

인위적 교란에 의한 하도지형의 응답에 관한 연구*

Study on Response of River Geomorphology due to Human-Induced Disturbance

김기흥**, 정혜련***
Kim, Ki Heung · Jung, Hea Reyn

요 지

하천의 이용과 관리적 측면에서 가장 빈번하게 발생하는 하도의 직선화, 홍수량의 변화, 하상 굴착, 하폭의 확대·축소 및 횡단구조물 등은 중규모 스케일의 하천지형을 인위적으로 교란시키는 대표적인 사례이다. 따라서, 이러한 인위적 교란은 하천생태계의 기반인 하천의 물리적 구조를 크게 변화시키므로 하도지형의 응답방향을 규명할 필요가 있다.

하천·유역의 지형은 여러 가지 스케일의 지형단위가 조직화되어 있는 것이므로 대(大)·중(中)·소(小)의 3가지 스케일 지형단위로서 계(系, system)를 계층화하고, 작은 계층의 계(系)에서는 큰 계층의 계(系)를 고정적인 경계조건으로 하여, 그 내부의 여러 가지 특징이나 변화를 규정하는 주요 인자를 이용하여 분석해야 한다.

또한 대(大) 스케일은 유역스케일의 지형스케일이며, 하도의 수계망이나 하도종단형 형상 등이다. 중(中) 스케일은 segment에서 reach 스케일의 지형이며 사행형상, 하천 폭 등이다. 소(小)스케일은 수심의 10배 정도이하의 지형스케일이며, 소규모 하상파 등의 미지형(微地形)이다.

따라서, 본 연구에서는 남강과 황강을 대상하천으로 유량 조절과 유사공급이 차단되는 댐하류 및 골재채취와 같은 인위적 교란요인에 의한 중규모(segment scale) 하도지형의 변화와 응답방향을 조사, 분석하였다.

연구결과 유량 및 유사공급량의 변동의 크기에 따라 전체적인 하상저하와 더불어 사주와 소가 소멸되면서 여울과 소가 사라지는 현상이 동조하는 것으로 분석되었으며, 하상의 평탄화에 의하여 저수로의 폭이 넓어져 복열사주가 발달하면서 수심 및 유속의 다양성이 감소되는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 하도지형, 중규모 하도, 유량조절, 유사공급, 하도지형의 응답방향

* 본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06건설핵심B01)에 의해 수행되었음.

** 정회원, 진주산업대학교 토목공학과 교수 · E-mail : khkim@chinju.ac.kr
*** 정회원, 진주산업대학교 산학협력단, 공학석사 · E-mail : mymi69@lycos.co.kr

1. 서론

치수사업이 본격화한 1970년대 이후부터 현재에 이르기까지 하도에 미치는 주요한 인위적 작용으로서 댐 건설, 골재채취, 하천정비 등이 있으며, 인위적 교란은 작용시간이 비교적 짧기 때문에 이것을 하천에 작용하는 인위적 impact라고도 한다. 방수로나 침수로의 굴착은 치수사업의 초기부터 행해졌고, 남강댐 사천만 방수로 및 대구 신천 등의 사례가 있다. 범람재해 방지를 목적으로 진행된 제방증축은 저수로만재유량 규모이상의 홍수발생시의 고수부 위의 유속증대, 저수로의 수심과 유속증대를 초래하였다.

유량, 유입토사량의 변화를 초래하는 대댐(wash load 이상의 토사를 포착할 수 있을 정도로 체 높이가 높은 댐)의 축조는 1970년대부터 시작되어 오늘에 이르고 있다. 댐 건설은 토사재해 방지를 위하여 시행된 사방사업의 진척과 함께 주로 1970~1990년대에 걸쳐 하도로의 토사공급 감소시키고 있다. 또한 대댐은 홍수과형을 변화시키고, 일반적으로 홍수침투유량을 감소시켜 홍수유량을 평활화시킨다. 댐의 저수지는 용량이 크기 때문에 홍수유량을 감소시킴으로써 평균년최대유량도 크게 감소하였다. 이외에도 인위적 교란은 산간부의 토지이용의 변화, 저수로 굴착·확폭, 취수언·하상유지공 설치, 고수부의 이용 등이 있다.

2. 인위적 교란에 대한 하도응답

2.1 하상굴착에 따른 하도응답

1970년대부터 시행된 5대강 유역종합개발사업과 동시에 건설골재로서 하상이 굴착된 하천이 많다. 국가하천에서는 평균하상고에 1.0m 이상 저하한 하천이 많다. 이 기간은 또 상류의 사방공사나 댐건설이 동시에 시행된 시기이고 이들의 영향이 복합적으로 하도에 나타나고, 하상굴착이 하도특성에 어떤 영향을 미치는가를 검증하는 것이 필요하다. 거의 동일경사를 가지는 하나의 segment에서 저수로 폭을 변화시키지 않고 하상고를 거의 같도록 저하시킨 경우에는 segment내의 경사도 변함이 없고, 따라서, 평균년최대유량 정도의 홍수시 하상에 작용하는 소류력도 변하지 않기 때문에 그 하도특성을 크게 변화시킬 것으로는 생각되지 않는다. segment 1의 하천에서는 굴착량에 따라서 평균하상고가 저하하고, 최심하상고도 이 저하량과 거의 같은 정도 저하할 것이다. 저수로 또는 제방부근의 하안 및 제방의 침식방지를 위하여 굴착하지 않는 경우 홍수량이 변하지 않으면 하안단구 모양의 하안부의 재료는 하상재료와 거의 같기 때문에 홍수가 발생하면 침식된 원 하천쪽으로 원상회복되는 방향으로 변화하지는 않는다. 댐군의 건설에 의하여 홍수유량의 감소가 있는 하천에서는 하천굴착과 더불어 안정적인 복단면하도로 되어 있다. 저수로의 굴착은 큰 홍수시의 저수로부의 수심을 증가시키기 때문에 수층부 등의 세굴심은 크질 것이다. 고수부는 물이 침수하는 빈도, 수심이 감소하기 때문에 segment 2, segment 3에서는 고수부지상의 토사 퇴적속도(고수부지의 상승속도)의 감소, 퇴적물의 세립화 경향이 나타난다.

2.2 공급토사량 감소에 대한 하도응답

상류 산지유역에서 공급토사량·질을 급격히 변화시킨 요인, 예를 들면 저수지의 출현, 대댐 등의 토사제어 구조물이 건설된 곳에서 하상의 평형상태가 붕괴되고, 하나의 segment내에 새로운 토사공급환경에 대응한 작은 segment가 형성되어 경과시간에 따라 그 segment의 길이가 길어진다. 그림 1과 같이 상류 산지유역에서 모래와 사리(砂利) 성분의 대부분을 퇴적시키는 저수지, 댐이 출현한 경우 그 상류유역으로부터 토사의 공급이 행해지지 않는다. 이 상황에 있어서 최종적인 segment 2-2로의 모래 공급량은 대략 식(1)로 생각할 수 있다. 여기서, Q_{s1} 는 언지호, 댐호 출현 전의 segment 2-2로의 모래공급량, Q_{s2} 는 출현후 segment 2-2로의 모래공급량, A_T 는 산지부 유

역면적, A_D 는 언지호, 댐호 상류의 유역면적이다.

$$Q_{SB} = \frac{A_T - A_D}{A_T} Q_{SA} \quad (1)$$

이 식은 유역내에서의 모래 생산량의 장소적 차이가 작은 경우를 전제로 하고 있다. 또한 모래 생산원으로부터 segment 2-2 상류단까지 구간의 하도에 모래가 저류되고 있기 때문에 그림 1 및 그림 2의 Q_{SA} 로부터 Q_{SB} 로 변화할 때는 일정기간을 필요로 하며, segment 1 또는 2-1의 토사의 공급량에 대해서도 같다고 할 수 있다.

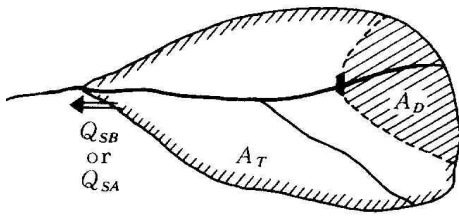


그림 1. 구조물이 공급토사량에 미치는 영향

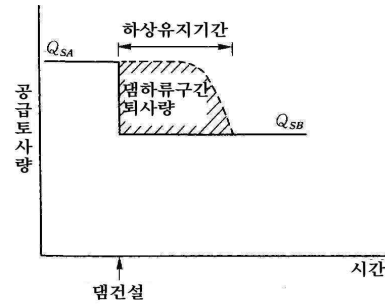


그림 2. 공급토사량 감소 기간

2.3 홍수량의 감소에 대한 하도응답

대댐의 건설은 하류의 홍수량을 저하시키지만, 우리나라의 댐은 저류량이 크기 때문에 평균년 최대유량을 대폭적 변화시키고, 또한 증적하천의 하천개수가 활발하게 시행된 경우도 있으며, 홍수량의 감소에 의한 증적하천의 하도지형이 어떻게 변했는가를 동시에 정량적으로 판단할 수 있는 자료가 적다. 그렇지만 지방하천 이상의 하도구간에 저수로 폭은 여러 가지 요인에 의해 1960년대 이전의 하도 폭보다 좁아진 하천이 많다. segment 1의 하천에서 홍수량이 감소하면 사주의 침수빈도가 감소하고, 사주의 표고가 높은 곳에 세립분이 퇴적하기 쉬워 초분류가 진입하며, 그곳에 세사·중사가 포착되어 비고(比高)가 증가하며, 실트까지도 포착되면 침수되어도 쉽게 식생파괴가 진행되지 않아 사주의 중도화, 하안 부근 사주의 고수부화, 수림화가 진행되는 것으로 나타났다.

3. 하천의 댐하류 및 골재채취에 대한 하도응답

댐에 의한 하류의 홍수량 조절 및 유사공급차단은 하류 하천구간의 물리적 특성을 장기간에 걸쳐서 변화시킨다. 우리나라의 다목적댐은 대댐으로서 하천유역면적 중 댐유역이 차지하는 비율이 상당히 높아 남강댐은 66%, 합천댐은 69%로서 홍수시 비유량의 개념을 적용하면 유역면적의 비율에 해당되는 유량이 어떤 형태로든 영향을 받는다. 남강댐과 합천댐의 현황은 표 1과 같다.

표 1 남강댐 및 합천댐의 현황

구 분	남강		황강		비 고
	전유역	남강댐	전유역	합천댐	
유역면적(km ²)	3467.52	2285.0	1344.19	928.35	댐유로연장은 하구로부터 거리
유로연장(km)	189.83	78.75	111.00	51.36	

표 2는 남강댐과 합천댐의 계획홍수량 및 퇴사량 자료를 나타낸 것으로서 홍수량 조절율이 크고 유사 포착율이 아주 높아 댐 하류구간에 큰 영향을 미침을 짐작할 수 있다. 또한 유사공급의 차단으로 댐하류 구간은 작은 입경의 하상재료가 소류되어 장기 하상저하가 발생하므로써 여울과 소가 사라지면서 하상경사가 완만해지는 것으로 조사되었으며, 특히 댐 직하류 구간에서 하상저하가 크게 발생함을 알 수 있다. 그림 3은 남강댐의 일평균 홍수유입량 1,000(m³/s) 이상의 경우 본류 방류량과 합천댐의 400(m³/s) 이상의 경우 본류방류량을 나타낸 것으로서 유입량에 비하여 방류량이 급감소함을 알 수 있다.

그림 4~7은 남강댐 및 합천댐 하류구간의 최심하상고의 변동량을 나타낸 것으로서 댐 직하류 구간에서 하상저하가 현저하게 발생하였으며, 저수로폭의 변화를 나타낸 것이다.

표 2. 남강댐 및 합천댐의 계획홍수량 및 비퇴사량

구 분	계획홍수량		비유사량(m ³ /km ² /yr)	비퇴사량(m ³ /km ² /yr)
	유입량(m ³ /s)	방류량(m ³ /s)		
남강댐	10400	800	397(포착율 97%)	350
합천댐	4840	1790	710(포착율 97%)	689

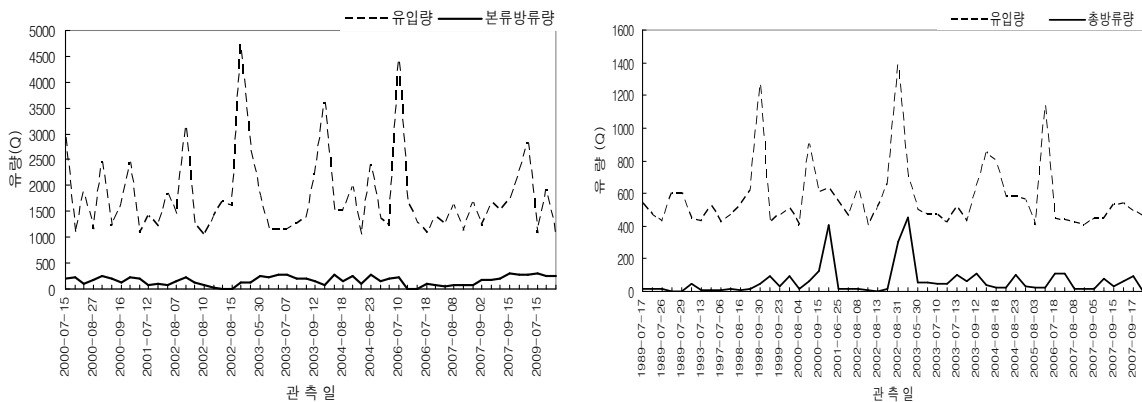


그림 3. 남강댐 및 합천댐의 유입량과 본류 방류량의 변화

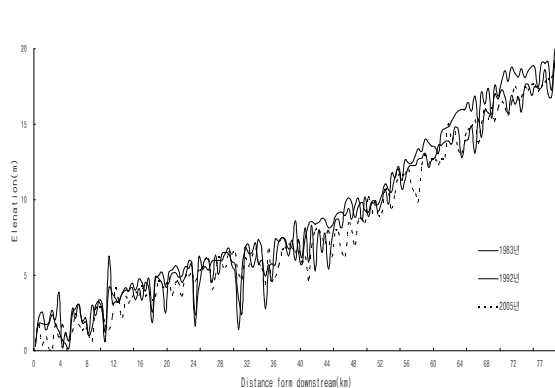


그림 4. 남강댐 최심하상고의 변동

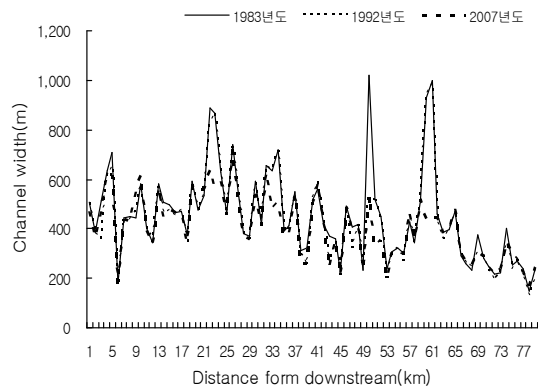


그림 5. 남강댐 저수로폭의 변동

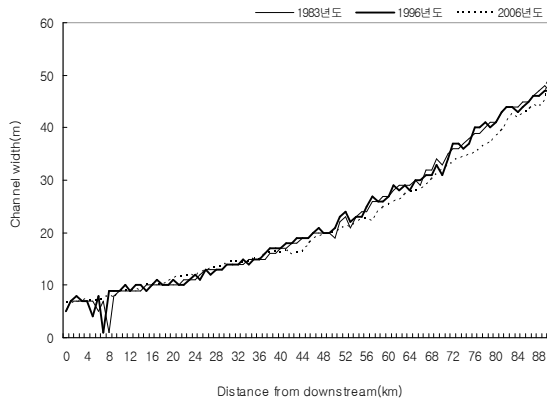


그림 6. 합천댐 최심하상고의 변동

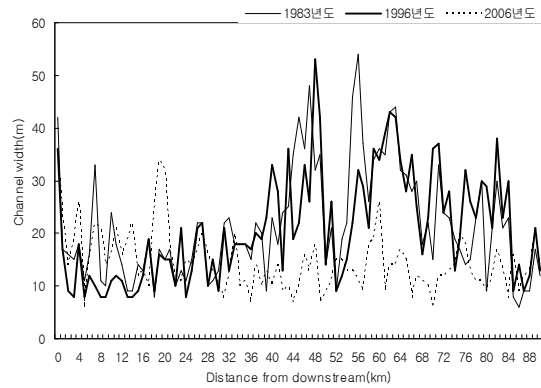


그림 7. 합천댐 저수로폭의 변동

4. 결 론

댐건설 및 골재채취로 인한 인위적 교란이 동시에 가해진 하천에서 하도지형의 물리적 응답이 어떻게 진행되는가를 평가하기 위하여 남강댐과 합천댐 하류구간에 대하여 조사·분석한 결론은 다음과 같다.

댐 하류에 대한 홍수량 조절과 유사 공급량 차단이 아주 큰 것으로 분석되었으며, 이러한 급격한 물리적 외력의 변화로 인하여 하류의 하도지형 특성이 크게 변화되었다고 판단된다.

댐 직하류 구간에서는 최심하상고의 변동이 감소함으로써 여울과 소의 구분이 없어지고, 장기적인 하상저하로 인하여 하상경사가 완만해지는 것으로 나타났으며, 방류량의 급격한 감소로 인하여 저수로폭이 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 유사 공급량의 급격한 감소, 특히 소류사량의 급감소로 인하여 댐 직하류는 사주의 형성이 이루어지지 않으므로써 여울-소의 단위하상의 출현빈도가 미미하여 하천생태계의 기반이 획일화되는 것으로 판단된다.

댐에서의 유사포착으로 하류에는 실트와 점토 등의 미립자가 자갈 등의 굵은하상재료 사이에 퇴적되는 것으로 나타났으며, 댐 직하류 구간에서는 모래하천 구간이 자갈하천으로 장감화되는 현상도 조사되었다. 결론적으로 댐 건설로 인하여 직하류 하천에서는 극심한 하천의 인위적 교란의 결과가 나타나므로 향후 보다 상세한 조사와 그에 따른 대책이 절실한 실정이다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06 건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1983), 낙동강하천정비기본계획(보완) 보고서
2. 건설교통부(1992), 남강하천정비기본계획 보고서
3. 건설교통부(2008), 남강하천정비기본계획 보고서
4. 건설교통부(1983), 황강하천정비기본계획 보고서
5. 건설교통부(1992), 황강하천정비기본계획 보고서
6. 건설교통부(2006), 황강하천정비기본계획 보고서
7. 한국수자원공사(2004), 남강댐 퇴사량조사 보고서
8. 建設省河川局治水課・土木研究所(1991), 河道特性に關する研究その3-河床變動河道計劃關研究, 第45回建設省技術研究會報告, pp. 696-737