

강우 발생 패턴변화와 하천 수위 변화가 하천식생 발생에 미치는 영향

Riparian Vegetation Expansion Due to the Change of Rainfall Pattern and Water Level in the River

김원^{1*} · 김시내²

¹한국건설기술연구원 국토보전연구본부 선임연구위원, ²(주)이산 수자원부 차장

Won Kim^{1*} and Sinae Kim²

¹Ph.D., Senior Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

²Ph.D., Deputy General Manager, Department of Water Resources, Isan Corporation, Anyang 14066, Korea

Received 19 November 2020, revised 15 December 2020, accepted 15 December 2020, published online 31 December 2020

ABSTRACT: This study aims to examine the causes of the rapid expansion of riparian vegetation in river channels in recent years. Accordingly, the changes in the monthly rainfall were analyzed at 19 locations over the period of 1984 to 2018. Moreover, the changes in the water levels of the target river sections of Seom River, Cheongmi River, and Naeseong River were analyzed. The results showed that rainfall increased by 30% in April and decreased by up to 49% in the May-September period since 2012. Between 2012 and 2018, when rainfall decreased, the inundation time of the floodplains of the target rivers decreased considerably. The floodplains of Seom River and Cheongmi River were not inundated since 2012 and 2013, respectively. In the case of Naeseong River, the inundation time of the low-water channel drastically decreased since 2013, and there was no inundation in 2015. Consequently, riparian vegetation settled rapidly on the floodplain without any disturbance and continued to expand. The settling and expansion of riparian vegetation reduce the flood capacity of the river channel and can also lead to the loss of the water ecosystem due to terrestrialization.

KEYWORDS: Climate changes, Monthly rainfall decrease, Riparian vegetation increase, Water level decrease

요 약: 본 연구의 목적은 최근 급격하게 증가하고 있는 하천내 식생의 발생원인을 분석하는 것이다. 이를 위해 1984년에서 2018년까지 35년 동안 19개 지점의 월강우량 변화를 분석하였고, 섬강, 청미천, 내성천 식생 발생 단면에서의 수위변화를 분석하였다. 그 결과 2012년 이후 4월 강우량은 30% 증가하였고, 5월에서 9월까지의 강우량은 최대 49% 감소한 것으로 나타났다. 강우량이 감소한 2012년에서 2018년 사이에 섬강, 청미천, 내성천에서 하천 전단면이 침수되는 시간이 급격하게 줄어들었는데 섬강은 2012년, 청미천은 2013년 이후 고수부지가 한 번도 물에 잠기지 않았다. 내성천에서도 2013년 이후 저수로 전체가 침수되는 시간이 급격하게 줄어들었고 2015년에는 한 번도 잠기지 않은 것으로 나타났다. 이와 같은 영향으로 침수가 되지 않은 부분에서 식생이 급격하게 발생하였고 시간 경과에 따라 정착한 것으로 판단된다. 하천 식생의 확대와 정착은 하천 통수능의 감소 뿐만 아니라 육역화로 인한 수상 생태계 상실로 이어질 수 있기 때문에 이에 대한 대책의 수립이 필요하다.

핵심어: 기후변화, 월강우량 감소, 하천식생 증가, 하천수위감소

*Corresponding author: wonkim@kict.re.kr, ORCID 0000-0002-8824-5381

© 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

최근들어 우리나라 하천에서 식생이 크게 증가하고 있다. 하천의 위치나 규모에 관계없이 전국적으로 식생의 면적이 늘어나고 있다. 소하천의 경우 하천의 전체 면적을 식생이 차지하고 있는 경우가 많고 중소하천이나 대하천에서도 물이 자주 흐르지 않는 고수부지를 중심으로 식생이 폭넓게 분포하는 경우가 많다. 도시공원 등으로 활용되는 도심하천을 제외하고 산지나 농경지의 하천에서도 식생은 많은 면적을 차지하고 있다. 하천이 위치하고 있는 유역이나 위도 등에도 관계없이 전국적으로 나타나고 있는 현상으로 볼 수 있다 (KICT 2015). 이와 같은 하천내 식생은 일부 자연스럽게 보일 수 있는 면이 있으나 과도하게 많은 식생은 원래의 하천 모습을 저해한다. 식생이 과도하게 하천을 차지할 경우 육역화로 이어져 하천으로서의 기능을 하지 못하게 될 수 있다. 더불어 물이 흐를 수 있는 공간이 좁아지는 부작용과 함께 홍수시 통수능을 확보하지 못해 홍수피해를 유발하는 요인으로 작용할 수도 있다. Woo (2009)는 하천이 모래, 자갈 등으로 형성된 ‘하얀’ 하천에서 식생이 번무한 ‘푸른’ 하천으로 변화하는 현상을 ‘화이트’ 리버의 ‘그린’ 리버화라고 지적한 바 있다.

국외의 경우 하천내 식생 발생 연구는 오래 전에 시작되었다. Williams (1978)는 모래하천에 댐 건설로 인해 홍수가 조절되면 하류 하천의 하폭이 줄어들고 식생이 늘어난다고 분석한 바 있다. Williams and Wolman (1984)은 미국 전역에 대한 연구를 통해 댐에 의한 토사 공급 감소와 지하수위 저하가 식생 성장에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 분석하였다. Gurnell (2014)은 하천내 식생은 기후특성과 수문 및 하천 관련 제한조건에 의해서 발생하며, 식생이 하천지형을 변화시키는 것으로 판단하였다.

국내의 경우 Woo et al. (2002)은 합천댐 하류 황간 구간을 조사하여 댐에 의한 홍수 소멸을 식생이입의 원인으로 분석한 바 있다. Choi et al. (2004, 2005)은 댐 건설로 인한 식생 이입 가속화 현상을 조사하여 분석하였다. Park et al. (2008)은 전국을 대상으로 항공사진을 분석하였는데 댐 건설로 인해 사주면적이 약 50% 정도 감소하였고, 식생은 두 배 이상 증가된 것으로 나타났다. Kong et al. (2016)은 하천의 골재채취로 인해 식생이입이 가속화되는 현상을 확인하였다. Woo and Park

(2016)은 하천내 식생 이입의 원인을 댐에 의한 봄철 홍수 억제, 강우 양상 변화, 댐에 의한 여름철 홍수 저감, 하도의 인위적 교란, 하천의 영양물질 유입 증가 등으로 제시하였다. Woo et al. (2019)는 하천내 식생 발생에 대한 관련 연구동향을 분석하여 식생발생 원인과 향후 연구방향을 제시한 바 있다. Lee et al. (2019)는 하천의 식생 이입이 식생 발아기인 늦봄에서 초여름 사이의 강우 감소로 인해 가속화되는 것을 확인한 바 있다. Kim and Kim (2019)은 중소하천의 식생면적을 분석하여 섬강, 청미천, 내성천의 경우 조사대상 면적의 약 50% 이상이 식생임을 밝힌 바 있다. 또한 2010년 이후 급격하게 식생면적이 증가하여 내성천의 경우 2011년 대비 2017년의 식생면적이 17배 증가한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 우리나라 중소하천의 식생 증가 원인을 분석하였다. 급격하게 식생이 증가하는 원인을 규명하기 위해 전국적으로 월강우량의 연도별 변화를 분석하였고 하천 단면내에서 수위의 변화를 분석하여 하천내 수위 변화와 식생 발생과의 관계를 분석하였다. 강우량의 변화가 하천 수위의 변화로 나타나고 하천 수위의 변화가 식생의 변화로 나타나는 연결고리를 분석하여 식생 발생의 원인을 규명하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 하천내 식생의 증가 현황

우리나라에서 하천내 식생 현황에 대한 조사는 많지 않다. 최근 연구결과 (KICT 2015)에 의하면 우리나라 국가하천의 약 34%가 식생에 의해 잠식된 것으로 나타났다. Kim and Kim (2019)이 분석한 결과를 살펴보면 섬강 54.7% (2016), 청미천 77.5% (2016), 내성천 49.7% (2017)를 식생이 차지하고 있는 것으로 나타났다. 청미천의 경우 거의 대부분의 하천을 식생이 차지하고 있다. 2010년대 이후 식생의 증가속도는 매우 빠른 것으로 나타났다는데 초본식생의 면적이 섬강 1.7배 (2010 - 2016), 청미천 2.0배 (2010 - 2016) 증가하였으며 내성천의 경우 16.5배 (2011 - 2017) 증가한 것으로 나타났다. 본 논문에서는 3개 하천에서의 식생 증가 현황 분석 결과 (Kim and Kim 2019)를 바탕으로 이 지역의 강우와 식생 증가 지점에서의 수위변화를 분석하여 식생증가와 강우 및 수위변화의 연관성을 분석하였다.

매우 빠른 속도로 식생면적이 증가하고 있고 최근 들어서는 식생이 전체 면적의 반 이상을 차지하고 있다는

것은 하천관리의 입장에서 매우 중요하다. 식생면적의 증가는 하천 수면적과 사주면적의 감소로 나타나고 하천의 원래 기능을 상실하게 하는 주요인자이기 때문이다.

3. 월강우량의 연도별 변화와 식생 발생의 연관성

과거에 발생하지 않았던 하천 식생의 급격한 증가에 대한 원인은 여러 가지가 고려되고 있다. 댐으로 인한 유황변화, 산림 증가로 인한 유사 유출 감소, 영양물질 증가, 강우 패턴 변화 등이 주요 원인으로 고려되고 있으나 직접적인 원인으로 단정하기는 어려운 상황이다. 국내 식생 발생은 특정 지역에 한정되지 않고 하천 규모나 위치에 관계없이 전국적으로 발생하고 있는 특징이 있다. 지역적으로 한정되는 특정원인에 의한 식생발생 이라기 보다는 보다 보편적인 원인에 의해 발생할 가능성이 있다. 이와 같은 차원에서 전국적인 강우량 변화가 식생에 미치는 영향이 클 것으로 추정할 수 있다. Lee et al. (2019)는 하천의 식생 이입이 식생 발아기인 늦봄에서 초여름 사이의 강우 감소로 인한 것으로 분석한 바 있다. 강우 발생 패턴의 변화가 지역적 차이없이 전국적으로 발생하는 식생의 주요 원인중 하나라고 볼 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 전국 19개 지점의 월강우량 변화를 분석하여 강우량의 변화가 식생 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 월강우량의 변화는 강우 사상과는 다른 형태로 나타날 수 있고, 직접적인 식생의 발생은 강우사상에 의해 더 큰 영향을 받을 수 있을 것으로 보이지만 월강우량의 변화가 뚜렷하게 나타날 경우 식생 발생과 연관성이 높을 것으로 판단되어 본 연구에서는 월강우량을 분석하였다. Table 1은 본 연구에서 사용된 지역별 기상청 강우관측소이다. 강우 발생의 일반적인 특성을 지니고 있으면서도 지역을 대표할 수 강우관측소를 선택하였다.

Fig. 1은 월강우량 변화 결과를 나타낸다. 전국 19개 지점의 월강우량을 지역별로 평균하고 2012년을 기준으로 1984년에서 2011년까지 28년간 월강우량과 2012년에서 2018년까지 7년간 월강우량을 비교 분석하였다. 1984년부터 2018년까지 35년간의 강우량 중 2012년을 기준으로 이전과 이후로 구분하여 월강우량을 비교한 것은 섬강, 청미천, 내성천 등의 식생변화가 본격적으로 발생하기 시작한 시점을 2012년으로 가정하였기 때문이다. 중소하천 식생 변화분석 결과 2011년까지 큰 변화가 없던 식생이 그 이후 급격하게 증가하였기 때문에 기준이 되는 연도를 2012년으로 결정하였다.

분석 결과 가장 분명하게 나타나는 것은 전국적으로 5월에서 9월까지의 강우량이 크게 감소하였다는 것이다. 서울 경기 지역의 경우 8월 강우량이 118.9 mm (37%) 감소하였고, 강원 지역의 경우 101.6 mm (33%) 감소하였다. 나머지 지역인 대구 경상, 대전 충청, 광주 전라 지역의 경우 6월 강우량이 각각 94.0 mm (54%), 81.0 mm (50%), 83.5 mm (47%) 감소하였다. 전국 평균의 경우 6월 강우량이 79.0 mm (49%) 감소한 것으로 나타났다. 반면 전국적으로 4월, 10월, 11월, 12월 강수량이 증가한 것으로 분석되었다. 특히 10월과 12월의 강수량이 각각 61%, 58% 증가한 것으로 분석되었고 4월도 30% 증가하였다. 1월의 강수량은 32% 감소한 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 식생발생과 연관시켜 보면 Lee et al. (2019)이 분석한 결과와 동일하게 식생 발아기인 늦봄에서 초여름 사이의 강우 감소가 식생의 발달을 촉진시킨 것으로 판단된다. 특히 4월의 강수량 증가가 식생 발아에 충분한 수분을 공급한 이후 5월에서 9월까지 강우가 감소하여 식생이 흐름이나 유사에 의해 유실될 기회가 없어지므로 인해 식생이 발생하고 성장하기에 좋은 조건이 형성된 것으로 판단된다. 특히 5월과 6월에 전국적으로 각각 25%, 49%의 강우가 감소한 것으로

Table 1. Rainfall stations of KMA (Korea Meteorological Administration) used in this study. Numerals in parenthesis are the number of stations

Region (City or Province)	Rainfall stations (19)
Seoul and Gyunggi	Seoul, Incheon, Suwon, Icheon (4)
Gangwon	Wonju, Chuncheon, Hongcheon (3)
Daegu and Gyungsang	Daegu, Miryang, Yeongju (3)
Daejeon and Chungcheong	Daejeon, Chungju, Seosan, Cheonan, Chungju (5)
Gwangju and Julla	Gwangju, Gunsan, Jeonju, Mokpo (4)

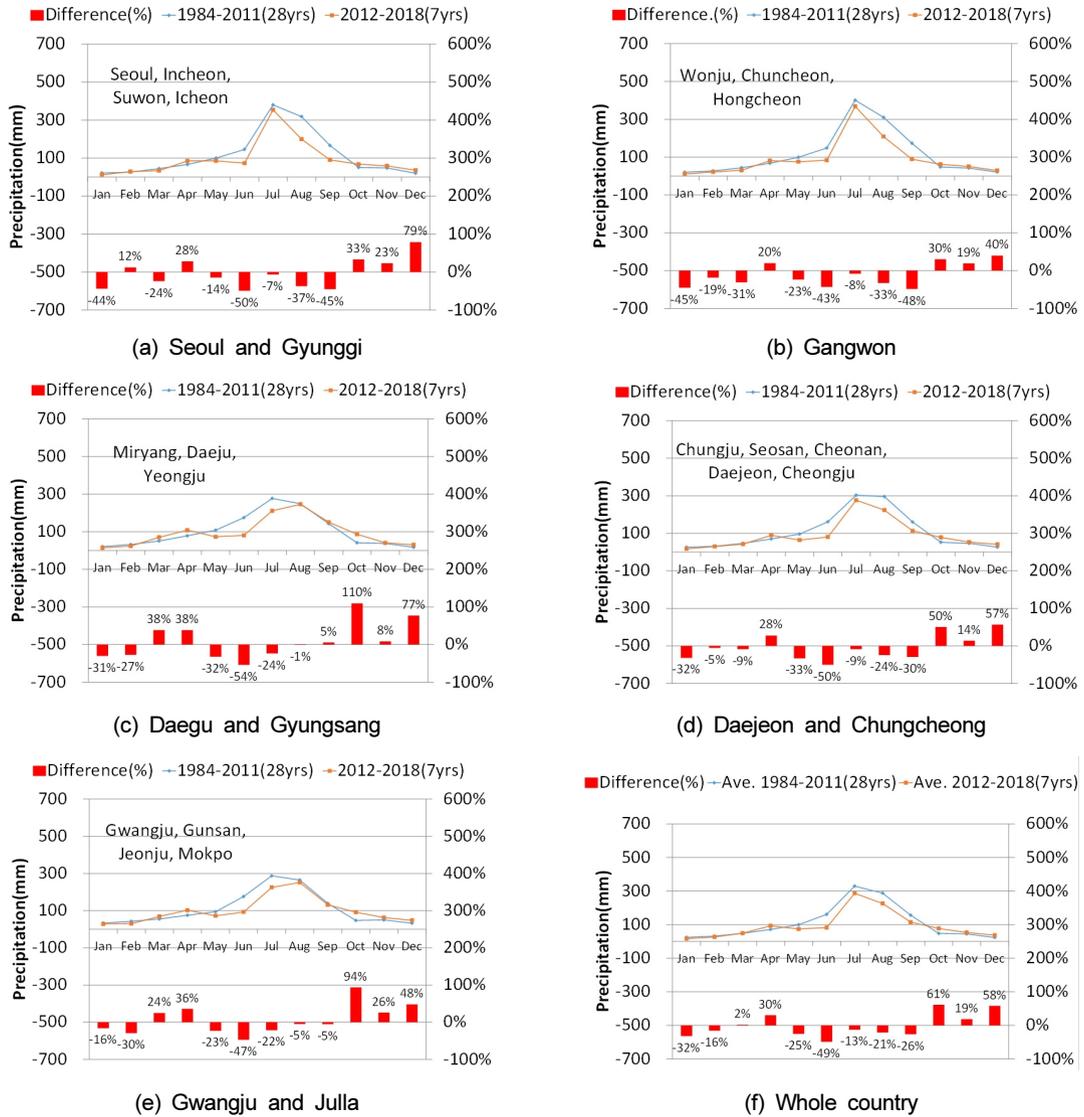


Fig. 1. Variation ratio (%) of monthly rainfall for the last 28 years vs. 7 years.

나타나 버드나무 등 우리나라 하천에 주로 발생하는 식생이 발아하고 성장하기에 좋은 조건을 형성한 것으로 보인다. 발아 초기 흐름이나 유사이동에 의해 쓸려가거나 매몰될 수 있는 기회가 줄어들기 때문에 식생 확장에 강우 감소가 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 댐 건설 이후 발생하는 유황의 변화와 유사하다. 댐 건설 이후 작은 규모의 홍수가 줄어들고 일정한 흐름이 유지되므로 인해 일정 수위 이상에서 식생이 대규모로 발생하는 것은 기존 여러 연구에서 증명된 바 있다(Park et al. 2008, Woo and Park 2016). 강우 발생 패턴 변화에 의한 유황의 변화가 댐으로 인해 발생

하는 유황의 변화와 유사한 역할을 하는 것이라고 볼 수 있다.

4. 하도 단면내 수위변화와 식생 발생의 연관성

월강우량 감소와 식생 발생 증가의 연관성을 설명하기 위해서는 강우량 감소가 식생 발생에 미치는 직접적인 요인이 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 강우 감소가 발생한 기간 동안 하천 단면내에서 발생한 수위 변화를 분석하였다. 하천내 식생이 발생할 수 있는 가

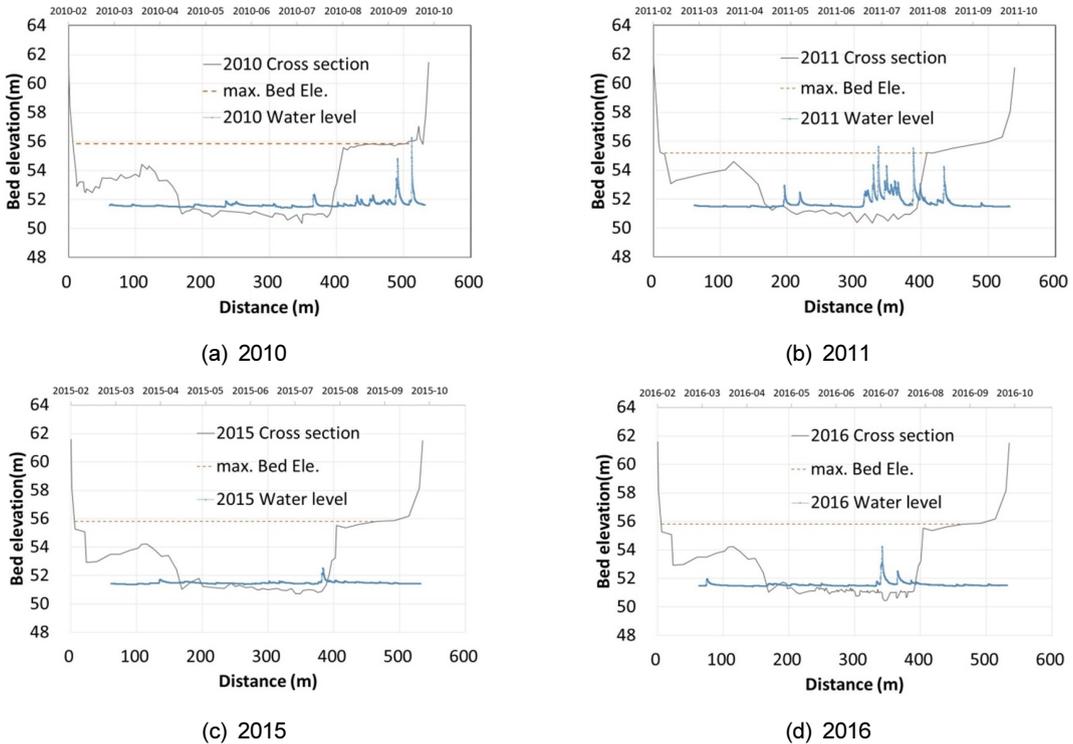


Fig. 2. Water level variation in cross section at Munmakgyo.

장기본적인 조건은 식생이 발생하고 물에 쓸려가지 않는 것이기 때문에 수위 변화 분석을 통해 식생 발생 가능성을 분석할 수 있다. 즉 단면내 특정 부분이 물에 잠기지 않는 기간이 늘어날수록 식생이 발생할 가능성이 높아지는 것이다. 반대로 물에 잠겨 있거나 자주 잠길 경우 식생이 발생하거나 성장할 수 있는 조건이 형성되지 않는다. 이와 같은 현상을 증명하기 위해 본 연구에서는 섬강, 청미천, 내성천의 식생 조사 지역 내의 한 단면을 선택하여 그 단면 내에서의 수위변화를 분석하였다. 이 분석을 수행하기 위해서는 매년 단면측량이 이루어져야 하고 수위가 실시간으로 측정되어야 하는 조건이 있다. 이 조건을 만족하는 지점으로 매년 유량측정이 이루어지고 있는 섬강의 문막교, 청미천의 원부교, 내성천의 향석 지점을 선정하였다.

4.1 섬강 문막교 지점

섬강 문막교 구간에서는 대상 구간내 유량 측정 지점을 분석하였다. 이 구간에서는 2010년에서 2016년 사이에 초본 식생의 면적이 1.7배 증가하였다. 또한 이 구간이 속해 있는 강원지역에서는 5월에서 9월 사이 월강

우량이 최소 8%에서 최대 48% 감소하였다 (Kim and Kim 2019).

Fig. 2는 문막교 지점의 단면과 매년 시수위의 변화를 나타내고 있다. 그림에는 식생이 발생할 수 있는 기준수위가 점선으로 표시되어 있다. 이 선은 식생이 하도 내에 발생하는 기준이라고 할 수 있으며 하천수위가 이 선을 넘을 경우 식생이 발생하지 않을 가능성이 높고 넘지 않을 경우 식생이 발생할 가능성이 높은 것을 의미한다. 이 선은 하도단면의 변화에 따라 매년 변화하며 고수부지 아래 저수로에서 가장 높은 지점으로 선택하였다. 본 논문에서는 이 선을 식생 발생 기준 높이라고 명명하였다. 또한 해당 연도의 시수위를 나타내고 있는데 단면 내에서의 시간별 수위 변화를 보여주는 것이다.

Fig. 3은 연도별 수위와 식생 발생 기준 높이를 나타내고 있으며 매년 4월과 9월 사이 기준 높이를 초과한 시간을 나타내고 있다. 선은 해당 연도의 시수위 변화이며 시수위와 함께 표시된 직선은 해당연도의 식생 발생 기준 높이를 의미한다. 또한 막대 그래프는 해당 연도의 기준 높이 초과 시간을 의미한다. 그림에서 보는 바와 같이 2009년에서 2011년 사이에는 수위가 기준

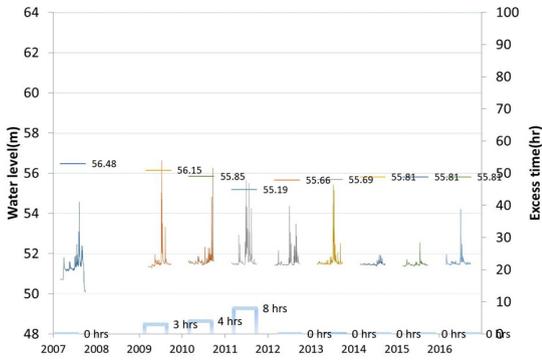


Fig. 3. Water level excess time in every year at Munmakgyo.

높이를 초과하였으나 2012년 이후에는 한 번도 초과하지 않는다. 수위가 기준 높이를 한 번도 초과하지 않았다고 하는 것은 기준 높이보다 높은 지역은 식생이 발생하였다는 것을 의미한다. 한 번도 물에 잠기지 않은 곳은 식생이 발생할 수 밖에 없기 때문이다. 이 지점의 경우 기준 높이를 초과한 시간도 최대 8시간에 불과하여 식생이 발생할 수 있는 충분한 조건이 이루어진 것으로 판단된다. 결론적으로 섬강 문막교 지점의 경우 우안 고수부지에는 2012년 이후 물이 한 번도 흐르지 않았고

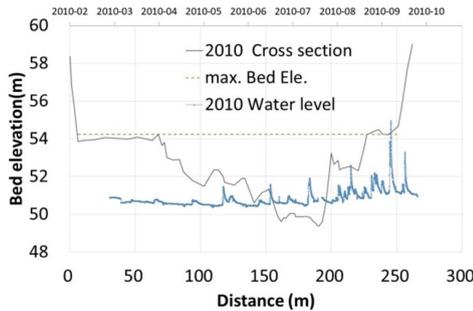
이로 인해 식생이 발생하여 확장할 수 있었던 것으로 보인다.

4.2 청미천 원부교 지점

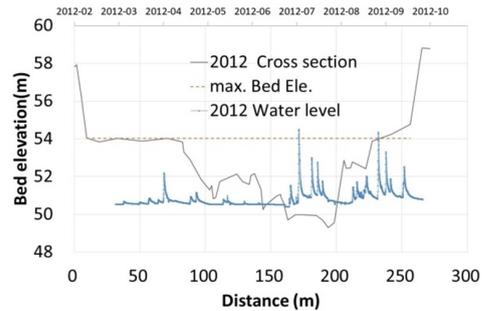
청미천 원부교 구간에서도 매년 유량 측정이 이루어지는 지점을 분석하였다. 이 구간에서는 2010년에서 2016년 사이에 초본 식생의 면적이 2.0배 증가하였다. 또한 이 구간이 속해 있는 경기지역에서는 5월에서 9월 사이 월강우량이 최소 7%에서 최대 50% 감소하였다 (Kim and Kim 2019).

Fig. 4는 원부교 지점의 단면과 매년 시수위의 변화를 나타내고 있다. 이 지점에서는 식생 발생 기준 높이를 좌안 고수부지에서 제일 높은 지점으로 선정하였다. 좌안 고수부지가 넓게 형성되어 있어 식생이 발생할 수 있기 때문이다. 이 지점에서 매년 측량 때마다 식생 발생 기준 높이는 조금씩 변화한다. 그림에서 보는 바와 같이 2010년과 2012년에는 수위가 기준 높이를 초과한 경우가 있으나 2015년과 2016년에는 한 번도 발생하지 않은 것을 알 수 있다.

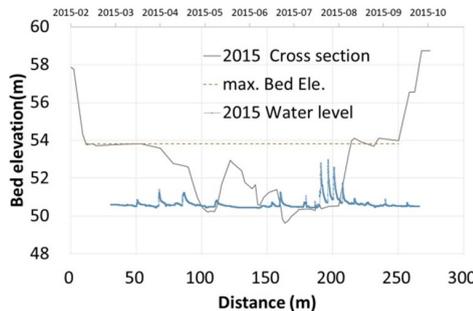
Fig. 5는 원부교 지점의 기준 높이 초과시간을 연도별로 나타낸 것이다. 2010년 8시간, 2012년 12시간의 초



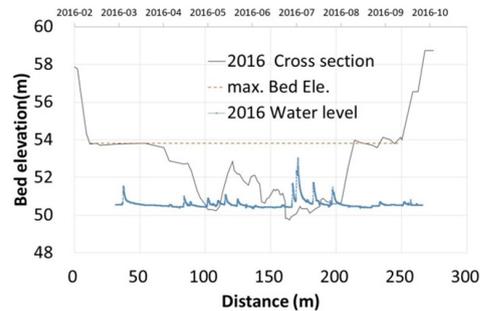
(a) 2010



(b) 2012



(c) 2015



(d) 2016

Fig. 4. Water level variation in cross section at Wonbugyo.

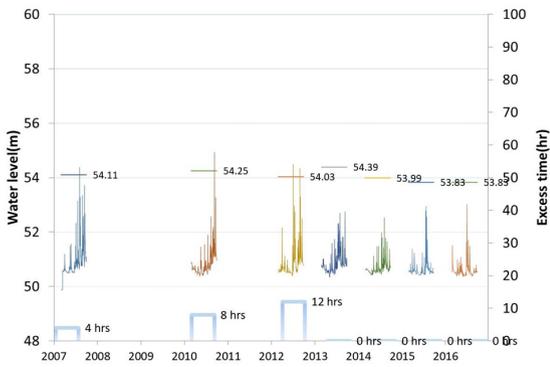


Fig. 5. Water level excess time in every year at Wonbugyo.

과시간이 발생하였으나 그 이후 2016년까지 초과시간이 없는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 원부교 좌안의 경우 몇 년에 걸쳐 물이 한 번도 넘치지 않음으로 인해 고수부지에 많은 식생이 발생할 수 있었던 것으로 보인다.

4.3 내성천 향석 지점

내성천 향석 구간의 유량 측정 지점을 분석하였다. 이 구간에서는 2011년에서 2017년 사이에 초본 식생의 면적이 16.5배 증가하였다. 또한 이 구간이 속해 있

는 경상지역에서는 5월에서 8월 사이 월강우량이 최소 1%에서 최대 54% 감소하였다 (Kim and Kim 2019).

Fig. 6은 향석 지점의 단면과 매년 시수위의 변화를 나타내고 있다. 이 지점에서는 식생 발생 기준 높이를 저수로에서 가장 높은 지점으로 선정하였다. 문막이나 원부교 지점과는 달리 고수부지가 없는 단면으로 대부분이 저수로로 형성되어 있기 때문에 저수로 전체에 물이 차는 것을 기준으로 기준 높이를 설정한 것이다. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 2011년과 2012년에는 저수로 전체를 물이 차는 경우가 많았으나 2015년과 2016년에는 상당히 줄어든 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 연도별 기준 높이 초과시간을 표시한 것이다. 2010년 336시간, 2011년 656시간, 2012년 1202시간이던 초과시간이 2013년부터 급격하게 줄어들어 2015년에는 0시간, 2014년에는 294시간인 것으로 나타났다. 이와 같이 저수로 전부분을 물이 덮는 경우가 줄어들어 따라 저수로 내에서 식생이 발생할 가능성이 높아진 것으로 볼 수 있다. 2011년에서 2017년 사이 식생면적이 16.5배 증가한 것과 2013에서 2017년 사이 초과시간이 이전에 비해 크게 줄어든 것은 상당한 연관성이 있다고 판단된다.

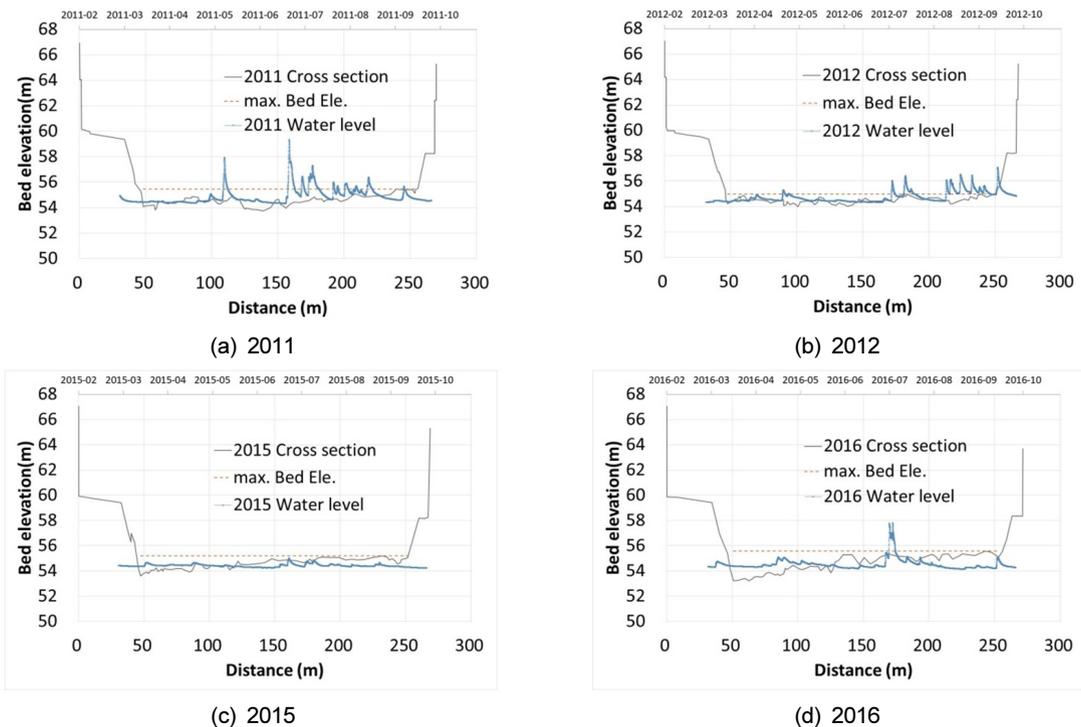


Fig. 6. Water level variation in cross section at Hyangseok.

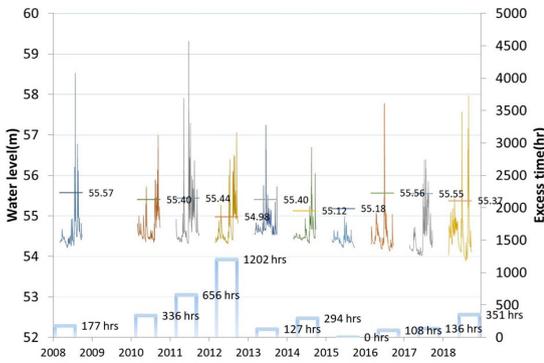


Fig. 7. Water level excess time in every year at Hyangseok.

5. 고찰

본 논문에서의 기본가정은 홍수기라고 할 수 있는 늦봄에서 여름 사이 강우량이 줄어들었고 이로 인해 하천의 수위가 하천 전단면을 넘치는 시간이 줄어들어 식생이 발생한다는 것이다.

본 논문에서 전국 19개 지점의 월강우량을 1984년 - 2011년 (28년), 2012년 - 2018년 (7년)으로 구분하여 비교 분석한 결과 최근 기간에 4월의 강우량은 30% 증가하였고 5월에서 9월까지 강우량은 최대 49% 감소한 것으로 나타났다. 강우량이 감소한 2012년에서 2018년 사이에 섬강, 청미천, 내성천에서 하천 전단면이 침수되는 시간이 급격하게 줄어들었는데 섬강은 2012년, 청미천은 2013년 이후 고수부지가 한 번도 물에 잠기지 않았다. 내성천에서도 2013년 이후 저수로 전체가 침수되는 시간이 급격하게 줄어들었고 2015년에는 한 번도 잠기지 않을 것으로 나타났다. 유사한 기간 동안 섬강은 1.7배 (2010 - 2016), 청미천은 2.0배 (2010 - 2016), 내성천의 경우 16.5배 (2011 - 2017) 식생이 증가한 것으로 분석되었다. 이 결과에 의하면 강우량의 감소, 하천 단면이 물에 잠기는 시간의 감소, 식생의 증가 사이에 연관성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

또한 식생 측면에서 4월의 강우량 증가는 충분한 수분을 공급하여 식생이 발아할 수 있는 조건을 만들고 5월 이후 침수 시간 감소는 식생이 활착하고 성장할 수 있는 조건을 만들었다고 볼 수 있다. 하천에서 가장 흔하게 발생하는 버드나무의 경우 4월 중순에서 5월 중순에 종자의 산포가 절정에 달한다는 점, 산포시 적절한 수분이 있어야 한다는 점, 유묘가 완전히 정착할 때 까

지 침수가 계속되거나 극심한 범람이 없어야 하는 점 등 (Lee 2002)을 고려하면 강우량 및 하천 수위의 변화와 식생 발생간의 상관관계를 확인할 수 있다. 또한 홍수 횡수가 늘어날수록 식생면적이 줄어드는 일반적인 경향과도 일치하고 있다 (Riis and Biggs 2003). 하천내의 잦은 침수는 식생의 발생과 성장을 억제한다는 일반적인 특성과도 일치하고 있다 (Miller et al. 2013).

하천내 식생발생 원인 규명 차원에서 중요하게 고려할 수 있는 것이 식생 발생시기이다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 하천에서 식생이 급격하게 증가한 것은 2010년 이후이다. 식생 과다 발생원인으로 고려되고 있는 댐 건설, 산림 증가, 영양물질 증가 등은 시기적 특성이 있다. 댐 건설은 특정 하천에서 댐 건설 전후의 변화에 한정되고, 산림증가나 영양물질 증가는 전국적인 현상이기는 하지만 특정 시기의 변화라기보다는 과거 수십 년간의 점진적 변화에 해당된다. 2010년 이후 전국적으로 발생하고 있는 식생의 변화를 이와 같은 원인으로 설명하기는 어려운 면이 있다. 즉 2010년 이후 발생하고 있는 식생은 일반적인 원인으로 설명하기 어렵다. 이와 같은 측면에서 본 연구에서 분석한 2010년 이후의 강우발생 패턴 변화 및 이에 따른 하천 수위변화는 식생발생의 직접적인 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

일본의 경우에도 최근 하천내에서 식생이 과도하게 발생하고 있고 원인 규명을 위한 연구가 진행되고 있다 (Asaeda and Sanjaya 2017). 본 논문에서는 일본에서도 우리나라와 유사한 경향이 있는지를 확인하기 위해 일본 중부지방 6개 지점 (Ibi, Kiso, Nagara, Tenryu, Toyo, Yahagi)의 월강우량을 분석하였다. Fig. 8은 1984년에서 2011년, 2012년에서 2018년의 6개 지점 평균 월강우량 변화를 나타낸 것으로 4월 강우량이 최대 34.0 mm (22%) 증가한 반면 5월과 6월 강우량은 각각 67.8 mm (34%), 69.8 mm (28%) 감소하였다. 우리나라의 경우 4월 강우량이 21.7 mm (30%) 증가하였고 5월과 6월이 각각 25.2 mm (25%), 79.0 mm (49%) 감소한 것과 비교하면 매우 유사한 경향임을 알 수 있다. 1월과 2월의 강우량이 감소하고, 10월과 12월에 강우량이 크게 증가하는 경향도 동일하다. 다만 우리나라의 경우 8월과 9월 강우량이 줄어드는 반면 일본의 경우 늘어나는 차이가 있다. 이와 같은 결과는 월강우량의 변화가 우리나라에만 한정된 현상이 아니라는 것을 나타낸다고 할 수 있으며 단기적인 기후변화의 영향으로 볼 수

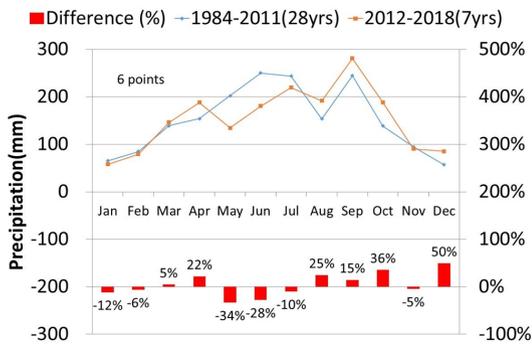


Fig. 8. Variation of monthly rainfall in Japan.

있을 것으로 판단된다. 강우량의 변화로 인한 식생의 변화도 우리나라와 일본에서 동일하게 발생하는 것도 동일한 측면에서 해석할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 하천내 식생의 과도한 발생 원인을 규명하기 위해 월강우량과 하천 수위의 연도별 변화를 분석하였다. 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 전국 19개 지점의 월강우량을 1984년에서 2011년 (28년), 2012년에서 2018년 (7년)으로 구분하여 비교 분석한 결과 최근 기간 동안 4월의 강우량은 21.7 mm (30%) 증가하였고 5월에서 9월까지 강우량은 모두 감소하였는데 6월의 경우 79.0 mm (49%) 감소한 것으로 나타났다.
- 2) 최근 식생이 크게 증가한 섬강 문막교, 청미천 원부교, 내성천 향식 지점에서 하천내 수위변동을 분석한 결과 식생 발생 부분에 대한 침수 시간이 크게 감소한 것으로 나타났다.
섬강은 2012년, 청미천은 2013년 이후 고수부지가 한 번도 물에 잠기지 않았으며 내성천에서도 2013년 이후 저수로 전체가 침수되는 시간이 급격하게 줄어들었고 2015년에는 한 번도 잠기지 않은 것으로 나타났다.
- 3) 유사한 기간 동안 섬강은 1.7배 (2010 - 2016), 청미천은 2.0배 (2010 - 2016), 내성천의 경우 16.5배 (2011 - 2017) 식생이 증가한 것으로 분석되었는데 월강우량이 감소하는 경향, 하천내 단면의 침수 시간 감소하는 경향과 동일한 경향을 보이고 있어 서로간의 상관성을 확인할 수 있다.

- 4) 우리나라의 강우 감소 경향 및 식생 발생 현상이 일본 중부지방과 유사한 것으로 나타났는데 이와 같은 경향이 특정지역에 한정되지 않는 것은 단기간의 기후변화로 인해 나타나는 것으로 추정된다.

하천내에서 과도하게 발생하는 식생은 하천 통수능 감소, 육역화, 수상 생태계 상실 등의 문제로 나타나기 때문에 식생 발생 억제를 위한 대책과 발생한 식생을 최소화할 수 있는 대책의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 ‘(19주요대2-장기조사) 수공구조물 건설 전후 하천변화 분석’의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Asaeda, T. and Sanjaya, K. 2017. The effect of the shortage of gravel sediment in midstream river channels on riparian vegetation cover. *River Research Application*. <https://doi.org/10.1002/rra.3166>.
- Choi, S.U., Yoon, B.M., and Woo, H. 2005. Effect of dam-induced flow regime change on downstream river morphology and vegetation cover in the Hwang River, Korea. *River Research and Application*, John Wiley & Sons 21, pp. 315-325.
- Choi, S.U., Yoon, B.M., Woo, H., and Cho, K.H. 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(1): 55-66.
- Gurnell, A. 2014. Plants as river system engineers. *Earth Surfaces Processes and Landforms* 39: 4-25.
- KICT 2015. Development of floodplain management technologies for the increase of river-friendly value. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. pp. 186.
- Kim, W. and Kim, S. 2019. Analysis of the riparian vegetation expansion in middle size rivers in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association* 52(S-2): 875-885. (in Korean)
- Kong, H.Y., Kim, S., Lee, J., Lee, J., and Cho, H. 2016. Riparian environment change and vegetation immigration in sandbar after sand mining. *Journal of Korean Society on Water Environment* 32(2): 135-141.
- Lee, P.H. 2002. Growth characteristics and community

- dynamics of riparian *Salix* in South Korea. Ph D. dissertation, University of Gyongsang. pp. 4-40.
- Lee, C.J., Woo, H., and Jang, C.L. 2019. Effect of flow regime on accelerated recruitment and establishment of vegetation in unregulated sandy rivers- a case study at Naeseong-cheon Sream in Korea. Proceedings of the 38th IAHR Congress, Panama City, Panama.
- Miller, K.A., Webb, J.A., Little, S.C., and Stewardson M.J. 2013. Environmental flows can reduce the encroachment of terrestrial vegetation into river channels: A systematic literature review. *Environmental Management*, DOI 10.1007/s00267-013-0147-0.
- Park, B., Jang, C.L., Lee, S.H., and Jung, K.S. 2008. An investigation of changes in the area of riparian bars and vegetative area downstream of dam. *Journal of Korea Water Resources Association* 41: 1163-1172.
- Riis, T. and Biggs, B. 2003. Stream vegetation and flow regimes. *Water & Atmosphere* 11(1): 18-20.
- Williams, G.P. 1978. Case of the shrinking channels - the North Platte and Platte Rivers in Nebraska. US Geological Survey, Circular 781(781), Department of the Interior, Washington, D.C., USA.
- Williams, G.P. and Wolman, M.G. 1984. Downstream effects of dams on alluvial channels. USGS Professional Paper 186, Department of the Interior, Washington, D.C., USA.
- Woo, H. 2009. Literature study of vegetation recruitment on riverine bars (I, II) -Investigation on the process of white to green river. *Magazine of Korea Water Resources Association* 42(8): 37-53.
- Woo, H. and Park, M.H. 2016. Cause-based categorization of the riparian vegetative recruitment and corresponding research direction. *Ecology and Resilient Infrastructure* 3(3): 207-211.
- Woo, H., Cho, K.H., Jang, C.L., and Lee, C.J. 2019. Fluvial Processes and Vegetation - Research Trends and Implications. *Ecology and Resilient Infrastructure* 6(2): 89-100.
- Woo, H., Yu, D.Y., Ahn, H.K., and Choi, S.U. 2002. A Preliminary study on vegetation growth on sandbars and scours in the Hwang River. Proceedings of KSCE Annual Conference. pp. 1693-1696.