

영주댐 건설 이후 내성천 회룡포 구간 하도 변화

- 망류도 분석을 중심으로 -

김다운(지리교육과) · 박혜진(지리교육과)

요약

내성천은 모래하천으로 학술적·생태적으로 가치가 뛰어나다. 그러나 영주댐이 건설됨에 따라 모습이 변화했다. 본 연구에서는 영주댐 건설로 인해 퇴적물이 감소되어 회룡포의 망류도가 감소됨을 예측하고 진행했다. 연구한 시기는 2005년 2월 28일과 2016년 4월 8일이다. 망류도를 측정하기 위해 Channel count index를 사용했다. 측정된 결과 2005년보다 2016년의 망류도가 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 유량의 감소와 상류의 세굴에 따른 회룡포의 퇴적에 의해 기인할 것이다.

주요어: 내성천, 영주댐, 회룡포, 망류도, Channel count index

1. 서론

내성천은 우리나라에서 흔히 볼 수 없는 모래하천으로, 학술적·생태적으로 가치가 뛰어나다. 그러나 4대강 사업의 일환으로 수질개선을 위해 영주댐이 건설¹⁾되면서 차츰 고유의 모습을 잃어가고 있다. 댐이나 보와 같은 인공 구조물의 건설은 하천의 흐름을 인위적으로 조절함으로써 하천 시스템의 변화를 일으킨다. 이러한 변화는 긍정적인 수도 부정적인 수도 있다. 분명한 것은 변화를 정확하게 파악하는 것이 새로운 시스템에 대응하는 대처를 할 수 있다는 것이다.

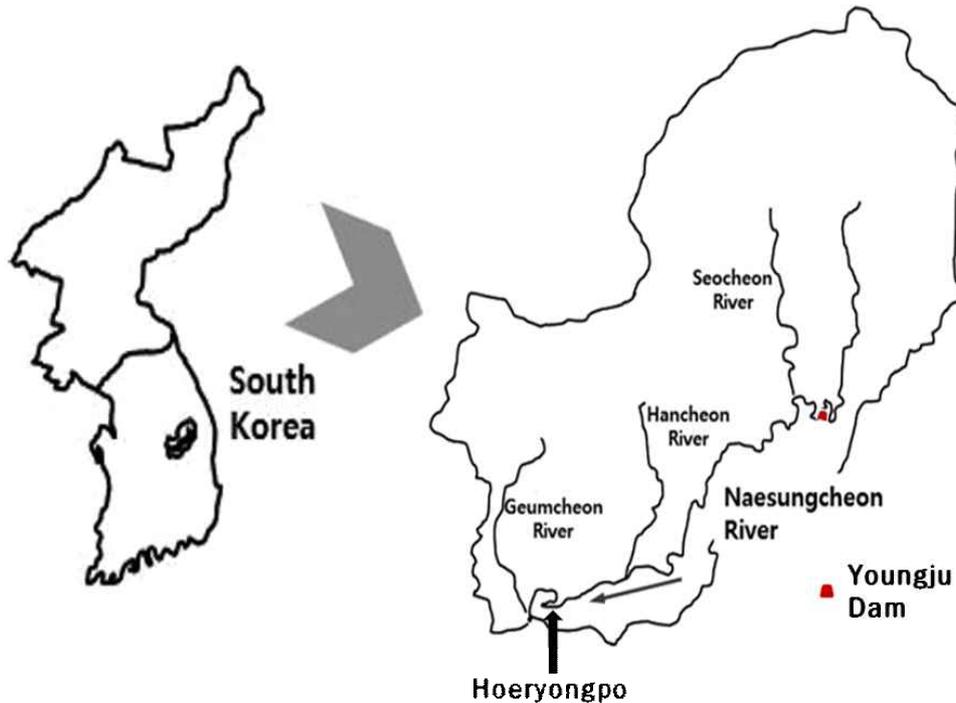


그림 1. 내성천의 위치, 유역경계

(출처: 이찬주 외, 2013)

1) 4대강사업조사평가위원회, 2014, 4대강사업 조사평가 보고서



그림 2. 회룡포 전망대에서 찍은 회룡포 전경

영주댐 건설로 우려되는 회룡포²⁾의 가장 큰 변화는 모래톱의 유실이다. 내성천 유역분지의 대부분은 화강암 풍화층이 분포하여, 유수를 통해 화강암으로부터 입상붕괴³⁾(granular disintegration)된 모래 입자의 공급이 매우 양호하여(이광률 외, 2010) 모래가 풍부하다. 그러나 영주댐 건설 이후 유량과 유사량의 감소로 나타나는 침식과 식생화에 따라 백사장의 소멸을 우려하는 사회적 관심이 증가했다(이찬주 외, 2013).

영주댐 건설로 인한 내성천의 변화를 주제로 한 연구는 다음과 같다. 추태호·채수권(2012)은 다목적댐 건설로 인한 내성천 유황 및 유사량의 변화가 회룡포에 미치는 영향을 1차원 및 2차원 모형으로 분석했으며, 댐이 건설되더라도 회룡포 구간은 본래의 모습을 유지하고 오히려 상주보⁴⁾가 회룡포의 하상변동에 직접적으로 많은 영향을 미칠 것이라고 분석했다. 이찬주·정상준·황승용(2013)과 김용전·이찬주(2014)는 내성천의 장기적인 하천 지형 및 식생 변화를 모니터링 했다. 특히, 김용전·이찬주(2014)는 하상재료 조사, 항공사진 분석, 측량자료 등의 다양한 방법을 활용하여 내성천의 변화양상을 분석하고 더 나아가 그 원인을 분석했다. 김동구·이찬주(2017)는 주요 지점에 대한 각종 수문자료와 지형 측량 그리고 사진 모니터링 자료를 이용하여 사주에 형성된 식생의 변화를 연구했다. 김동구·이찬주·최규현(2016)은 영주댐으로 인한 하천의 변화를 추적하여 조사하고 모니터링 함으로써 댐에 의한 하천 지형과 식생변화 분석 그리고 변화 원인을 분석하여 하천변화의 원인을 수문학적 요인, 유역의 토지 피복 변화로 설명하였다.

여러 연구가 진행되었지만 댐 건설로 인한 퇴적물 공급 변화에 따른 망류도(유로가 여러 갈래로 갈라진 정도)의 변화를 연구한 경우는 없다. 그러므로 본 연구에서는 영주댐 건설 이후 회룡포(제 1 뽕뽕 다리로부터 상류 1,188m 구간)의 하도 변화를 망류도 분석을 통해 연구하고자 한다.

2) 경상북도 예천군 용궁면에 위치하며, 낙동강의 지류인 내성천의 하류에 속함

3) 기반암이나 큰 암괴가 모래알 크기의 조암광물로 부서지는 것(권혁재, 1974)

4) 경상북도 상주시 중동면과 도남동에 있는 낙동강의 보, 4대강 정비 사업 과정에서 부설

2. 연구 방법

연구 시점은 세 가지 기준을 근거로 2005년 2월 28일과 2016년 4월 8일로 선정하였다. 첫 번째, 영주댐 건설이 시작된 2009년을 기준으로 구분되어야 한다. 두 번째, 위성사진 혹은 항공사진을 구할 수 있어야 한다. 세 번째, 두 시점의 수위가 동일하여야 한다. 수위 비교는 낙동강홍수통제소의 죽전 관측소(경상북도 예천군 개포면 신음리 545) 데이터와 수문조사연보⁵⁾를 기반으로 하였다. 내성천(죽전 관측소)의 경우 영점표고⁶⁾ 60.35m를 기준으로 갈수위(Drou.W.L)는 -0.08m, 저수위(Low.W.L)는 -0.03m, 평균수위(Ord.W.L) 0.02m로 구분된다. 2005년 2월 28일의 경우 일평균 -0.07m, 일최고 -0.07m로 갈수위에 해당하고 2016년 4월 8일의 경우 일평균 0.02m, 일최고 0.03m로 평수위에 해당한다. 두 시점의 수위가 동일하지는 않지만 홍수위가 아니기 때문에 하도를 비교하는데 무리가 없다. 결과적으로 2005년 2월 28일과 2016년 4월 8일은 세 가지 조건을 모두 충족하므로 하도 비교에 적합하다.

우리나라는 외국에 비해 상대적으로 망류 하천에 대한 연구가 부족하며, 개념이 부정확하다. 망류도를 측정하는 방법 역시 연구가 부족하기 때문에 본 연구에서는 Roey Egozi · Peter Ashmore(2008)의 「Defining and measuring braiding intensity」를 참고하였다. 논문에는 망류도를 측정하기 위한 방법으로 Braiding intensity indices, Bar indices, Channel count index, Channel length (‘sinuosity’) indices, Application of braid indices 5가지가 제시되었다. 본 연구는 그 중 다른 방법에 비해 하천의 크기와 변화에 민감하지 않아 편차가 가장 작고, 강줄기의 영향에 가장 덜 민감한 Channel count index를 사용하고자 한다.

망류도를 Channel count index의 방법으로 측정하기 위해서는 우선 하천의 길이가 Average wetted width(AWW, 평균 습윤 폭)보다 최소 10배 이상인지 확인해야 한다. 조건을 충족할 경우, 망류도를 측정하기 위한 표본인 Cross-sections(횡단면)⁷⁾를 구한다. 표본은 각 Bar에서 중복되지 않도록 설정하고, 간격은 AWW보다 작아야 한다. 표본을 구한 후에는 각 표본 당 Channel의 수를 측정하여 평균값을 구한다.

망류도 측정을 위한 첫 번째 단계는 Channel count index의 조건을 충족하는지 확인하는 것이다. 확인을 위해서는 AWW를 계산해야 한다. 2005년(그림 2, 표 1 참고)과 2016년(그림 3, 표 2 참고)의 Wetted width는 다음과 같고, 이를 계산한 AWW는 2005년에는 76.51m, 2016년에는 79.36m이다. 조사구간의 길이는 1,188m로 두 시기의 AWW보다 10배 이상 크기 때문에 Channel count index의 조건을 충족한다.

표 1. Wetted width(2005.02.28)

표본1	표본2	표본3	표본4	표본5	표본6
73.29(m)	73.05(m)	115.6(m)	94.8(m)	71.55(m)	61.29(m)
표본7	표본8	표본9	표본10	표본11	AWW
52.63(m)	49.82(m)	55.16(m)	87.41(m)	107.05(m)	76.51(m)

5) 국토교통부, 4대강 홍수통제소, 기상청, 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 한국수력원자력 등 물 관련 기관에서 관측한 수문자료를 종합·정리하여 수록함으로써, 우리나라 수자원분야 연구와 하천의 효율적인 관리 및 국토개발계획 등에 기초자료로 활용될 수 있도록 함.

6) 양수표 눈금의 영위치의 적당한 기준고도로부터의 높이. 우리나라에서는 기준고도로서 육지측량 기본수준면을 취하고 있다.(이강원·손호웅, 2016)

7) 하천을 장축 방향과 직각으로 절단한 단면



그림 3. Wetted width(2005.02.28.), 왼쪽에서부터 오른쪽으로 1-11

표 2. Wetted width(2016.04.08)

표본1	표본2	표본3	표본4	표본5	표본6
77.4(m)	91.1(m)	93.9(m)	90.89(m)	81.58(m)	65.7(m)
표본7	표본8	표본9	표본10	표본11	AWW
82.18(m)	65.92(m)	78.55(m)	73.15(m)	72.64(m)	79.36(m)



그림 4. Wetted width(2016.04.08.), 왼쪽에서부터 오른쪽으로 1-11

망류도 측정을 위한 Cross-sections은 각 Bar에 중복되지 않도록 하며, 표본 사이의 간격이 각 시점의 AWW보다 크지 않도록 설정한다(그림 4, 그림 5 참고). 이러한 조건을 고려하여 설정한 표본의 수는 2005년 35개, 2016년 39개이다. 2005년 표본의 총 Chanel수는 112로 망류도는 3.2이고, 2016년 표본의 총 Chanel수는 183으로 망류도는 약 4.7이다. 분석 결과 2005년 2월 28일에 비해 2016년 4월 8일 회룡포의 망류도가 증가했음을 알 수 있다.

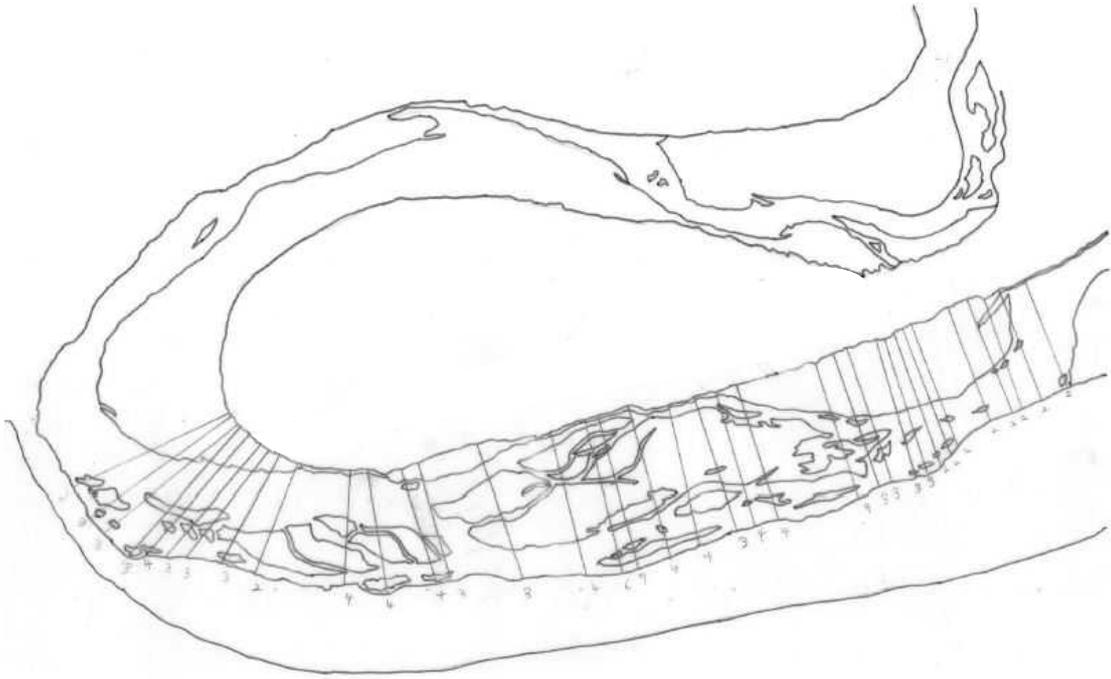


그림 5. Cross-section 설정(2005.02.28)

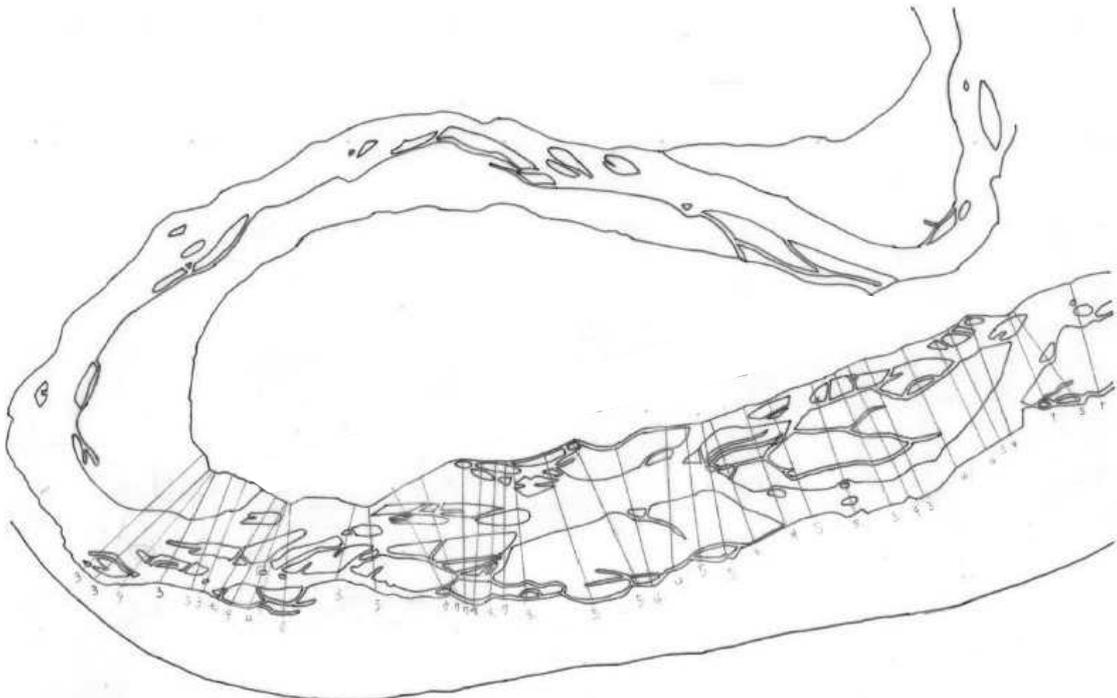


그림 6. Cross-section 설정(2016.04.08)

3. 결과

본 연구는 영주댐 건설로 유입되는 퇴적물의 양이 감소함에 따라 회룡포의 망류도가 감소할 것으로 예측하고 하도변화를 분석하였다. 그러나 분석 결과 예측과 반대의 결과가 나왔다. 그 이유는 다음으로 추측할 수 있다.

첫 번째, 댐 건설로 인한 유량의 감소이다. 댐 건설 이후 회룡포로 유입되는 유량이 감소함에 따라 노출되는 Bar의 면적과 수는 증가했을 것이다. 두 번째, 회룡포의 위치적 특성이 다. 회룡포는 내성천의 하류에 위치한다. 댐의 직접적인 영향을 받는 상류는 퇴적물의 공급이 원활하지 못하다. 상류는 청수가⁸⁾ 하상을 세굴⁹⁾시키고 강의 턱을 침식시키는데 에너지를 소산하기 때문에 퇴적이 활발하지 못하다(K-water 연구원, 2012). 반면, 상대적으로 하류에 위치한 회룡포는 댐으로부터 50km 정도 떨어져있기 때문에 댐의 영향을 거의 받지 않을 것이며, 상류에서 세굴 된 퇴적물이 퇴적되기 때문에 Bar의 면적과 수는 증가했을 것이다.

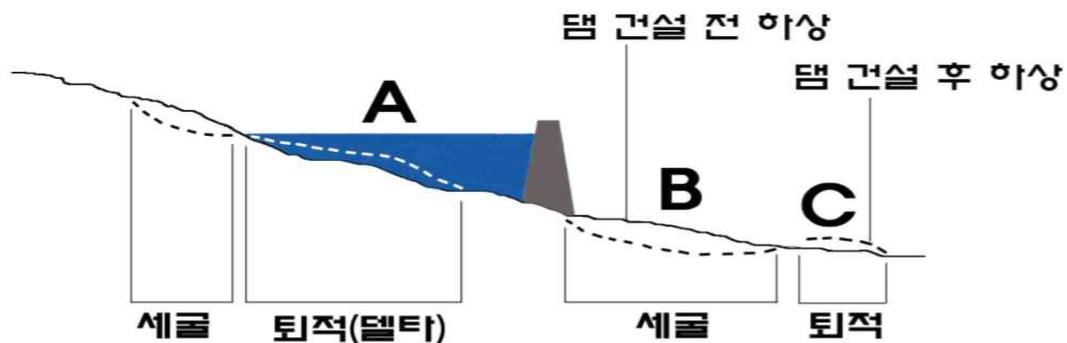


그림 7. 댐 건설에 의한 하상교란

(출처: K-water 연구원, 2012, 댐 건설에 따른 내성천 하도 변화 특성 연구)

댐 건설로 인한 하상교란이 계속 진행되면 회룡포의 하도는 퇴적작용으로 인해 경사도가 증가할 것이다. 경사도의 증가는 유속을 증가시키며, 침식을 촉진시킨다. 결과적으로 세굴되는 구간의 위치는 이동하며 회룡포가 세굴 되면서 발생하는 퇴적물들은 회룡포보다 하류인 지점에 퇴적될 것이다. 이러한 현상은 댐과의 거리와 시간에 따라 변화되기 때문에 지속적인 연구가 필요하다.

4. 결론

본 연구는 학술적·생태적으로 가치가 뛰어난 내성천 회룡포 구간의 영주댐 건설 이후의 하도변화를 분석하고자 했다. 연구방법으로는 Roey Egozi · Peter Ashmore(2008)의 「Defining and measuring braiding intensity」를 참고하여 Channel count index를 사용하였다. 결과적으로 망류도는 2005년 3.2, 2016년 4.7로 증가하였다. 연구 초기에 설정한 가설과 반대의 결과가 나타난 원인을 유량의 감소와 회룡포의 위치적 특성으로 추측하고 있다.

본 연구의 한계는 자료의 부족과 시간적 제약이며 이와 관련하여 후속연구가 필요하다.

8) 댐에서 방류된 유량으로 유사량을 이송시킬 에너지를 갖고 있으나 유사량이 없음

9) 주로 수류나 파랑에 의해 해안, 하상, 제방, 해저 또는 전환수로의 바닥이 침식되는 것

참고문헌

- 김동구 · 이찬주 · 최규현, 2016, “내성천에 대한 하천지형 및 식생 변화 장기 모니터링” 2016 대한토목학회 정기학술대회, pp. 13-14.
- 김용전 · 이찬주, 2014, “내성천의 하도변화 분석 - 영주댐 건설 이전(1970~2011) -”, 한국지형학회지, 제21권 제1호, pp.17-31.
- 이찬주 · 정상준 · 황승용, 2013, “댐 건설로 인한 모래하천의 지형 및 수변식생 변화에 관한 모니터링 연구: 댐 건설 전 단계, 내성천을 사례로”, 물과 미래: 한국수자원학회지 = Water for future, 46권 5호, pp.120-127.
- K-water 연구원(이상진 외 3명), 2012, “댐 건설에 따른 내성천 하도 변화 특성 연구”, 한국수자원공사.
- 추태호 · 채수권, 2012, “댐 건설이 하류하천 하상에 미치는 영향 분석”, 한국습지학회지, 제14권 제4호, pp. 715-723.
- 이찬주 · 김동구, 2017, “영주댐 운영 전 내성천에서 하도 형태의 단기 변화”, Ecology and resilient infrastructure, 4권 1호, pp. 12-23.
- 김동구 · 이찬주, 2017, “영주댐 운영 전 내성천의 수문 특성”, Ecology and resilient infrastructure, 4권 1호, pp. 3-11.
- 황수덕 · 최선호 · 이상진 · 장창래, 2013, “하천의 장기 지형변화 고찰 및 하상변동 모의”, 한국공간정보학회지, 21권, 5호, pp.1-6.
- Roey Egozi · Peter Ashmore, 2008, Defining and measuring braiding intensity, *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(14), pp. 2121-2138.
- 4대강사업조사평가위원회, 2014, 4대강사업 조사평가 보고서