

## 댐 건설에 의한 유황 변화에 따른 하류 하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화: 황강 합천댐 사례

### 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

최 성 옥\* / 윤 병 만\*\* / 우 효 섭\*\*\* / 조 강 현\*\*\*\*

Choi, Sung-Uk / Yoon, Byungman / Woo, Hyoseop / Cho, Kang Hyun

#### Abstract

The Hapchon Dam, located upstream of the Hwang River, Korea, was constructed in December, 1988. Due to the lack of storage of water, the dam gate has not been operated during last ten years. Thus, a new ecosystem has been established at the downstream part of the dam. This is not a common phenomenon which can be found elsewhere in the country. The present study investigates the effect of flow regime change on the river morphology and vegetation cover in the downstream river reach after the dam construction. The analysis of flow regime is carried out, and the changes in bed elevation and in channel cross sections are examined. Site investigations including tree ring tests are also performed. The increase in the vegetation cover is estimated by comparing aerial photographs taken before and after dam construction.

**Keywords** : dam, flow regime change, morphological change, vegetation cover

#### 요 지

황강 상류에 위치한 합천댐은 1988년 12월에 완공되었다. 완공 이후 댐의 저수량 부족으로 10여년간 수문을 통한 방류가 없었기 때문에, 댐 하류부에 새로운 생태계가 조성되었다. 이러한 현상은 국내 다른 지역에서 찾아보기 힘든 매우 특이한 사항이다. 본 연구에서는 댐 건설로 인한 유황변화에 따른 하천의 지형학적 변화와 식생 피복상태의 변화에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위해 하상고 및 하천수로단면의 변화를 조사하였다. 또한 나이테 분석을 포함한 현지조사를 수행하였다. 또한 댐 건설 전·후 대상유역의 항공사진을 비교하여 댐 건설 후 식생피복이 증가한 것을 확인하였다.

**핵심용어** : 댐, 유황변화, 지형학적 변화, 식생피복

- 
- \* 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수  
Associate Professor, School of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University, Korea  
(E-mail : schoi@yonsei.ac.kr)
  - \*\* 명지대학교 토목공학과 교수  
Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Myongji University, Korea  
(E-mail : bmyoon@mju.ac.kr)
  - \*\*\* 한국건설기술연구원 부원장  
Vice President, Korea Institute of Construction Technology, Korea  
(E mail : hswoo@kict.re.kr)
  - \*\*\*\* 인하대학교 생명과학과 부교수  
Associate Professor, Department of Biological Science, Inha University, Korea  
(E mail : khcho@inha.ac.kr)

## 1. 서 론

하천에 댐을 건설하는 주된 목적 중의 하나는 유량 조절이다. 즉, 댐 건설을 통해 홍수 혹은 풍수시 고유량의 방류 빈도를 줄이고 갈수시 저유량의 방류 빈도를 증가시킬 수 있다. 그러나 하천에 댐이 건설되면 주변 자연환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 댐 건설로 인해 하류부 하상의 저하 (degradation), 지천의 頭部침식 (headcut), 그리고 지하수위의 하강 등을 야기할 수 있다. 또한, 댐 하류부로의 유사공급 중단 및 수온 하강으로 인해 수변 생태계에도 악영향을 줄 수 있다. 수생생물의 서식처가 파괴될 수 있고, 하상의 장갑화에 의해 무척추동물의 서식처를 변화시킬 수 있다. 또한 수생식물의 다양성에 영향을 줄 수 있으며 魚種이 변화될 수 있다.

낙동강의 지류인 황강 상류에 위치한 합천댐이 완공된 것은 1988년 12월이다. 완공이후 댐의 저수량 부족으로 지난 2000년 9월 홍수시 한차례를 제외하고는 댐의 수문을 통한 방류는 없었고 발전 방류만 시행되고 있는 실정이다 (2003년 7월 현재). 따라서 댐 하류부 유역에는 새로운 생태계가 조성되었는데, 이러한 것은 국내 타지역에서 찾아보기 힘든 매우 특이한 현상이다.

기존의 연구를 통해 댐 건설로 인한 상·하류부 유역의 지형학적 변화양상은 비교적 잘 알려져 있다. 이러한 현상은 상용 프로그램인 HEC-6나 GSTARS 등의 컴퓨터 프로그램을 통해 잘 모의될 수 있다 (Yang과 Simoes, 1998; Yoon과 Woo, 2000). 그러나 하천생태와 지형학적 변화를 연계한 연구는 미흡하며, 대부분 수치모의나 실내 실험에 의한 연구만 있는 실정이다.

댐 건설로 인한 하류 하도의 장갑화와 생태계의 변화에 대해서는 여러 연구 사례를 찾아 볼 수 있다. Johnson 등 (1976)과 Johnson (1994)은 상류에 댐이 건설되면 하류 하천에 수목이 더욱 번성할 수 있는 환경이 조성된다고 보고한 바 있다. 댐 하류의 하상은 상류로부터 세립토의 공급이 중단되어 하상의 표면이 조립화 되는데 이것은 유수로부터 하상을 안정화시켜 식생 활착에 도움을 주고 식생피복의 면적을 증가시키게 된다 (Araki 등, 2001; Kamada 등, 2002; Kohri 등, 2000 & 2002). 한편, Kamada와 Okabe (1998)는 현장 관측을 통해 상류 댐으로 인해 유사량이 감소하고 사주에 활착된 식생이 유사이동 자체를 억제하여 하상의 안정화가 가속화되는 것을 보였다.

Tsujimoto (1999)는 식생 활착에 의한 영역 확장에 의해 수로폭이 축소되는 원리를 설명하였으며, 2차원 수심평균 모형을 사용하여 이러한 과정을 수치모의하였다. 또한 연속적인 홍수에 의해 식생 사주 (vegetated

sandbars) 주변에 유사의 퇴적이 발생한다는 것을 확인하였으며, 이에 따라 식생 사주는 길이 및 폭방향으로 확장한다는 것을 보였다. 특별히 소류사가 지배적인 하천의 사주는 상류방향으로 면적이 확장되며, 부유사가 지배적인 하천에서는 하류방향으로 면적이 확장된다고 주장하였다. Okabe 등 (2001)은 일본 하천의 사주에 대한 수리지형학적 (hydromorphologic) 과정과 버드나무 군집형성 간의 상호작용에 대한 연구를 수행하였다. 이를 통해 버드나무속 식물은 발아한 후 약 2-3년이 지나 군집을 형성한다는 것을 확인하였는데, 그 기간 동안 하상토를 이송할 정도로 큰 홍수가 발생하지 않는다는 제한조건을 두었다. 이들은 버드나무속 식물 군집의 성장은 대용사주 (alternate bar)의 안정성을 크게 증가시키는 한편, 사주 주위로 형성되는 수로에 의해서 제방이 침식될 수 있다는 것을 확인하였다. Choi 등 (2003)은 1차원 모형을 이용하여 수중식생이 형성된 영역에서 유사의 퇴적 및 침식 현상을 수치모의 하였다. 이를 통해 토사의 침식과정이 식생된 영역의 하류부에서 상류부로 전파되는 것을 확인하였다.

본 연구의 목적은 합천댐 건설 후의 하천 지형학적 변화 및 댐 하류부 유역의 식생 피복상태의 변화를 분석하는 것이다. 이를 위해 댐 건설 전·후의 일유량 자료를 사용하여 유황분석을 수행하였으며, 하상고 및 수로단면의 변화를 조사하였다. 그리고 현지조사를 통해 사주에 존재하는 식생종 및 식생밀도를 분석하였으며, 조사 구간 식생에 대한 나이트 분석을 수행하였다. 또한 댐 건설 전·후의 항공사진의 비교를 통해 식생피복 면적의 변화를 분석하였다.

## 2. 유형 및 지형학적 변화

그림 1은 본 연구의 대상인 黃江의 모식도를 나타낸 것이다. 황강은 낙동강의 주요 지류중의 하나로서 하도 연장은 116.9 km이며 유역면적은 약 1325.6 km<sup>2</sup>이다. 황강이란 명칭의 유래는 하상재료가 모래질 하상이기 때문인 것으로 추측된다 (그림 8 참조). 황강의 상류부에 위치하는 합천댐은 콘크리트 중력식 댐으로 1988년에 완공되었다. 완공 후 2000년 9월까지 10여년간 댐의 수문을 통한 방류가 없었으며 발전 방류만 실시되어 왔다 (2003년 7월 현재). 따라서 댐 하류부에서는 홍수가 발생하지 않았으며, 이로 인해 댐 하류부에 새로운 생태계가 조성되었다. 본 연구에서는 합천댐으로부터 약 6.5 km 하류부에 위치하는 조정지댐으로부터 낙동강 합류부까지 45 km 구간을 연구를 위한 대상유역으로 선정하였다. 대상유역의 월평균 강우량과 댐하류의 일유량은 한국수문조사연보 (건설교통부, 1983-2001)를

표 1. 하중도의 각 조사지점별 버드나무속 식물의 생장

조사지점	연령 (년)	높이 (m)	밀도 (no./a)	기저직경 (mm)*
1	6	5	264	22.9
2	5	4	448	16.8
3	3 또는 4	4	736	17.6
4	2	3	289	11.8
5	1	1	14400	2.8

\*기저직경은 하상에서 20 cm 높이에서의 식생직경을 의미함

표 2. 조정지댐 하류부터 낙동강 합류점까지 사주 식생 피복 면적의 변화

연도	맨 사주 면적(km <sup>2</sup> ) A	식생 사주 면적 (km <sup>2</sup> ) B	B식생 점유율 (%) B/(A+B)	비고
1982	5.7	0.2	3.4	
1996	2.4	3.5	59	활착률 16배 증가

표 3. 합천교부터 낙동강 합류점까지 사주 식생 피복 면적의 변화

연도	맨 사주 면적(km <sup>2</sup> ) A	식생 사주 면적 (km <sup>2</sup> ) B	B식생 점유율 (%) B/(A+B)	비고
1982	4.4	0.1	2.3	
1996	0.9	3.5	80	활착률 33배 증가

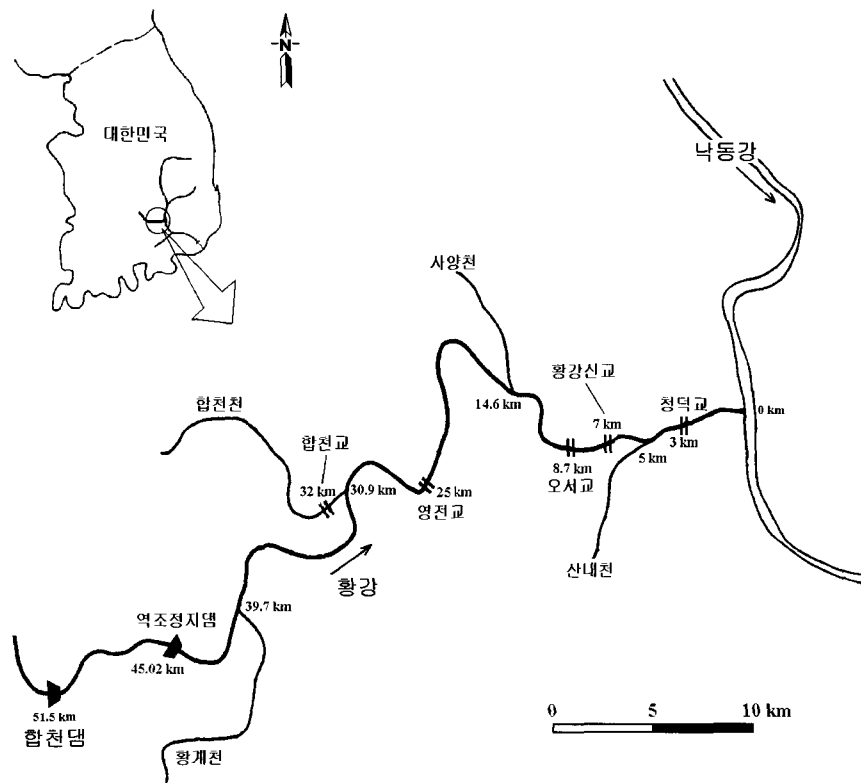


그림 1. 황강 합천댐의 위치

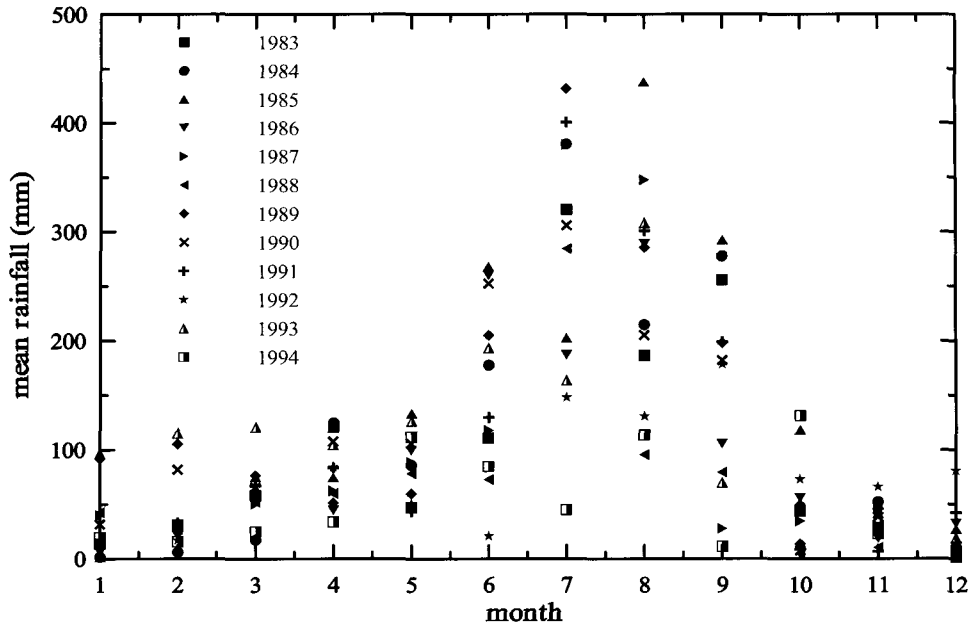


그림 2. 황강유역 연도별 월평균 강우량

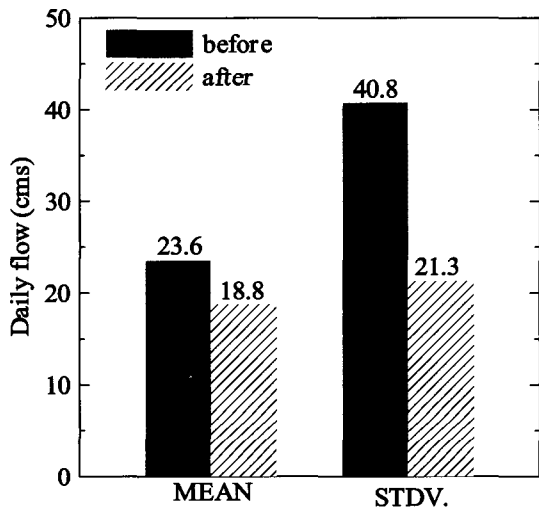


그림 3. 일유량 자료의 평균 및 표준편차

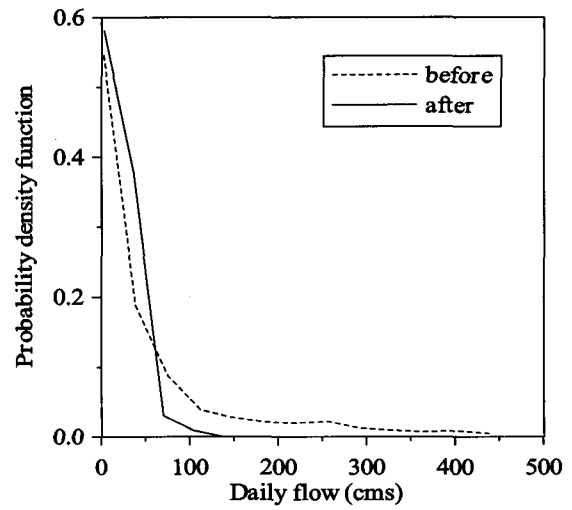


그림 4. 일유량 자료의 확률밀도함수

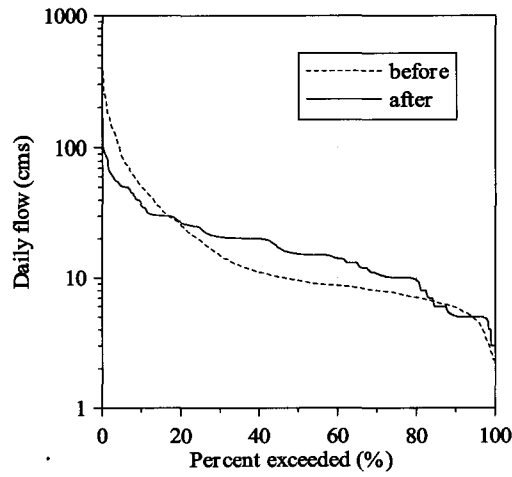


그림 5. 유황곡선

참고하였다.

그림 2는 1983년부터 1994년까지 황강유역의 연도별 월 평균 강우량을 도시한 것이다. 그림의 자료로부터 연강우량은 621.8 mm (94년)-1702 mm (85년)의 범위안에 분포하며 연도별 강우량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 그러나 황강 유역의 경우 전반적인 강우는 7월과 8월에 집중되어 우리나라의 강우 특성과 일치한다. 댐 완공 전후 6년간 월 강우량의 변동성을 검토하기 위하여 월강우량의 표준편차를 살펴보았는데 최소값과 최대값은 각각 18.2 mm와 120.5 mm로서, 댐 완공 전후 강우 경향에는 차이가 없는 것으로 나타났다.

조정지댐으로부터 방류된 일유량을 사용하여 유황분석을 수행하였다. 댐 건설 전·후의 일유량 자료는 각각 1970-1982년, 1989-2001년 자료를 사용하였다. 그림 3은 댐 건설 전·후 일유량의 평균값 및 표준편차를 비교한 것이다. 댐 건설 전 일유량의 평균값이 건설 후의 값보다 약간 더 크지만 심각한 차이를 보이고 있지는 않다. 댐 건설 후 일유량의 표준편차는 댐 건설 전에 비해 반 정도로 감소한 것으로 나타났다. 이는 댐의 유량 조절 기능에 의해 일유량 자료의 변동이 크게 감소된 것을 의미한다.

그림 4는 댐 건설 전·후 일유량에 대한 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 그림을 살펴 보면 3-10 cms에 해당하는 극히 작은 유량이 댐 건설에 관계없이 발생할 확률이 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 댐 건설 후 1989-2001년의 기간 동안 140 cms보다 큰 유량이 발생할 확률은 거의 없는 것으로 나타났다.

그림 5는 하천유량의 변동성을 조사하기 위해 유황곡선(flow duration curve)을 그린 것으로 댐의 유량 조절 효과가 매우 잘 나타나 있다. 즉, 초과확률이 약 18% 이하의 고유량 부분에서는 유량이 댐 건설 후 감소한 것을 볼 수 있는 반면, 초과확률이 약 18% 이상의 저유량 부분에서는 댐 건설 후 유량이 증가한 것으로 나타났다.

그림 6은 1983년 댐 건설 전과 2002년 댐 건설 후에 실측된 하상고의 종방향 분포를 나타낸 것이다 (건설부, 1983; 건설교통부, 2002). 낙동강 합류부로부터 상류쪽 약 20 km 구간에서는 하상고의 변화가 거의 없는 것으로 나타난 반면, 이상의 상류부 25 km 구간에서는 극심한 하상저하 현상이 발생한 것을 볼 수 있다. 최대침식고는 3.5 m로서 합류부로부터 약 39 km 떨어진 지점에서 발생하였다.

그림 7은 하천수로 횡단면의 변화를 나타낸 것으로 (건설부, 1983; 건설교통부, 2002), 그림 7(a)-(c)은 각각 합류부 지점, 합류부로부터 12.5 km와 35.5 km 떨어진 지점에서 댐 건설 전·후 횡단면의 변화를 나타낸 것이다. 그림 7(a)를 살펴 보면 합류부지점에서는 단면이 횡

방향과 수심방향으로 확장되는 것을 볼 수 있다. 이는 하도 침식 등에 의한 자연적인 현상이 아니라 수로의 통수단면을 확대하기 위한 하천공사에 의한 것이다. 그림 7(b)를 보면 단면의 변화가 거의 없는 것으로 나타났지만, 그림 7(c)에서는 댐 건설 후 단면의 하상이 하강한 것을 볼 수 있다. 이는 그림 6에서 나타난 하상고의 종단 분포의 변화와 일치하는 것이다.

댐 건설 후 하상의 변화양상을 파악하기 위해 건설교통부 (2002)의 실측자료를 참고하였다. 대상유역의 경사는 대략 세 구간으로 분류되는데, 합류부로부터 15 km 이내의 구간은  $S = 1/2,100$  이고, 그 후 10 km 구간은  $S = 1/1,200$ , 댐까지 20 km의 구간은  $S = 1/700$  이다. 조도계수 (Manning's  $n$ )는 0.055로서 전체 대상유역에 대해 동일한 값이 제시되어 있다.

그림 8(a)와 (b)에는 최근에 측정된 하상토의 입도분포와 중앙입경 ( $D_{50}$ )의 종방향 분포를 각각 나타내었다 (건설교통부, 2002). 그림을 살펴 보면 주로 모래로 구성되어 있으며 입자는 매우 균일한 것으로 나타났다. 또한 합류부로부터 20 km 이내의 구간에서는 고운 모래질 하상인 반면, 이상의 25 km 구간에서는 굵은 모래질 하상인 것을 볼 수 있다. 이는 하천수로의 상류부 침식현상에 의한 직접적인 결과라 할 수 있다.

그림 9(a)는 유량에 따른 하상전단응력의 종방향 분포를 나타낸 것이다. 하상에 작용하는 전단응력을 산정하기 위하여 HEC-RAS 프로그램 (HEC, 1998)을 사용하여 흐름해석을 실시하였다. 그림 9(a)에 의하면 큰 유량에 대하여 하상에 작용하는 전단응력의 크기도 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 저유량 (10 또는 20 cms)에 대해서는 전구간에 걸쳐 하상전단응력이 큰 차이를 보이지 않지만, 고유량에 대해서는 합류점으로부터의 거리가 20 km 이상인 구간에서는 증가하는 양상을 보인다. 하상전단응력이 이러한 분포를 보이는 것은 하상경사의 영향이다.

하상 입자의 운동가능성을 검토하고자 그림 9(b)에는 무차원 하상전단응력의 분포를 도시하였다. 전단응력을 무차원으로 만들기 위하여  $vD_{50}S$ 로 나누어 주었다 (여기서  $v$ 는 물의 단위중량이다). Shields의 한계전단응력에 의하면 10 또는 20 cms의 저유량인 경우 합류점으로부터 약 20 km 지점을 기준으로 상류구간에서는 입자가 이동하지 않으나 하류구간에서는 입자의 이동이 있을 것으로 예상된다. 따라서 하류 20km 구간에서는 향후 지속적인 장갑화 현상이 발생할 것으로 보인다. 100 cms와 같은 고유량에 대해서는 상류 구간의 경우 소류사 형태의 유사이동이 예상되며 하류구간의 경우에는 소류사와 부유사가 혼합된 형태의 유사이동이 예상된다. 이것은 장갑화로 인하여 하류 구간의 입자가 상류보다 크기 때문이다.

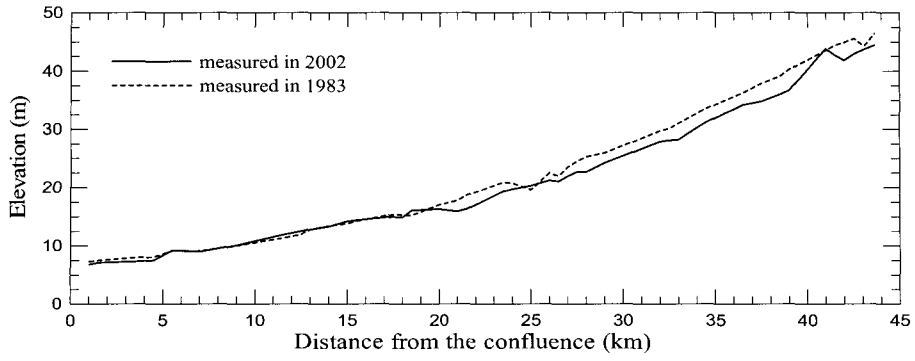
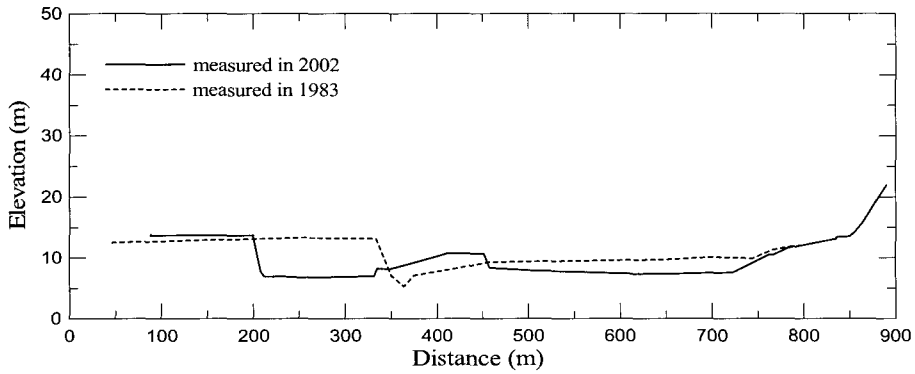
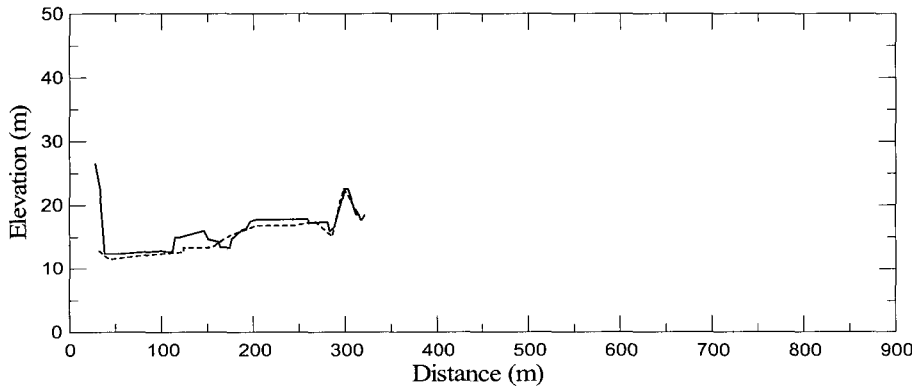


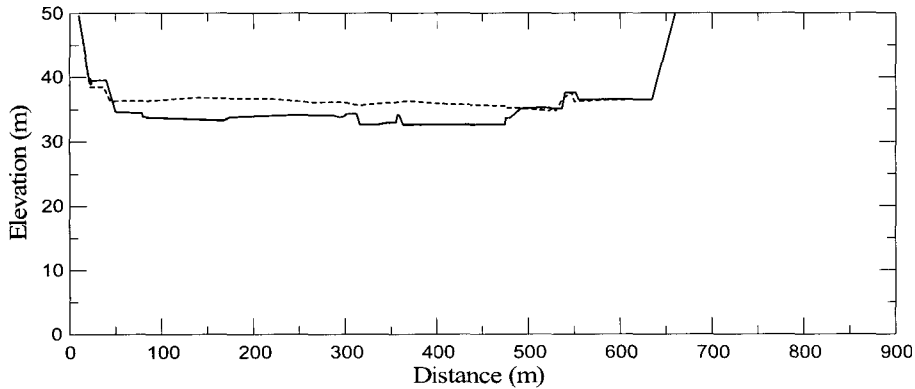
그림 6. 대상유역 하상고의 종단면도



(a) 합류부 지점

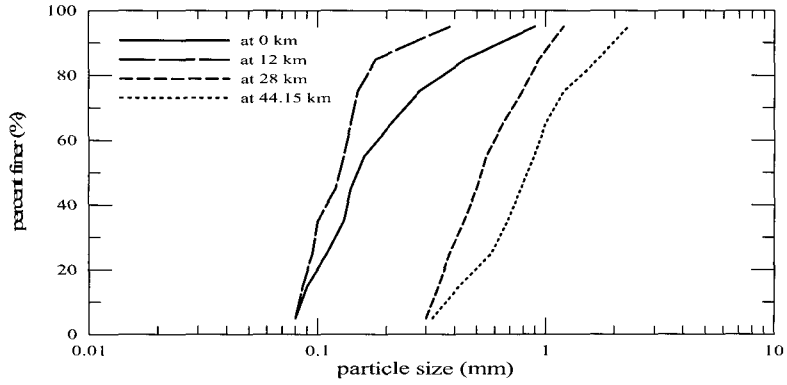


(b) 합류부로부터 12.5 km 지점

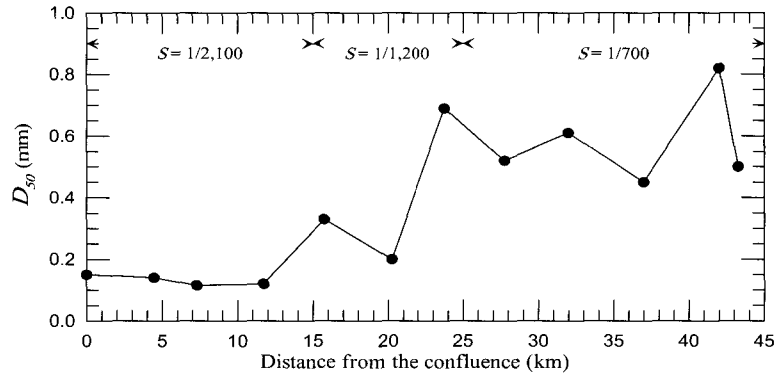


(c) 합류부로부터 35.5 km 지점

그림 7. 대상유역 횡단면의 변화

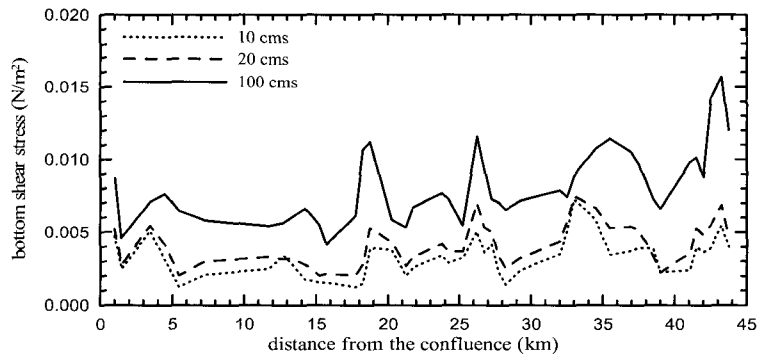


(a) 하상토의 입도분포

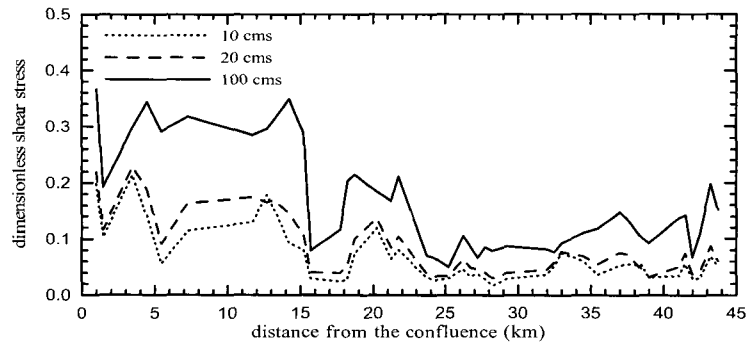


(b) 중앙입경의 분포

그림 8. 대상구역의 하상재료 특성 (2002년 실측자료)



(a) 하상전단응력



(b) 무차원 하상전단응력

그림 9. 종방향 하상전단응력의 분포

### 3. 사주에서 식생피복의 변화

본 연구에서는 3회에 걸쳐 현지답사를 수행하였다 (2001년 5월, 9월, 11월). 대상구역의 상류단인 조정지댐과 하류단인 낙동강합류부 사이의 약 45 km 구간을 조사하였다. 2001년 5월의 첫 답사에서는 육안 및 사진 촬영을 이용하여 개략적인 조사를 실시하였다. 그림 10과 11은 각각 황강교 하류부와 청덕교 상류부에 형성된 전형적인 식생 사주를 보여준다. 장기간 홍수가 발생하지 않아 건전한 생태환경이 조성되어 있는 것을 볼 수 있다.

2001년 9월의 두 번째 답사에서는 오서교 하류부의 비교적 작은 유역을 선정하여 연구 및 집중조사를 수행하였다. 그림 12는 현지조사를 통해 얻은 식생 분포도를 나타낸 것이다. 나무군집 (woody communities)의 경우 2.5 m×2.5 m 그리고 풀군집 (herbaceous communities)의 경우 1 m×1 m 크기의 방형구를 설치하여 각 식물종의 피복도 (coverage)를 조사하였다. 연구대상

구역에서 물억새 (Ms), 갈대 (Pa), 큰개여뀌 (Pn), 버드나무속 (Sg), 그리고 강아지풀 (Sv)이 발견되었다. 식생 사주뿐만 아니라 사주와 고수부지가 접하는 부분에 버드나무속 (Sg) 식물군집이 발달한 것으로 나타났다.

그림 13은 조사대상 구간에서 식생의 나이테 분석을 실시한 하중도의 위치를 나타낸 것이다. 조사지점 5는 기존 하중도의 상류에 새로 형성된 작은 섬에 위치한다. 하중도의 식생은 주로 버드나무속 식물로 구성되어 있었다. 버드나무속 식물에 대하여 지면에서 20 cm 높이에서 줄기의 기저직경을 버니어 캘리퍼스로 측정하였다. 또한 4개의 줄기를 지면에서 20 cm 높이에서 잘라서 원편을 채취하였으며, 이 원편을 이용하여 나이테의 직경생장을 버니어 캘리퍼스로 측정하였다. 표 1은 하중도의 각 조사지점별 버드나무의 연령, 높이, 밀도, 그리고 기저직경을 나타낸 것이다. 사주의 버드나무 군집의 연령은 상류단에서 하류단으로 갈수록 6년에서 2년으로 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 유사의 퇴적이 하중도의 하류방향으로 발생하여 면적이 증가한 것



그림 10. 황강교 하류부의 식생 사주

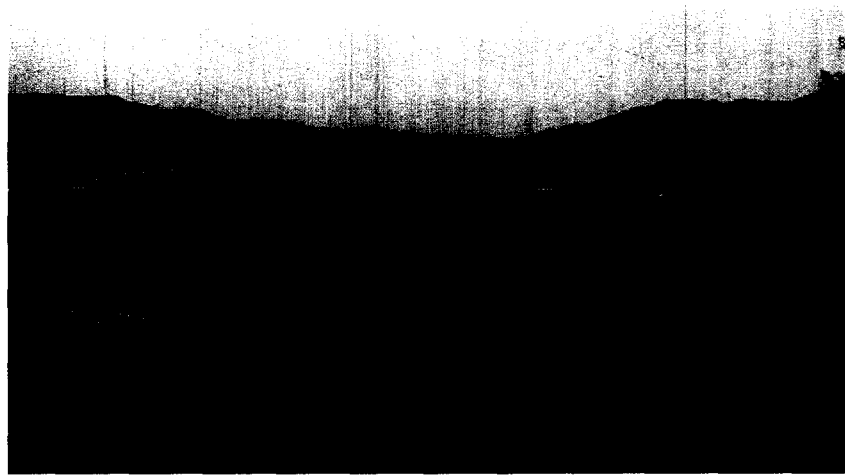


그림 11. 청덕교 상류부의 식생 사주



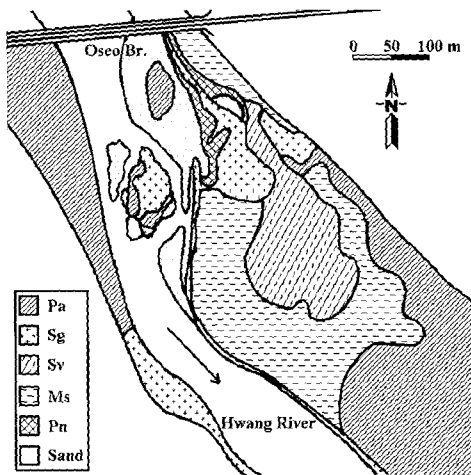


그림 12. 조사구역의 식생 분포도:  
물억새 (Ms), 갈대 (Pa), 큰개어귀 (Pn),  
버드나무속 (Sg), 강아지풀 (Sv)

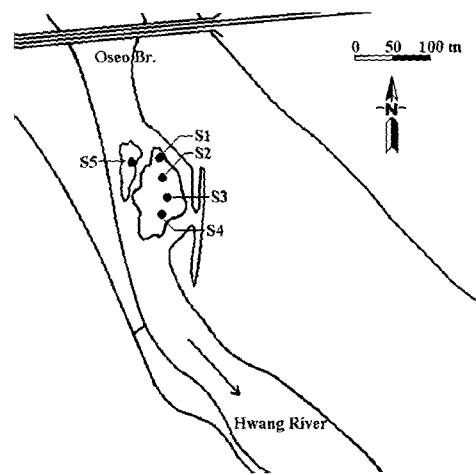


그림 13. 조사대상 구간의 위치도



그림 14. 조사 구간의 하중도



그림 15. 침식으로 소멸되는 식생 사주



(a) 1982년



(b) 1996년

그림 16. 댐 건설 전·후 대상구역의 항공사진

을 의미한다. 앞의 그림 9에 의하면 조사대상 구간에서 고유량에 대하여 부유사 형태의 유사이동이 이루어지며, Tsujimoto (1999)의 주장대로 하중도 후미에 부유사가 퇴적된 것으로 판단된다.

2001년 11월에는 황강 상류 영전교부터 하류 황강신교까지 보트를 이용하여 수상 답사를 하였다. 이를 통해 하천수로의 침식에 의해 많은 하중도가 형성 또는 소멸된 것을 알 수 있었다. 그림 14는 하천수로 내에서 수류의 침식작용에 의해 소멸되어 가는 전형적인 하중도를 나타낸 것이며, 그림 15는 동일 작용에 의해 거의 소멸된 하중도를 보여준다. 전술한 바와 같이 Tsujimoto (1999)는 매해 반복되는 홍수로 인해 하도내 하중도는 상류측 혹은 하류측으로 면적을 늘려 나간다고 주장하였고, 이는 본 연구의 표본조사 대상인 하중도에서도 검증된 바 있다. 그러나 현지조사를 통하여 합천댐 하류와 같이 장기간 홍수가 발생하지 않은 상황에서는 간헐적인 방류로 인해 사주가 범람, 침식되어 여러 개의 하중도로 분리되고, 지속적인 침식으로 점차 작아지면서 중국적으로 소멸될 수도 있다는 것을 경험할 수 있었다. 이는 하중도 뒷부분에 등뼈 모양의 모래 꼬리와 소멸 직전의 하중도 등에서 간접적으로 확인할 수 있다. 즉, Tsujimoto (1999)가 주장한 하중도가 우연히 활착된 식생에 의해 점차 성장한다는 가설은 본 연구의

경우 적용될 수 없는 것으로 나타났다.

1988년 댐 건설 후, 3-20 cms의 지속적인 발전 방류로 인해 하류부의 유량이 조절되었다. 댐 건설 후 댐 하류부의 홍수발생 빈도는 댐 건설 전과 비교할 때 훨씬 감소하였다. 충적하천에서 댐 건설이 식생의 성장에 미치는 영향을 분석하기 위해 댐 건설 전·후의 항공사진을 비교하였다. 그림 15(a)와 (b)는 각각 댐 건설 전 (1982년)과 댐 건설 후(1996)의 대상구역에 대한 항공사진을 나타낸 것이다. 그림 15(a)는 점사주 (point bars)와 대응사주 등 많은 사주가 존재하는 것을 보여준다. 반면에 댐 건설 후 8년이 지난 1996년에는 대부분의 사주가 식생 (사진에서 회색으로 나타남)에 의해 피복되어 있는 것을 볼 수 있다.

표 2와 3은 댐 건설 전·후의 사주의 식생활착의 변화로서 맨 사주면적, 식생 사주 면적 및 식생 점유율 (총 사주 면적에 대한 식생 사주 면적의 비)을 나타낸 것이다. 표에서 댐 건설 후 전체구역에 걸쳐 식생 점유율이 16배 증가한 것을 볼 수 있으며, 합천교에서 합류부에 이르는 구역에 대해서는 33배 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 댐 건설 후 하류부 홍수발생 빈도의 감소에 의해 식생이 하천 사주에서 대폭적인 범위로 확장한 것을 의미한다. 또한 상류구간에 비해 하류구간에 식생 사주의 점유율이 큰 것은 합천교부터 댐에 이르는 상류구

간은 댐 건설 후 하상침식에 의해 사주에 식생 활착의 기회가 적은 반면, 하류구간은 하상이 안정되어 식생 성장의 기회가 더욱 많았기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

황강 상류에 위치한 합천댐은 1988년 완공후 2000년 9월까지 10여년 동안 저수량의 부족으로 발전방류만 실시하여 왔으며 수문을 통한 방류는 이루어지지 않았다. 이로 인해 댐 하류부에 전반적으로 새로운 생태계가 조성되었다. 따라서 본 연구에서는 댐 건설에 따른 합천댐 하류부의 지형학적인 변화와 식생 피복의 증가를 분석하였다.

유형분석을 실시하여 댐 건설 후 고유량의 발생빈도가 감소하였고 저유량의 경우 발생빈도는 증가한 것을 보였다. 조정지댐으로부터 25 km 이내의 구간에서 하상저하 현상이 관측되었으며, 최대침식고는 3.5 m인 것으로 나타났다. 10년간 댐의 유량조절에 따른 하상재료의 분급현상에 의해 상류 25 km 구간에서는 굵은 모래 그리고 하류 20 km 구간에서는 고운 모래로 하상재료가 구성되어 있는 것으로 나타났다.

현지조사를 통해 식생종 및 식생밀도를 조사하였다. 다양한 식생종 군집이 수변에 형성되어 있는 것을 알 수 있었다. 하중도뿐만 아니라 사주와 고수부지가 접하는 부분에 버드나무속 식물군집이 발달되어 있는 것으로 나타났다. 나이에 분석을 통해 하중도의 상류부에서 하류부로 갈수록 버드나무 군집의 연령이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 하중도가 부유사의 퇴적에 의해 점차 하류부로 성장한다는 것을 의미하는 것으로 Tsujimoto (1999)의 주장과 일치하는 것이다. 그러나, 현지조사를 통하여 하중도 뒷부분에 등뼈 모양으로 소멸 직전의 하중도 등도 관찰되었다. 이는 댐 건설로 인해 홍수가 소멸된 하천에서 Tsujimoto (1999)의 주장과 같이 항상 하중도가 지속적으로 그 면적을 확장해 나가는 것이 아니라는 것을 확인하였다. 댐 건설 전·후 대상유역 항공사진의 비교를 통해 전체 유역의 경우 식생 점유율이 16배 증가하였으며, 하류부 30 km에 걸친 유역에서는 33배 증가한 것으로 나타났다. 이를 통해 식생 피복의 변화가 하상의 침식 및 퇴적의 지형학적 변화와 연관되어 있다는 것을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 국제수문개발계획 (IHP) 연구사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다. 또한, 수리계산을 도와준 연세대학교 대학원의 양원준 군에게도 고마움을 표합니다.

#### 참고 문헌

- 건설부 (1983). 낙동강 하천정비기본계획, 건설부 보고서/ 건설교통부 (1983-2002). 한국수문조사연보, 건설교통부 보고서.
- 건설교통부 (2002). 낙동강유역 황강하천정비기본계획, 건설교통부 보고서.
- Araki, K., Tono, T., Kamada, M., Yuki, T., and Okabe, T. (2001). "Temporal change of woody plant distribution on bars in relation to the change of physical condition of bar-beds in middle and lower reaches of Naka River, Shikoku, Japan". *Proceedings of 28<sup>th</sup> Annual Meeting of Environmental System Research 2001*, pp. 51-56 (in Japanese).
- Choi, S.-U., Kang, H., and Yeo, K. (2003). "Flow and sediment transport in emerging vegetated zone". *Ecology and Civil Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 87-96.
- Hydrology Engineering Center (1998). *Hec-Ras river analysis system user's manual*, US Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Johnson, W.C. (1994). "Woodland expansion in the Platte River, Nebraska: Patterns and causes". *Ecological Monographs*, Vol. 64, pp. 45-84.
- Johnson, W.C., Burgess, R.L., and Keammer, E.R. (1976). "Forest overstory vegetation and environment on the Missouri River floodplain in North Dakota". *Ecological Monographs*, Vol. 46, pp. 59-84.
- Kamada, M., Kojima, M., Yoshida, R., Asai, K., and Okabe, T. (2002). "Influence of dam construction on distribution of riparian plant communities in Katsuura River", Shikoku, Japan. *Ecology and Civil Engineering*, Vol. 5, pp. 103-114 (in Japanese).
- Kamada, M. and Okabe, T. (1998). "Vegetation mapping with the aid of low-altitude aerial photography". *Applied Vegetation Science*, Vol. 1, pp. 211-218.
- Kohri, M., Kamada, M., Okabe, T., and Nakagoshi, N. (2000). "Distribution pattern of *Elaeagnus umbellata* communities on the gravel bars in relation to hydrogeomorphic factors in Yoshino River, Shikoku", Japan. *Environmental Systems Research*, Vol. 28, pp. 353-358 (in Japanese).

- Kohri, M., Kamada, M., Yuuki, T., and Okabe, T. (2002). "Expansion of *Elaeagnus umbellata* communities on a gravel bar in the Naka River, Shikoku", Japan. *Plant Species Biology*, Vol. 17, pp. 25-36.
- Okabe, T., Anase, Y., and Kamada, M. (2001). "Relationship between willow community establishment and hydrogeomorphologic process in a reach of alternate bars". *Proceedings of the 29th Biennial Congress of IAHR*, Beijing, China.
- Tsujimoto, T. (1999). "Fluvial processes in streams with vegetation". *Journal of Hydraulic Research*. IAHR, Vol. 37, No. 6, pp. 789-803.
- Yang, T. Y. and Simoes, F.J.M. (1998). "Simulation and prediction of river morphologic changes using GSTARS 2.0". *The 3<sup>rd</sup> International Conference on Hydro-Science and Engineering*.
- Yoon, B. and Woo, H. (2000). "Forum article: Sediment problems in Korea". *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, Vol. 126, No. 7, pp. 486-491.
- (논문번호:03-62/접수:2003.07.23/심사완료:2003.12.20)