

내성천 하도내 식생활착에 의한 하상변화 특성 연구

A study on characteristics of bed elevation change according to vegetation establishment of river bed in the Naeseong stream

이태희*, 김수홍**, 노영신***, 정성원****

Tae Hee Lee, Soo Hong Kim, Youngsin Roh, Sung Won Jung

요 지

충적하천은 환경 변화에 따라 하천의 형태가 변화하고, 흐름 또한 변화하는 특성을 지닌다. 내성천은 대표적인 충적 하천으로 최근 하도내 사주에 식생이 활착되고 육상화가 진행됨에 따라 식생사주 영역은 증가하고 흐름부의 하폭은 전체 하폭대비 매우 좁아진 상태이다. 따라서 하도내 흐름특성이 변화하여 저평수시 유속이 증가하고 지속적으로 하상침식이 발생하고 있다. 본 연구에서는 내성천에 위치하는 조제, 월포, 향석 관측소의 최근 10년간 강수량 및 수위자료 검토와 각 관측소 위치의 항공사진에 의한 하도내 식생활착 진행과정과 단면측량 자료를 바탕으로 횡단면 침퇴적 변화율을 검토하였다. 또한, 식생활착 및 하상침식의 영향이 수위-평균유속과 수위-유량관계의 변화 양상을 검토하였다. 검토 결과 현재까지 내성천의 식생활착 및 하상침식의 원인은 지난 5년간 적은 강수량 영향으로 홍수시 하상소류력이 감소하여 흐름특성이 변화한 것이 주된 요인으로 판단된다.

핵심용어 : 충적하천, 식생활착, 식생사주, 하상변화, 수위-유량관계곡선식

1. 서론

충적하천의 대표적인 형태적 특징 중 하나는 하도내 형성된 넓은 백색의 사주로서, 유럽의 하천 형태와는 일반적으로 달리하는 것 중 하나로 전자를 ‘화이트리버’, 후자를 ‘그린리버’로 부를 수 있다(우효섭, 2008). 그러나 국내의 많은 충적하천에서 수문학적이거나 환경적인 변화로 넓은 백색사주가 사라지고 식생활착이 진행되어 ‘화이트리버’에서 ‘그린리버’로 점차적으로 변화하고 있다. 이런 변화를 검토하기 위해 과거 연구자들이 다가적인 방향에서 여러 요인을 검토하였다. 첫째, 댐 건설로 인한 홍수 발생빈도와 침투유량 감소, 갈수량 증가 등의 유량변화(Williams and Wolman, 1984; 최성욱 등, 2004; Graf, 2006), 둘째, 댐 상류지역의 토지이용변화(Gordon and Meentemeyer, 2006), 셋째 기온과 강우량 변화와 같은 기후변화의 원인을 들 수 있다(Vanlooy and Martin, 2005). 본 연구에서는 최근 하도내 사주에 식생활착이 진행되어 하상변화가 발생하고 있는 내성천의 조제, 월포, 향석 관측소 위치에서 하상변화를 검토하였다. 과거 강수량, 수위, 유량 등 수문학적 요인과, 항공사진, 횡단면 등 환경적 요인의 변화를 분석하여 내성천의 하도내 식생활착 및 하상침식의 원인을 검토하였다.

2. 내성천 유역 현황

내성천은 낙동강의 제1지류로서 경상북도 봉화군에서 발원하여 영주시, 예천군을 지나 문경시에서 낙동강에 합류한다. 내성천의 유로연장은 108.20km, 유역 면적은 1,814.71km²이다. 내성천 유역은 대부분이 중생대 쥐라기 대보 화강암으로 이루어져서 화강암으로 붕괴된 유사량이 다른 유역과 비교하여 많은 것이 특징이

* 정희원 · 한국수자원조사기술원 낙동강조사실 선임연구원 · E-mail : thlee@kihs.re.kr
** 정희원 · 한국수자원조사기술원 낙동강조사실 연구원 · E-mail : kimssong@kihs.re.kr
*** 정희원 · 한국수자원조사기술원 낙동강조사실 책임연구원 · E-mail : rohys@kihs.re.kr
**** 정희원 · 한국수자원조사기술원 원장 · E-mail : swjung@kihs.re.kr

다. 이러한 화강암 풍화층에서 입상붕괴된 모래 입자는 유수를 통해 하도로 많은 양이 운반되어 모래하천의 특성을 보여 망상하천 형태를 이루고 있다(이광률, 2010). 내성천 하도내 하상변화 특성을 검토하기 위해 지류를 제외하고 본류에 위치하는 수위관측소 총 6개 중 그림 1에 나타난 바와 같이 조제, 월포, 향석 수위관측소의 수위, 항공사진, 측량단면, 유량측정성과와 내성천 유역 평균강수량 자료를 검토하였다.

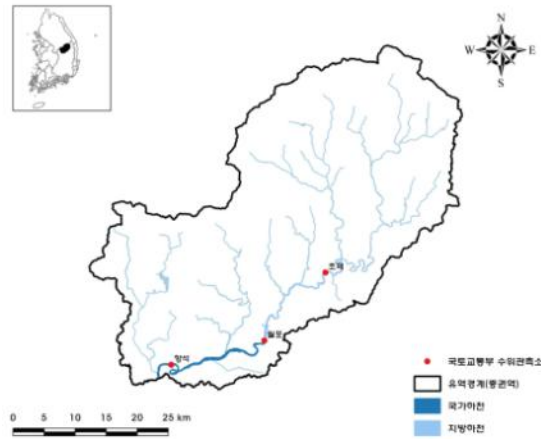


그림 1. 내성천 유역 현황

2.1 수문자료 검토

내성천 유역의 평균강수량은 1,107.7mm로 낙동강 평균강수량 1,250mm, 전국 평균인 1,300mm보다 143~193mm 적은 것으로 나타났다(수자원장기종합계획, 2016). 아래 표 1에는 향석 수위관측소의 평균강수량 자료를 검토하기 위해 국토교통부 영주관측소 외 15개, 기상청 안동관측소 외 2개, 수자원공사 명호관측소의 강수량 자료를 이용하여 티센가중법에 의해 산정한 평균강수량 자료를 검토하였다(국토부, 2016). 2009년에서 2012년을 제외하고는 내성천 유역의 평균강수량에 못미치는 것으로 나타났다. 2013년부터는 강수량이 예년보다 줄어 가뭄이 발생하였고, 2015년의 경우는 내성천 유역 평균강수량의 약 절반에 해당하는 강우가 발생하여 극심한 가뭄이 발생하였다.

표 1. 향석 관측소 경년별 평균강수량(2008~2017년) 단위(mm)

| 수위관측소 | 2008년 | 2009년 | 2010년 | 2011년 | 2012년 | 2013년 | 2014년 | 2015년 | 2016년 | 2017년 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|---------|-------|
| 향 석 | 1,021.9 | 1,187.2 | 1,183.2 | 1,559.2 | 1,210.3 | 1,047.7 | 969.2 | 602.9 | 1,093.3 | 937.9 |

※ 국토교통부 수문조사보고서(2012년~2016년)

그림 2에 향석 수위관측소의 과거 약 10년간 수위 자료를 검토한 결과 당해 평균강수량에 대비하여 수위거동이 발생하였다. 2008년부터 2012년 호우사상 이전까지 저수위는 비슷한 수위경향을 보이거나 호우사상 이후 퇴적으로 인해 수위가 전체적으로 상승하는 경향이 발생하였다. 2013년 이후 흐름부 하상침식으로 수위가 점차 저하하는 경향이 발생하였다. 조제, 월포 수위관측소에서도 향석 수위관측소와 같이 2012년 호우사상 이후 퇴적으로 수위가 상승하였다가 점차 저하하는 경향이 발생하였다. 이는 2.2절 단면자료 검토에서도 수위경향과 같은 양상을 나타내고 있다.

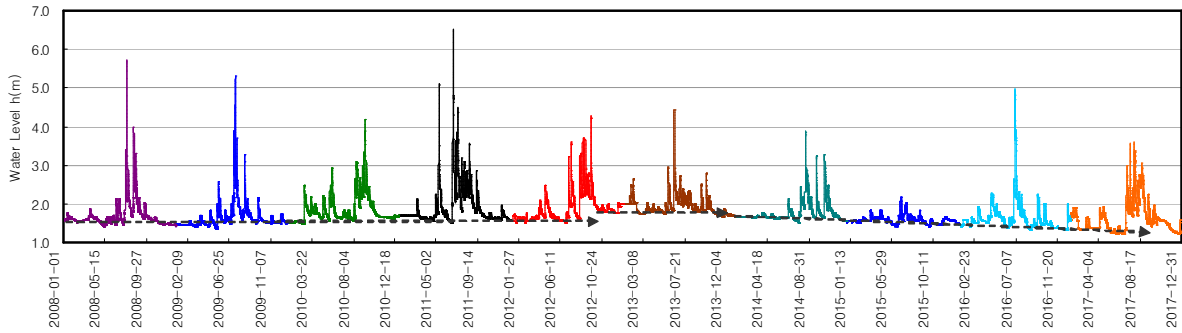


그림 2. 향석 관측소의 수위자료(2008~2017)

2.2 단면자료 검토

내성천 하도내 사주 및 식생활착 과정을 검토하기 위해 국토지리정보원과 다음 지도에서 제공하는 2008년부터 2017년까지 조제, 월포, 향석 관측소 위치의 항공사진을 검토하였다. 항공사진 검토 결과 2012년까지는 하도내 사주의 형상이 변화하지만 넓은 백색 사주를 유지해 오다가 2013년을 기점으로 사주에 식생이 활착되어 육상화가 진행되는 것을 알 수 있었다. 대표적으로 아래 그림 3(a), (b)에서 보는 바와 같이 교량에 위치하는 향석 관측소 위치의 2010년과 2017년 항공사진을 비교한 결과 넓게 형성되어 있는 사주에 식생이 활착되어 육상화가 진행되고 유로의 폭이 확연히 줄어든 것을 비교할 수 있다.



(a) 2010년 항공사진

(b) 2017년 항공사진

그림 3. 향석 관측소 항공사진 비교

그림 4는 2011년과 2017년 향석 관측소 위치의 횡단면을 측량한 결과이다. 비교 결과 좌안 흐름부는 침식이 발생하여 하상고가 저하하였고, 우안의 식생이 활착한 사주는 퇴적이 발생하여 하상고가 상승하였다. 향석 관측소 위치의 2011년과 2017년 횡단면을 검토한 결과 좌안 저수위 흐름부의 경우 약 15.54%의 침식이 발생하였고, 우안 중수위 사주에 식생이 활착한 구간은 약 17.49% 퇴적이 발생하였다. 아래 표 2에 관측소별 2010년에서 2017년까지 횡단면 측량 자료를 바탕으로 전년대비 침식률과 퇴적률을 나타내었다. 경년별 측량시기에 차이가 있고 강우에 의한 사주의 이동 등 자연적인 평형이 발생하는 것을 고려하면 저수로의 경우 조제 관측소는 전년대비 지속적으로 침식이 발생하는 것으로 나타났고, 월포, 향석 관측소의 경우 2012년, 2013년에 퇴적이 발생하였다가 이후 지속적으로 침식이 발생하는 것으로 나타났다. 중수위 사주 구간은 경년별 호우사상에 의해 침퇴적이 반복적으로 발생하지만 전체적인 경향은 과거 대비 퇴적이 발생하는 것으로 판단된다.

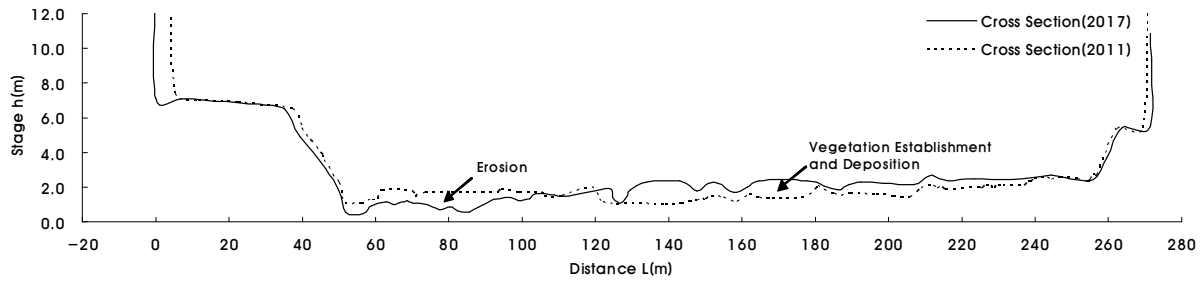


그림 4. 향석 관측소 횡단면 비교

표 2. 전년 대비 침식률 및 퇴적률 비교

| 년도 | | 수위(m) | 통수면적(m ²) | 침식률(%) | 수위(m) | 통수면적(m ²) | 퇴적률(%) |
|-----------------|-------|----------|-----------------------|--------|------------|-----------------------|--------|
| 조 제 h(m) | 2011년 | 1.60m 이하 | 32.15 | - | 1.60~2.70m | 168.36 | - |
| | 2012년 | 1.60m 이하 | 46.83 | 45.65 | 1.60~2.70m | 186.83 | -10.97 |
| | 2013년 | 1.60m 이하 | 48.49 | 3.54 | 1.60~2.70m | 179.25 | 4.06 |
| | 2014년 | 1.60m 이하 | 54.27 | 11.91 | 1.60~2.70m | 176.65 | 1.45 |
| | 2015년 | 1.60m 이하 | 57.64 | 6.22 | 1.60~2.70m | 178.75 | -1.19 |
| | 2016년 | 1.60m 이하 | 57.85 | 0.36 | 1.60~2.70m | 171.30 | 4.17 |
| 월 포 H=h+2(m) | 2010년 | 1.00m 이하 | 21.94 | - | 1.00~1.70m | 62.72 | - |
| | 2011년 | 1.00m 이하 | 45.59 | 107.76 | 1.00~1.70m | 102.65 | -63.66 |
| | 2012년 | 1.00m 이하 | 23.59 | -48.26 | 1.00~1.70m | 74.34 | 27.58 |
| | 2013년 | 1.00m 이하 | 31.42 | 33.19 | 1.00~1.70m | 78.18 | -5.16 |
| | 2014년 | 1.00m 이하 | 37.47 | 19.26 | 1.00~1.70m | 74.83 | 4.28 |
| | 2015년 | 1.00m 이하 | 50.64 | 35.16 | 1.00~1.70m | 90.90 | -21.47 |
| | 2016년 | 1.00m 이하 | 54.11 | 6.86 | 1.00~1.70m | 86.55 | 4.78 |
| 향 석 h(m) | 2010년 | 2.00m 이하 | 38.78 | - | 2.00~2.80m | 75.50 | - |
| | 2011년 | 2.00m 이하 | 50.09 | 29.16 | 2.00~2.80m | 85.16 | -12.79 |
| | 2012년 | 2.00m 이하 | 44.45 | -11.27 | 2.00~2.80m | 85.29 | -0.16 |
| | 2013년 | 2.00m 이하 | 35.22 | -20.76 | 2.00~2.80m | 103.64 | -21.50 |
| | 2014년 | 2.00m 이하 | 40.23 | 14.22 | 2.00~2.80m | 104.94 | -1.26 |
| | 2015년 | 2.00m 이하 | 45.51 | 13.15 | 2.00~2.80m | 94.49 | 9.96 |
| | 2016년 | 2.00m 이하 | 46.60 | 2.39 | 2.00~2.80m | 102.23 | -8.19 |
| | 2017년 | 2.00m 이하 | 57.87 | 24.19 | 2.00~2.80m | 70.27 | 31.26 |

3. 유량측정 성과 분석

3.1 수위-평균유속 검토

2008년부터 2017년까지의 유량측정성과를 바탕으로 각 측정성과의 동일수위에서 평균유속관계를 검토하여 그림 5에 도시하였다. 조제, 월포 관측소의 경우 2008년, 2011년 고수위 성과 외에 비교성과가 없는 관계로 제외하고 저중수위 성과를 기준으로 검토한 결과 2012년에서 2014년은 비슷한 유속범위를 나타내지만 2015년에서 2017년의 경우는 동일수위에서 유속이 급격히 증가하는 경향을 볼 수 있다. 향석 관측소는 약 2.0m 내외의 수위범위를 기준으로 저수위의 경우 동일수위에서 유속이 증가하고 중고수위는 유속이 감소하는 경향이 나타났다. 또한, 동일유속 기준으로 비교하면 저수위에서 동일유속에서 수위가 점차 하강하는 경향이 나타났다. 이는 점차 유로폭이 줄어들고 흐름이 집중됨에 따라 유속이 증가하여 하상침식이 발생하고 수위가 하강하는 것으로 판단된다.

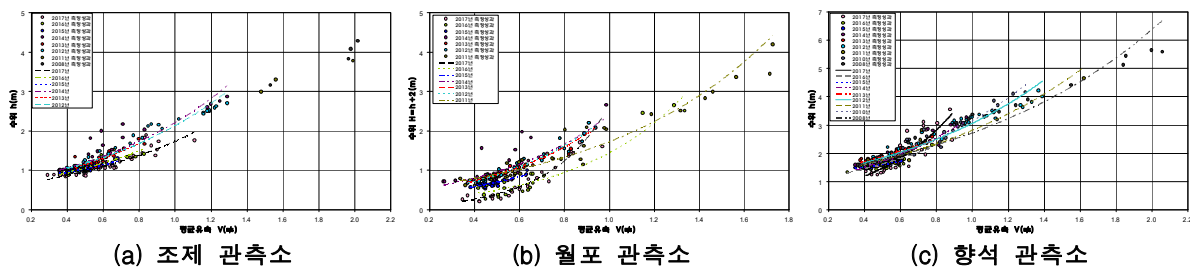


그림 5. 수위-평균유속 관계

3.2 수위-유량관계 검토

그림 6에는 2008년부터 2017년까지의 유량측정성과를 바탕으로 수위-유량관계를 도시하였다. 조제, 월포, 향석 관측소 모두 하상침식이 발생하여 최심하상고가 저하됨에 따라 GZF(Gauge Height of Zero Flow)가 매년 저하되어 유량이 증가하였다. 따라서, 유사 퇴적과 식생활착에 의해 형성된 식생사주 높이로 유량이 감소하여 전체적인 수위-유량관계의 기울기가 급해지는 형태로 변화하는 것으로 판단된다. 최근 내성천 유역의 가뭄으로 고수위 성과가 부족하여 고수위 범위의 수위-유량 관계 변화 검토에 어려움이 있다. 추후 내성천 유역의 호우발생시 고수위 성과를 확보하여 식생사주로 인해 육상화가 진행된 하도형태에 따른 수위-유량관계 변화 검토가 필요할 것으로 사료된다.

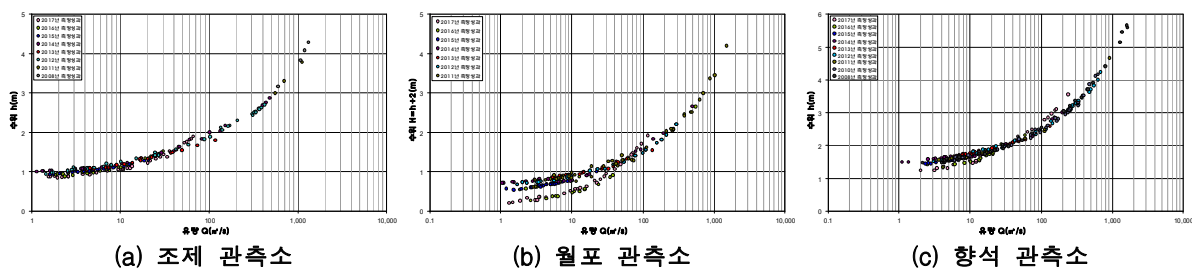


그림 6. 수위-유량 관계

4. 결과

최근 내성천 하도내 사주에 식생이 활착되고 육상화가 진행됨에 따라 식생사주 영역은 증가하고 흐름부의 하폭은 전체 하폭대비 매우 좁아진 상태이다. 따라서 하도내 흐름특성은 변화하고 저평수시 유속이 증가하여 지속적으로 하상침식이 발생하고 있다.

본 연구에서는 내성천에 위치하는 조제, 월포, 향석 관측소 위치에서 항공사진에 의한 하도내 식생활착 진행과정과 단면측량 자료를 바탕으로 횡단면 침퇴적 변화율을 검토하였다. 또한, 식생활착 및 하상침식의 영향이 수위-평균유속과 수위-유량관계의 변화 양상을 검토하였다. 층적하천에서 ‘그린리버’로 변화하는 원인은 댐에 의해 조절되는 하천에서 발생하는 것으로 일반화 되어 있지만, 내성천 영주댐이 2016년 10월경 완공되어 운영된 점을 미루어 봤을때 지난 5년간 적은 강수량 영향으로 홍수시 하상 소류력이 감소한 것이 식생활착에 주된 요인으로 판단된다. 따라서, 영주댐 완공 후 운영에 들어간 현 시점 하도내 식생 및 사주 등의 변화를 모니터링하여 향후 보다 심층적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 국토부(2016), 수문조사보고서.
2. 국토부(2016), 수자원장기종합계획(2001~2020).
3. 우효섭(2008), 화이트리버? 그린리버?, 한국수자원학회지, vol 41(12), pp. 38-47.
4. 이광률, 조영동, 김대식, 김중석, 정우현, 조현진, 윤국현(2010), 경북 내성천의 하도 지형 환경 및 퇴적물 분석, 한국지역지리학회지, vol 16(2), pp. 85-99.
5. 최성욱, 윤병만, 우효섭, 조강현 (2004). 댐건설에 의한 유황변화에 따른 하류 하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화 : 황강 합천댐 사례. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제1호, pp. 55-66.
6. Gordon, E., Meentemeyer, R.K. (2006). Effects of Dam Operation and Land Use on Stream Channel Morphology and Riparian Vegetation, *Geomorphology*, Vol. 82, pp. 412-429.
7. Graf, W. L. (2006). Downstream Hydrologic and Geomorphic Effects of Large Dams on American Rivers, *Geomorphology*, Vol. 79, pp. 336-360.
8. Valoocy J. A., Martin C. W. (2005). Channel and Vegetation Change on the Cimarron River, Southwestern Kansa, 1953-2001. *Annals of the Association of american Geographers*, Vol. 95, No. 4, pp. 718-739.
9. Williams, G. P., Wolman, M. G. (1984). Downstream effects of dams on alluvial channels, USGS Professional Paper 1286, Department of the Interior, USA.