 제방 증축 공사가 시행되어 제방사면에 분포하던 식생 약 20,000 m<sup>2</sup>이 제거되었고, 사주 내 식생이 공사차량에 의해 교란이 된 것을 항공사진을 통해 확인하였다. 이러한 교란에도 불구하고, 식생의 분포는 지속적으로 증가하여 2015년에는 사주의 상류 일부분을 제외한 모든 지역으로 식생이 확장하였고, 2016년에는 모든 사주에 식생이 분포하였다. Woo and Park (2016)은 봄철 강우양상 변화로 인한 비조절하천에서 홍수 저감으로 하안식생이 확장할 것이라는 가설을 설정하였는데, 본 연구의 결과가 이러한 가설을 지지하는 자료가 될 수 있다고 판단된다.

연구대상지점인 청미천의 사주에서 식생유형은 여뀌 (*Persicaria hydropiper*)와 돌피 (*Echinochloa crus-galli*) 등이 우점하는 1년생 습생식물 군집과 달뿌리풀 (*P. japonica*)이 넓게 분포하는 다년생 습생식물 군집, 그리고 망초 (*Erigeron annuus*), 소리쟁이 (*Rumex crispus*), 쑥 (*Artemisia princeps*) 및 환삼덩굴 (*Humulus japonicus*) 등 중건생식물이 우점하는 3가지 군집으로 분류되었다 (Fig. 5). 1년생 습생식물 군집은 강우에 의한 수위변동에 의해 1년 중에도 수시로 물에 잠기는 사주의 수변부에 위치하며, 홍수에 의해 식생이 쓸려나간 개방사주에 제일 먼저 유입되며, 봄부터 홍수전까지 혹은 홍수후부터 가을까지의 짧은 기간 동안에 꽃을 피우고 종자를 맺는 짧은 생활사를 갖는 특성을 갖는다 (Cho and Cho 2005). 다년생 습생식물 군집은 수변부에서 제방사면 전까지 사주의 넓은 지역에서 분포하여 주로 단일종이 넓게 우점하는 형태를 이루며, 사주에 유입이 되면 빠르게 세력을 확장하며 홍수에 의한 쓸림 교란에도 잘 버티는 특성을 갖는다. 중건생식물 군집은 주로 지대가 높은 사주부나 제방사면에 분포하며 다양한 식물종이 혼재하는 형태를 이룬다. 3종류의 식생유형과 청미천의 10년동안의 빈도별 홍수위를 비교한 결과, 1년생 습생식물 군집은 1년 빈도의 홍수위보다 낮은 지역에 위치하였다 (Fig. 6). 다년생 습생식물 군집은 1년부터 10년까지 모든 홍수빈도의 홍수위 범위에서 분포하였고, 중건생식물 군집은 7년 이상 홍수빈도의 홍수위 범위에서만 분포하였다. 1년생 습생식물

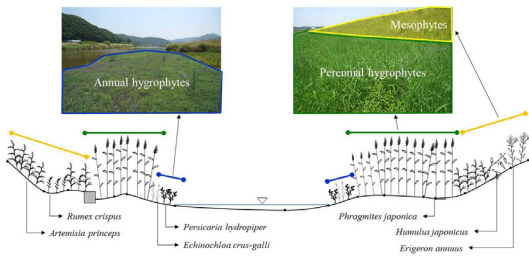


Fig. 5. Diagram and photographs showing the vegetation change along a transection across the study site of the Cheongmi-cheon Stream.

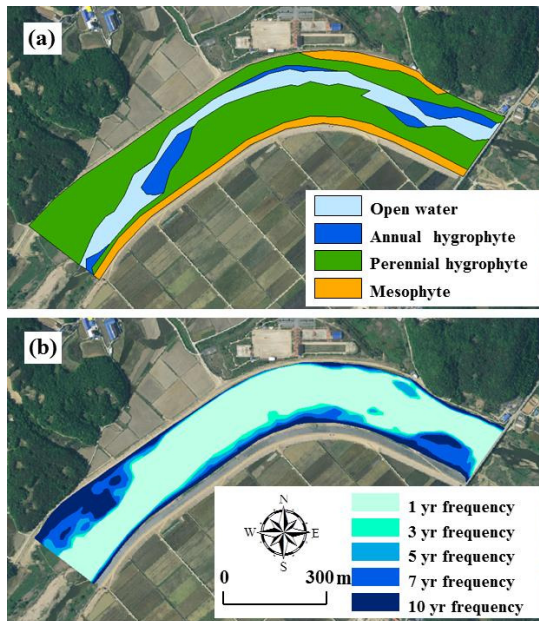


Fig. 6. Vegetation map (a) in 2016 and inundation area (b) by flood frequency from 2006 to 2016 at the study site of the Cheongmi-cheon Stream.

군집은 사주 내에서 1년 중 수시로 범람하는 습한 지역에 만 분포하여 토양수분 함량에 의해 분포가 제한되었다. 다년생 습생식물 군집은 1년 중 수시로 범람이 일어나는 사주의 수변부에서부터 10년 빈도의 홍수가 발생해야 범람이 일어나는 일부 제방사면까지 분포하여 다양한 토양수분 환경에서 서식이 가능하고 단일종에 의한 넓은 분포를 보여 경쟁에 강한 특성을 갖고 있었다. 중건생식물 군집은 범람이 거의 일어나지 않는 건조한 토양수분 환경과 콘크리트 블록 및 돌망태 등 토양이 적은 척박한 환경에서 주로 분포하였다.

#### 4. 결론

청미천 사주에 분포하는 식생의 분포는 홍수와 밀접하게 연관되어 있었다. 청미천에서 홍수 유량은 기후변화 및 하천 정비에 영향으로 2006년부터 점차 감소하였다. 비조절하천인 청미천에서 홍수 유량의 감소는 사주에 식생의 유입과 정착을 유도하였다. 따라서 연구대상지점인 청미천 현사교에서부터 상류방향으로 약 1 km 길이의 모래사주는 2006년에 식생이 거의 없었던 (사주 면적의 약 33%) 개방사주에서 2016년에는 식생이 밀집한 (사주 면적의 약 99%) 사주로 변화하였다. 사주의 식생은 우점 식생에 따라서 1년생 습생식물 군집, 다년생 습생식물 군집 및 중건생식물 군집으로 분류되었으며 각 식생 유형은 여름철 홍수 범람 수위에 따라서 분포 범위가 결정되었다. 본 연구결과에 의하면 식생의 분포는 수리수문 및 지형적 환경 요인에 직접적인 영향을 받으며 변화하였으며, 이러한 환경요인과 식생 분포와의 관계를 이해한다면, 환경 변화에 따른 식생 분포의 변화를 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

#### References

- Asaeda, T. and Rajapakse, L. 2008. Effects of spates of different magnitudes on a *Phragmites japonica* population on a sandbar of a frequently disturbed river. *River Research and Applications* 24: 1310-1324.
- Benjankar, R., Egger, G., Jorde, K., Goodwin, P. and Glenn, N.F. 2011. Dynamic floodplain vegetation model development for the Kootenai River, USA. *Journal of Environmental Management* 92: 3058-3070.
- Cho, H.J. and Cho, K.H. 2005. Responses of riparian vegetation to flooding disturbance in a sand stream. *KSCE Journal of Civil Engineering* 9: 49-53.
- KMA. 2016. <http://www.kma.go.kr>. Korea Meteorological Administration. Assessed by 8 December 2016.
- Lenssen, J.P.M., Ten, D.G.E. and Blom, C.W.P.M. 1998. The effect of flooding in the recruitment of reed marsh and tall forb plant species. *Plant Ecology* 139: 13-23.
- Nakamura, F. 1999. Influence of dam structures on dynamics of riparian forests. *Ecology and Civil Engineering* 2: 125-139. (in Japanese)
- Nilsson, C. 1987. Distribution of stream-edge vegetation along a gradient of current. *Journal of Ecology* 75: 513-522.
- Steffler, P. and Blackburn, J. 2002. River2D: Two Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat. Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual. University of Alberta, Edmonton, Canada. <http://bertram.civil.ualberta.ca/download.htm>.
- USACE. 2010. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 4.1. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, David, CA, USA.
- Woo, H. and Park, M. 2016. Cause-based categorization of the riparian vegetative recruitment and corresponding research direction. *Ecology and Resilient Infrastructure* 3: 207-211.
- Woo, H., Park, M.H., Cho, K.H., Cho, H. and Chung, S. 2010. Recruitment and succession of riparian vegetation in alluvial river regulated by upstream dams – focused on the Nakdong River downstream Andong and Imha dams. *Journal of Korea Water Resources Association* 43: 455-469. (in Korean)