

# 댐 하류하천의 사주와 식생 면적 변화에 관한 연구

## A Study on the Sandbar and Vegetation Area Alteration at the Downstream of Dam

박 봉 진\* / 장 창 래\*\* / 이 삼 희\*\*\* / 정 관 수\*\*\*\*

Park, Bong Jin / Jang, Chang Lae / Lee, Sam Hee / Jung, Kwan Sue

### Abstract

In this study, area variation, index and degree of alteration, temporal variation of the sandbar and vegetation were analyzed using aerial photographs during the pre and post dam construction at the downstream of dam. Analysis result of the sandbar area was decreased 17 %. Sandbar area was 38 % of the channel areas at the pre dam, but 21 % at the post dam. Alteration indices of the sandbar were  $-0.9921 \sim 2.9528$ . Analysis result of the vegetation area was increased 13 %. Vegetation area was 11 % of the channel areas at the pre dam, but 24 % at the post dam. Alteration indices of the vegetation were  $-0.8908 \sim 12.0736$ . Temporal variation of the sandbar and vegetation were analyzed at the An Dong dam, Im Ha dam, Hap Chun dam. Analysis result of the sandbar was decreased 42,600 m<sup>2</sup> per year, but vegetation was increased 51,700 m<sup>2</sup> per year. Sandbar area was decreasing more fast than vegetation area increasing.

**keywords** : Sandbar, Vegetation, Index of Alteration, Degree of Alteration

### 요 지

본 연구는 댐 건설 전·후 항공사진을 활용하여 댐 하류하천의 사주와 식생의 면적변화, 변화지수, 변화정도와 경년변화를 비교·분석 하였다. 사주면적 변화를 분석한 결과, 댐 건설전의 사주면적은 하천면적의 38 %이었으나, 댐 건설후에는 21 %로 17 %가 감소하였으며, 변화지수는  $-0.9921 \sim 2.9528$  이었다. 식생면적 변화를 분석한 결과, 댐 건설전의 식생면적은 하천면적의 11 %이었으나, 댐 건설후에 24 %로 13 %가 증가하였으며, 변화지수는  $-0.8908 \sim 12.0736$  이었다. 안동댐, 임하댐, 합천댐의 사주와 식생의 경년변화를 분석한 결과, 사주면적은 연 42,600 m<sup>2</sup>씩 감소하였으나 식생면적은 연 51,700 m<sup>2</sup> 씩 증가하여, 사주면적의 감소 보다 식생면적의 증가가 큰 것으로 분석되었다.

**핵심용어** : 사주, 식생, 변화지수, 변화정도

\* 한국수자원공사 댐·유역관리처 하천유역팀장  
Head Manager, Korea Water Resources Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejeon, 306-711, Korea  
(e-mail: bongjinpark@kwater.or.kr)

\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원  
Korea Water Resources Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejeon, 306-711, Korea  
(e-mail: cljang@kwater.or.kr)

\*\*\* 건설기술연구원, 하천·해안연구실, 책임연구원  
Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology., 411-712  
(e-mail: samhee.lee@kict.re.kr)

\*\*\*\* 교신저자, 충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수  
Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, ChungNam National University, Daejeon, 305-764  
(e-mail: ksjung@cnu.ac.kr)

## 1. 서론

사주는 물과 유사의 상호작용으로 형성되는 하천의 형태중 하나이며 사런, 사구와 같은 소규모 하상형태에서 규모가 확대된 중규모 하상형태로써 지속적인 이동과 형태변화를 거듭한다. 그러나 댐 등과 같은 하천의 시설물과 유역의 인위적인 변화로 유발되는 유량과 유사 변화는 사주의 이동성이 둔화되고, 하도내 사주형태와 식생 분포에 커다란 변화를 가져오게 된다(최성욱 등, 2004; Gordon and Meentemeyer, 2006).

댐은 홍수기 동안 일시적으로 유입하는 홍수량을 저류하여 하류하천의 홍수를 조절하고, 갈수기 동안 발전과 안정적 용수공급을 목적으로 하고 있다. 따라서 댐으로 인하여 하류하천의 유량변화는 모래와 자갈로 형성된 이동상 사주를 고정화시키고 식생확대의 원인이 되고 있다(Shafroth *et al.*, 2002; Vanlooy and Martin, 2005).

국내에서 댐 하류하천의 사주와 식생에 관한 연구는 여운기 등(2004)이 안동댐과 임하댐 건설로 인한 하류하천의 하상변동, 식생 발달과 홍수소통 저감 특성을 연구하였으며, 최성욱 등(2004), Choi *et al.*(2005)은 합천댐 하류하천을 대상으로 댐 건설로 인한 유황변화와 지형학적 변화, 식생피복에 관한 변화를 연구하였다. 이삼희와 옥기영(2007)의 낙동강 안동댐 하류 하회지구의 이동상 모래하천의 식생변화 과정과 수리모형실험을 통한 만곡부 사주의 거동특성을 연구하였다.

외국에서는 Shafroth *et al.*(2002)이 미국의 Arizona의 댐 건설로 교란과 스트레스를 받고 있는 Williams River와 댐의 영향을 받지 않는 Santa Maria River의 하천식생의 변화에 관하여 연구하였다. Gordon and Meentemeyer(2006)가 California 유역 Russian River의 Warm Springs 댐 건설과 토지이용 변화가 하류하천의 지형과 식생변화에 미치는 시간적 공간적 영향을 분석·제시 하였고, Richard *et al.*(2005)은 미국 Wyoming주 Snake River의 Jackson Lake 댐 건설에 따라 하류하천에 홍수터의 지형과 식생변화에 관하여 연구하였다. Vanlooy and Martin(2005)은 Southwestern Kansas의 Cimarron River가 침투 홍수량 감소로 하폭이 감소하고 하천 식생이 증가하였다고 연구 결과를 제시하였다. Jang and Shimizu(2007)는 식생의 밀도증가에 따른 저수로의 변동특성을 실내실험 및 수치모형을 적용하여 그 특성을 연구하였다.

그동안의 하천계획은 하천단면, 하상경사, 하상재료 등 하천의 물리적인 구조와 하도특성이 주된 관심 대상

은이었으나, 최근에는 하도내 식생도 중요한 요인으로 인식되고 있다. 그러나 우리나라는 하천의 사주와 식생 변화에 관한 조사와 연구가 상당히 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 소양강댐 등 21개 댐을 대상으로 하류하천의 사주와 식생의 면적변화, 변화지수, 변화정도와 안동댐, 임하댐, 합천댐 하류하천의 사주와 식생 면적의 경년변화를 분석하였다.

## 2. 사주와 식생의 발달 메커니즘

사주는 사런, 사구와 같은 소규모 하상형태가 중규모로 확대된 하상형태로써 흐름의 저항과 국부적인 하상변동에 직접 관련되어 있다(우효섭, 2004). 일반적으로 충적하천에서 사주는 점사주(Point bar), 교호사주(Alternate bar), 중간사주(Middle bar), 지류사주(Tributary bar) 등의 형태를 나타내며, 지속적인 이동과 형태변화를 거듭하고, 위치, 형태, 크기는 하도의 선형, 하상 재료, 하폭과 수심의 비 등에 의해 결정된다.

점사주는 하도 만곡부의 안쪽에 반원형으로 생기는 모래 둔덕이며, 교호사주는 하도의 양안에 교대로 생기는 기다란 모래 둔덕이다. 중간사주는 하도의 가운데 섬처럼 생기는 비교적 기다란 모래 둔덕이며, 지류사주는 지류가 본류에 유입하는 합류점 직하류에 생기는 모래 둔덕이다. 특히 교호사주는 하도구간에서 형성되는 하상형태로서 서서히 하류로 이동하는 성격을 가지고 있어, 하안을 따라 하상이 깊게 세굴되어 웅덩이를 형성시키고 홍수시 주 흐름이 하안 혹은 강터에 충돌하여 수충부를 형성시켜 하안침식과 호안손실을 일으키는 원인이 된다. 따라서 교호사주의 이동이 하안 혹은 강터 침식과 사행의 발달에 미치는 영향을 파악 하는 것이 하천의 계획과 관리에 중요한 요소이다(장창래와 정관수, 2006).

사주의 이동과 변화 과정은 사주의 식생발달에 의해 큰 영향을 받게 된다. 강터에서 발달한 식생은 강터의 안정성을 증가시켜 하도내 사주의 이동속도를 크게 하지만, 하도내 사주에서 발달한 식생은 사주의 이동을 고정시키고 하도의 사행을 크게 한다(Jang and Shimizu, 2007).

하천 식생은 하천주변의 수변식생과 홍수위 아래에 있는 수로상의 하도식생으로 분류한다(건설기술연구원, 2000). 식생은 홍수소통에 지장을 주기도 하지만, 하천 생태계의 먹이사슬에서 생산자로서의 기능, 생물서식처 기능, 자정 기능, 경관 기능 등의 하천환경에 많은 역할을 하고 있다. 식생의 활착은 지형변화, 지하수 침투, 토양습윤, 홍수지속시간, 홍수빈도, 영양물질 가용성 등의 직접적인 영향을 받으며, 천이단계를 거치면서 안정

식생으로 변화 하면서 하천 고유의 생물 서식환경을 형성하게 된다(Williams and Wolman, 1984; Egger, 2007).

사주는 상류에서 유입하는 사립자들의 퇴적층 구조를 형성하고, 식생의 활착과 성장에 유리한 환경을 제공한다. 사주에 퇴적한 세립토층은 홍수 등의 교란이 감소하고 수분조건이 충족되면 초본식생이 활착한다. 또한 새로 활착한 식생에 의해 세립토의 퇴적이 증가하여 사주는 확대·고정화되어 식생의 성장에 더욱 유리한 조건으로 형성하게 된다. 사주의 식생은 국지적으로 활착되었다가도 주기적, 비주기적 교란에 의해 소멸, 생성되는 과정을 반복한다(Egger, 2007). 그러나, 댐은 사주의 고정, 침수기간 및 빈도 감소와 지하수위 저하 등으로 다년생 초본과 목본류의 활착 기회를 증가시키고 안정식생으로 천이가 가속화 하게 되는 원인을 제공한다(Williams and Wolman, 1984). 사주내 식생의 형성 과정에 대해 Egger(2007)는 다음과 같이 3단계로 구분하여 제시하였다.

첫째, 초기단계(Colonization)는 초기 식생이 유랑과 바람 등에 의해 종자가 이동하여 사주에 활착하게 되며, 주로 일년생 초본위주의 단순 식생구조를 형성한다. 자연 이동상 하천에서 초기 식생은 다음 홍수기시 침식, 침수로 소멸되고 일부는 하류부에 이송되어 활착되는 과정을 거치면서 하천의 지형변동과 함께 건전한 하천생태계 유지에 기여한다.

둘째, 천이단계(Transition)는 홍수빈도 저하, 지하수위 감소, 침수기간 감소, 수온 변화 등의 사주부 서식환경 변화로 수생식물은 소멸시키고, 달뿌리풀, 물억새, 갈대 등과 같은 준육상 식물이 활착하여 식생 피복율이 현저히 증가하고 개체수와 종다양성이 증가하는 등 일년생 구조에서 다년생 초본, 관목, 교목이 우세한 다층 구조로 천이한다.

셋째, 안정단계(Maturation)는 다년생이 우세하며, 우점종이 몇 세대동안 스스로 교체하고 종다양성이 감소하게 된다.

### 3. 자료수집 및 분석방법

본 연구에서는 댐 하류하천에서 사주와 식생면적의 시간적·공간적 변화특성을 분석하기 위하여 Fig. 1 및 Table 1과 같이 소양강댐 등 21개 댐의 하류하천을 대상으로 하였다.

사주와 식생면적의 시간적·공간적 변화 특성은 국토지리정보원으로부터 댐 설치 전·후 항공사진을 구입하여 비교·분석하였다. 항공사진을 이용한 사주와 식

생 분석은 하천 주변지역의 토지이용 변화, 사주와 식생 면적의 증가 및 감소 등의 추세를 파악하는데 유용한 정보를 제공하지만, 촬영시기, 촬영방법, 분석방법 등에 따라 정량화하는데 한계가 있다. 따라서 분석의 정밀도를 높이기 위하여 국가수문정보시스템에서 제공하는 비행촬영정보와 하천정비기본계획의 도면정보를 병행하여 비교·분석하였다.

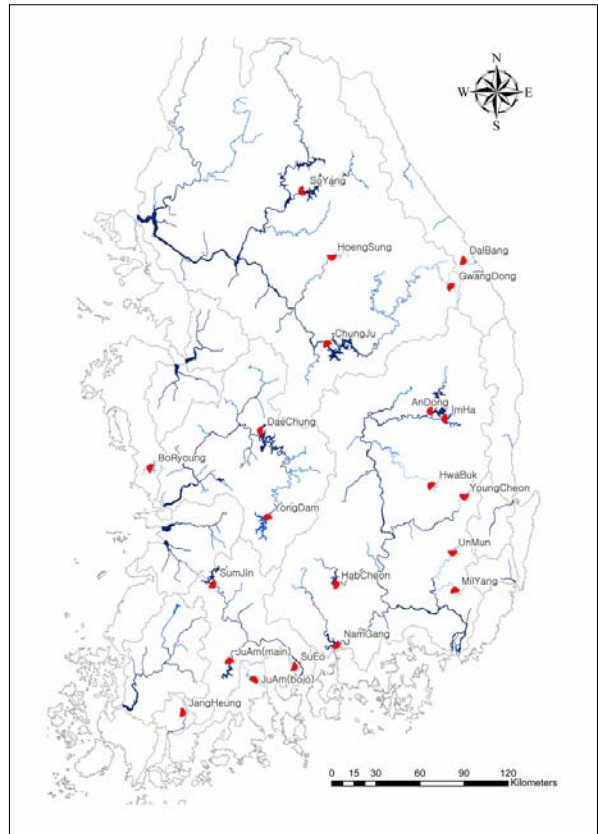


Fig. 1. Location Map of the Study Dam

사주와 식생의 면적은 항공사진의 촬영 시기에 따라 차이가 크기 때문에 분석 대상의 항공사진이 같은 시기에 촬영된 영상을 대상으로 하였다. 그러나 같은 시기의 항공사진을 구입할 수 없는 경우에는 가장 가까운 시기의 자료를 입수하여 분석하였다(Table 1 참조).

사주와 식생의 면적을 산정한 절차는 정사영상을 생성하기 위하여 국토지리정보원에서 구입한 항공사진을 표정(내부표정, 상호표정, 절대표정)을 거쳐 한장의 항공사진으로 모자이크 하고, 모자이크한 항공사진을 수치지도와 합성하여 AutoCad를 이용하여 수치지도상에서 사주와 식생의 면적을 산정하였다.

사주면적은 하도내 사주를 식생면적은 하도식생을 대상으로 하여 산정하였다. 특히 식생면적은 항공사진으로 정확히 구분할 수 없는 경우 현장조사와 국가

Table 1. Sandbar and Vegetation Analysis Aerial Photographs

River Basin	Dam	River	Analysis Reach	Reach length (km)	Sequence of aerial photographs
Hangang	Soyanggang	Soyanggang	North Hangang confluence	11.3	1979, 2000
	Chungju	Hangang	Sumgang confluence	46.0	1974, 1995~2006
	Hoengseong	Gyeocheon	Hangang confluence	65.0	1977~1981, 2000~2006
	Kwangdong	Golgi	Imgyecheon confluence	31.0	1981, 2005
	Dalbang	Sinheung	Juncheon confluence	17.1	1979, 1996
Geumgang	Daechong	Geumgang	Mihocheon confluence.	26.0	1968, 1983, 1995, 2003
	Yongdam	Geumgang	Daechung Dam	117.0	1984~1985, 1992, 2002~2003
	Boryeong	Ungcheon	Ungcheon confluence	14.0	1984, 1992, 2003
Sumjingang	Seomjingang	Sumjingang	Oscheon confluence	27.6	1970, 1985, 1993, 2003
	Juam	Boseonggang	Sumjingang confluence	26.5	1970, 1985, 1996, 2003
	Juam(re.)	Iesacheon	Iesacheon confluence	13.0	1979, 1985, 1994, 2002
	Sueo	Sueocheon	Soeacheon confluence	9.0	1970, 1985, 1996, 2003
Youngsan gang	Jangheung	Tamjingang	Tamjingang confluence	27.3	1985, 1994, 2002
Nakdonggang	Andong	Nakdonggang	Naesungcheon confluence	65.0	1970~1971, 1979~1981, 1991, 2005
	Imha	Banbyeoncheon	Nakdonggang confluence	15.2	1979~1981, 1991, 2005
	Hwabuk	Wicheon	Bamcheon confluence	29.3	1992, 2004
	Yeongcheon	Jahocheon	Geumhogang confluence	13.0	1977, 2000~2004
	Hapcheon	Hanggang	Nakdonggang confluence	51.5	1976, 1982, 1993, 2004
	Namgang	Namgang	Nakdonggang confluence	78.4	1987, 1993, 2004
	Umun	Dongchangcheon	Milyang confluence	28.7	1982, 1993, 2004
	Milyang	Dangjangcheon	Milyang confluence	20.2	1982, 1993, 2004

수자원정보 시스템에서 제공하는 비행촬영 사진 정보를 활용 하였다. 따라서 본 연구에서는 항공사진과 수치지도, 현장조사, 비행촬영 정보 등을 모두 활용 분석 하여, 사주와 식생의 면적변화에 관한 전반적인 경향을 분석 하는 목적으로 충분한 정도를 확보하고 있다고 판단되며, 항공사진 분석의 정확도를 고려하여 분석결과는 10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>의 단위로 제시하였다.

#### 4. 댐 하류하천의 사주와 식생의 발달현황

##### 4.1 변화지수

사주와 식생의 면적은 항공사진을 분석하여 정량화된 수치로 제시할 수는 있지만, 하천별로 분석구간과 기간 등이 다르기 때문에 변화정도를 비교·분석 하기 위해 무차원화 또는 표준화 절차가 필요하다. 본 연구에서는 변화의 정도를 지표로 나타낼 수 있는 변화지수 (Degree of alteration)를 도입하여 분석하였다(Richter et al., 1996).

$$D = \frac{A_{post} - A_{pre}}{A_{pre}} \quad (1)$$

여기서 D 는 변화지수, A<sub>post</sub>는 댐 건설후, A<sub>pre</sub>는 댐

건설전 사주 또는 식생의 면적이다. 변화지수의 절대값이 클수록 변화정도가 높고, 0에 가까울수록 변화정도가 낮다. 양수의 경우는 증가의 추세를 음수의 경우는 감소 추세를 의미한다.

본 연구에서는 사주와 식생의 변화정도를 변화지수의 절대값이 0~0.33 범위 일때 “낮은 변화(Low alteration : L)”, 0.33~0.67은 “중간 변화(Moderate alteration : M)”, 0.68 이상은 “높은 변화(High alteration : H)” 로 분류하였다(Richter et al., 1996).

##### 4.2 사주현황 분석

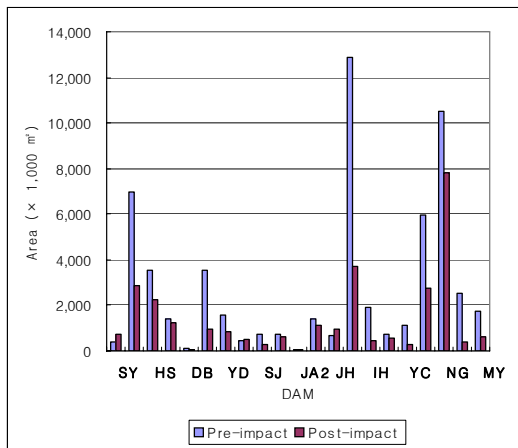
각 댐 하류하천의 사주현황을 분석한 구간은 Table 1에 기술하였으며, 분석 결과는 Table 2 및 Fig. 2와 같다.

댐 건설전 사주의 면적은 분석 구간내 하천면적의 평균 37 %이었으나, 댐 건설후 21 %로 16 %가 감소하였다.

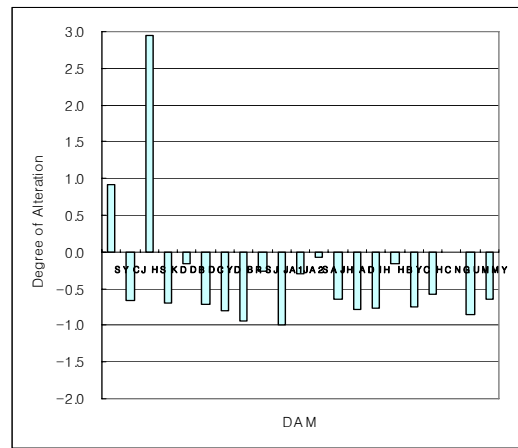
변화지수의 분석결과는 -0.9921 ~ 2.9528 이었으며, 소양강댐과 황성댐은 0.9123과 2.9528로 사주면적이 증가하였으나, 충주 등 19개 댐은 -0.2599 ~ -0.9921로 사주면적이 크게 감소하였다. 변화정도의 분석결과는 달방, 삼진, 주암, 수어, 안동, 화북, 남강의 7개 댐이 “낮은변화(L)”, 장흥, 합천, 밀양의 3개댐이 중간변화

Table 2. Analysis Result of the Sandbar Area

Dam	Pre-impact (A)		Post-impact (B)		Alteration (B-A)		Degree of Alteration	
	area × 1,000 m <sup>2</sup>	%	area × 1,000 m <sup>2</sup>	%	area × 1,000 m <sup>2</sup>	%	degree	state
Soyanggang	385.1	12.56	736.3	25.57	351.3	13.01	0.9123	H
Chungju	2,167.2	35.84	714.0	8.46	-1,453.1	-27.38	-0.6705	H
Hoengseong	63.1	7.05	249.2	36.19	186.2	29.14	2.9528	H
Kwangdong	264.5	199.77	79.1	137.59	-185.3	-62.19	-0.7009	H
Dalbang	84.8	73.04	71.1	47.08	-13.7	-25.95	-0.1620	L
Daecheong	1,380.4	18.36	399.5	5.51	-980.9	-12.85	-0.7106	H
Yongdam	1,503.9	32.59	301.8	6.51	-1,202.2	-26.08	-0.7993	H
Boryeong	328.9	16.51	16.8	0.75	-312.1	-15.76	-0.9489	H
Seomjingang	69.0	2.55	51.0	1.97	-17.9	-0.58	-0.2599	L
Juam	522.4	14.74	4.1	0.11	-518.3	-14.63	-0.9921	H
Juam(re.)	30.2	2.42	21.4	1.71	-8.8	-0.71	-0.2920	L
Sueo	1,211.8	48.52	1,120.4	51.02	-91.4	2.50	-0.0754	L
Jangheung	381.2	15.33	132.0	5.04	-249.1	-10.29	-0.6536	M
Andong	3,774.3	43.57	815.6	9.41	-2,958.7	-34.15	-0.7839	L
Imha	1,924.8	34.31	456.7	8.14	-1,468.1	-26.17	-0.7627	H
Hwabuk	527.8	24.73	442.6	20.74	-85.2	-3.99	-0.1615	L
Yeongcheon	1,125.3	47.84	276.8	11.77	-848.4	-36.07	-0.7540	H
Hapcheon	1,859.2	45.99	799.7	19.78	-1,059.5	-26.21	-0.5699	M
Namgang	2,082.0	15.59	2,092.4	15.67	10.4	0.08	0.0050	L
Unmun	2,551.5	47.23	371.7	6.88	-2,179.8	-40.35	-0.8543	H
Milyang	1,719.3	51.05	617.5	18.33	-1,101.8	-32.71	-0.6408	M
<b>Average</b>	-	<b>37.60</b>	-	<b>20.89</b>	-	<b>-16.73</b>	-	-



a) Area



b) Degree of alteration

Fig. 2. Analysis Result of the Sandbar Alteration

(M), 소양강 등 11개 댐이 “높은정도(H)”로 분류되었다. 횡성댐은 변화지수(2.9528)가 1.000이 넘어 변화 정도가 아주 높은 것으로 분석되었다.

### 4.3 식생현황 분석

각 댐 하류하천의 식생현황을 분석한 구간은 Table 1에 기술하였으며, 분석 결과는 Table 3 및 Fig. 3과

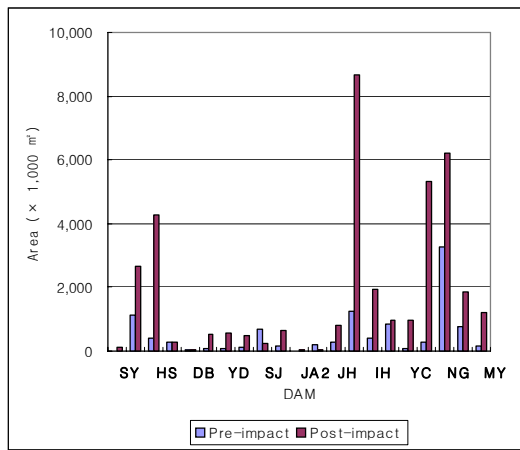
같다.

댐 건설전 식생의 면적은 분석 구간내 하천면적의 11%이었으나, 댐 건설후 24%로 13%가 증가하였다.

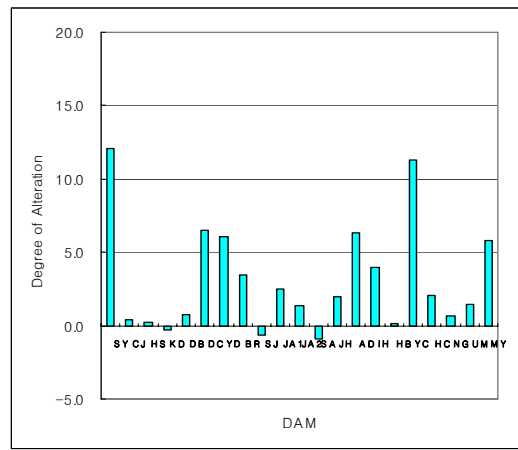
변화지수의 분석결과는 -0.8908 ~ 12.0736이었으며, 광동댐과 달방댐은 -0.2820과 -0.8908로 식생면적이 감소하였으나, 소양강 등 19개 댐은 0.2699 ~ 12.0736으로 식생면적이 크게 증가하였다. 변화정도의 분석결과

Table 3. Analysis Result of the Vegetation Area

Dam	Pre-impact (A)		Post-impact (B)		Alteration (A-B)		Degree of Alteration	
	area × 1,000 m <sup>2</sup>	%	area × 1,000 m <sup>2</sup>	%	area × 1,000 m <sup>2</sup>	%	degree	state
Soyanggang	9.5	0.31	123.9	4.30	114.4	3.99	12.0736	H
Chungju	311.7	5.15	429.0	5.08	117.3	-0.07	0.3763	M
Hoengseong	410.0	45.87	520.7	75.61	110.7	29.73	0.2699	L
Kwangdong	28.4	21.43	20.4	35.42	-8.0	13.99	-0.2820	L
Dalbang	23.0	19.79	40.9	27.13	18.0	7.34	0.7821	H
Daecheong	72.2	0.96	540.5	7.46	468.2	6.50	6.4819	H
Yongdam	79.6	1.72	559.8	12.08	480.2	10.36	6.0363	H
Boryeong	110.3	5.54	486.4	21.57	376.0	16.03	3.4090	H
Seomjingang	666.8	24.66	252.8	9.78	-413.9	-14.89	-0.6208	M
Juam	180.8	5.10	628.9	16.72	448.1	11.62	2.4791	H
Juam(re.)	14.9	1.19	35.6	2.85	20.7	1.66	1.3970	H
Sueo	195.2	7.82	21.3	0.97	-173.9	-6.85	-0.8908	H
Jangheung	271.9	10.94	811.6	30.98	539.7	20.04	1.9848	H
Andong	289.7	3.34	2,121.6	24.49	1,831.9	21.15	6.3245	H
Imha	389.8	6.95	1,921.7	34.26	1,531.9	27.31	3.9298	H
Hwabuk	565.2	26.48	657.1	30.79	91.8	4.30	0.1625	L
Yeongcheon	79.4	3.38	976.1	41.50	896.7	38.12	11.2900	H
Hapcheon	383.3	9.48	1,183.2	29.27	799.9	19.79	2.0871	H
Namgang	1,572.1	11.77	2,651.6	19.86	1,079.5	8.08	0.6867	H
Unmun	758.6	14.04	1,873.4	34.67	1,114.8	20.63	1.4695	H
Milyang	179.2	5.32	1,217.3	36.14	1,038.2	30.82	5.7937	H
<b>Average</b>	-	<b>11.01</b>	-	<b>23.85</b>	-	<b>12.84</b>	-	-



a) Area



(b) Degree of alteration

Fig. 3. Analysis Result of the Vegetation Alteration

는 황성, 광동, 화북의 3개 댐이 낮은변화(L), 충주, 섬진 2개댐이 중간변화(M), 소양강 등 15개 댐이 높은 정도(H)로 분류되었다. 소양강댐이 12.0736(H)으로 가장 높고, 화북댐이 0.1625(L)로 가장 낮은 것으로 분석되었다.

### 5. 사주와 식생의 경년변화 분석

사주와 식생의 경년변화를 분석하기 위해서는 항공사진이 최소한 3개년 이상 필요하다. 따라서 21개 댐중에서 3개년 이상의 항공사진이 입수된 안동댐, 임하댐, 합천댐을 분석대상으로 선정하였다.

사주와 식생의 경년변화를 분석한 결과, 안동댐 하류 하천은 Fig. 4와 같이 댐 건설전인 1971년 항공사진에서는 하도내 사주가 넓게 분포되어 있었으나 댐 건설후인 1981년, 2005년에는 사주의 규모가 작아지고 있었다. 연도별 사주 및 식생의 변화는 Fig. 9 a)와 같다. 사주면적은 1971년  $3,774 \times 10^3 \text{ m}^2$ 에서 2005년에는  $816 \times 10^3 \text{ m}^2$ 으로 연간 84,534  $\text{m}^2$  씩 감소한 것으로 분석되었다. 반면 식생면적은 1971년  $290 \times 10^3 \text{ m}^2$ 에서 2005년에는  $2,122 \times 10^3 \text{ m}^2$ 으로 연간 52,340  $\text{m}^2$  씩 증가한 것으로 분석되었다. 특히 1991년부터 식생면적이 급격히 증가하고 있다.

임하댐 하류하천은 Fig. 5와 같이 댐 건설전인 1979년 항공사진에서는 하도내 사주가 넓게 분포되어 있었으나, 댐 건설후인 1991년 후에는 사주의 규모가 작아지고 있으며, 2005년에는 사주의 모습을 거의 찾아보기 힘들고 대부분 식생이 침범하거나 농경지로 활용되고 있었다. 연도별 사주 및 식생의 변화는 Fig. 7 b)와 같다. 사주면적은 1979년  $1,925 \times 10^3 \text{ m}^2$ 에서 2005년에는  $457 \times 10^3 \text{ m}^2$ 으로, 연간 54,375  $\text{m}^2$  씩 감소한 것으로 분석되었다. 반면 식생면적은 1979년  $390 \times 10^3 \text{ m}^2$ 에서 2005년에는  $1,922 \times 10^3 \text{ m}^2$ 으로 연간 56,738  $\text{m}^2$  씩 증가한 것으로 분석되었다.

합천댐 하류하천은 Fig. 6과 같이 댐 건설전인 1976

년 항공사진에서는 하도내 사주가 넓게 분포되어 있었으며, 댐 건설후인 1993년에는 사주의 모습이 점점 작아지기 시작하고 2004년에는 사주가 자취를 감추고 농경지화 및 식생이 침입하고 있었다. 연도별 사주 및 식생의 변화는 Fig. 7 c)와 같다. 사주면적은 1976년  $1,725 \times 10^3 \text{ m}^2$ 에서 1982년에는  $2,119 \times 10^3 \text{ m}^2$ , 1993년에  $1,859 \times 10^3 \text{ m}^2$ , 2004년에  $800 \times 10^3 \text{ m}^2$ 으로 1982년에는 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하였으며, 연간 31,917  $\text{m}^2$  씩 감소한 것으로 분석되었다. 식생의 면적은 1976년과 1982년에는 거의 없었으며, 1993년에  $383 \times 10^3 \text{ m}^2$ , 2004년에  $1,183 \times 10^3 \text{ m}^2$ 으로 1991년 이후 급격히 증가하였으며, 연간 40,880  $\text{m}^2$  씩 증가한 것으로 분석되었다.

## 6. 분석결과 고찰

댐 하류하천의 사주면적이 감소하고 식생면적이 증가하는 주요한 원인은 다음과 같다. 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).

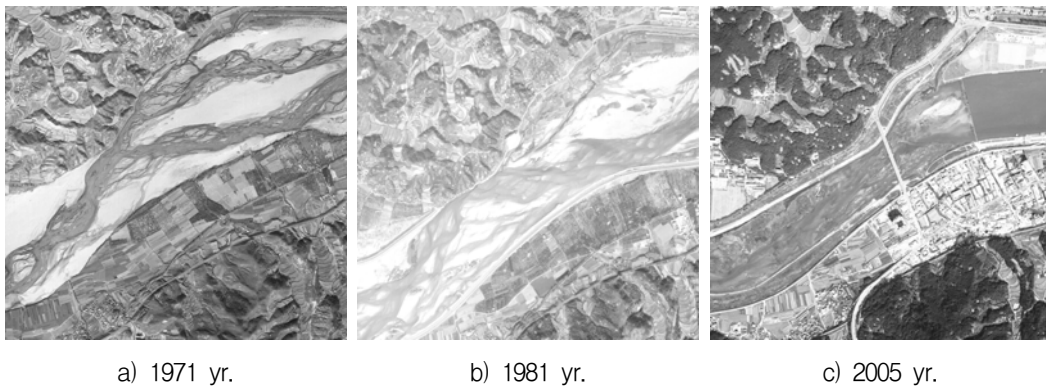


Fig. 4. Aerial Photographs of the Pre & Post Dam (An Dong)

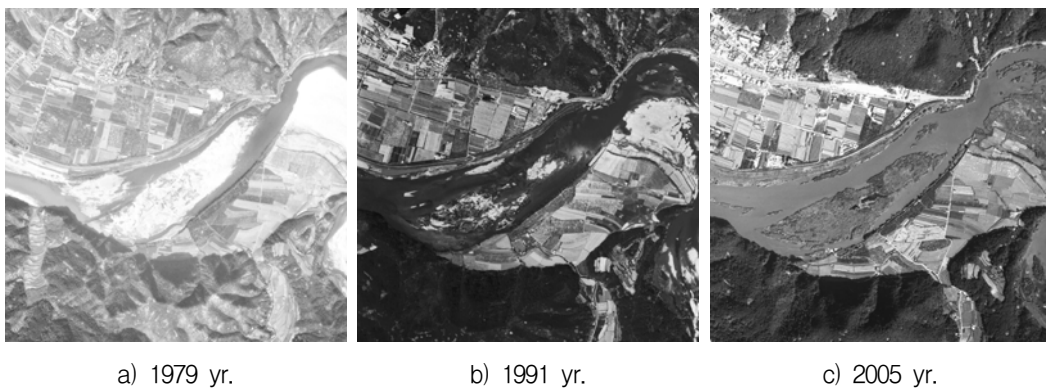


Fig. 5. Aerial Photographs of the Pre & Post Dam (Im Ha)



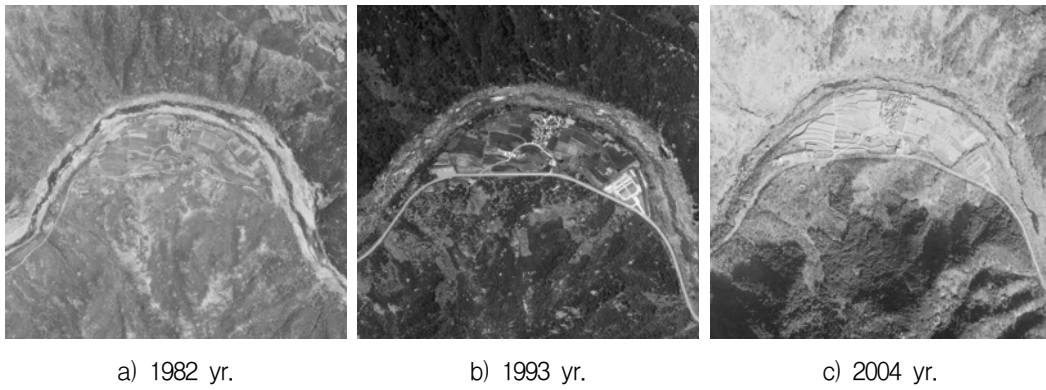


Fig. 6. Aerial Photographs of the Pre & Post Dam (Hab Chun)

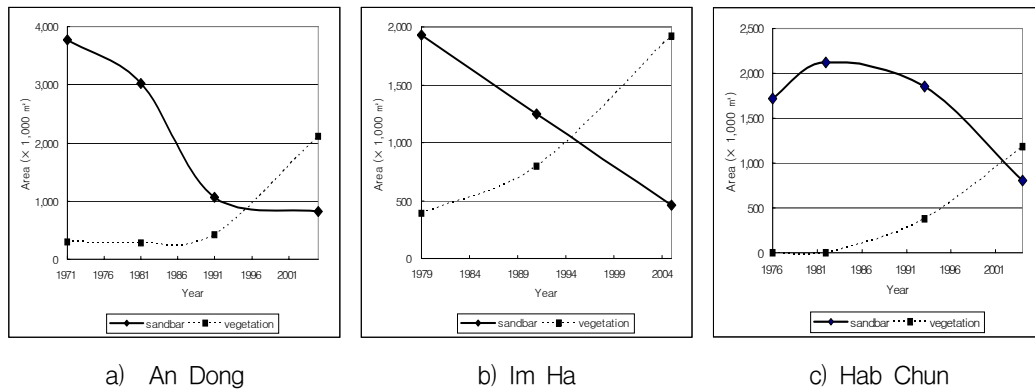


Fig. 7. Temporal Variation of the Sandbar and Vegetation

댐으로 인한 가장 큰 변화는 최소와 최대유량의 변화이며, 최소유량은 증가하고, 최대유량은 감소하는 경향이 있다(Richter *et al.*,1998; Magilligan *et al.*, 2005; 박봉진 등, 2008). 댐 건설로 인한 유량변화는 하천생태계의 생물학적 구조와 기능에 중요한 영향을 미치게 된다(Richter *et al.*, 1996; Henriksen *et al.*, 2006). 댐이 하류하천의 사주와 식생에 미치는 영향에 가장 핵심이 되는 사항은 유량변화이다(Graf, 2006).

최성욱 등(2004)의 연구에서도 합천댐 건설이후 조정지점에서 낙동강 합류점까지 사주면적은 58 %가 감소하였으나 식생사주 면적은 1,750 %가 증가하였으며, 그 원인을 댐 건설후 초과확률이 18 % 이하 고유량의 감소와 초과확률이 18 % 이상 저류량이 증가하는 등의 유량변화로 제시하고 있다. Richard *et al.*(2005)은 미국 Wyoming 주 Snake River의 Jackson Lake Dam 건설에 따라 하류하천에 홍수터의 지형과 식생 변화에 관하여 연구에서, 댐 건설로 인하여 첨두홍수(peak flows)의 주기와 크기의 감소는 하천지형의 변화와 홍수터 고유식생의 파괴에 결정적인 역할을 하고 있으며, 하천의 안정성과 홍수터 식생의 역동성에 큰 영향을 미치고 있다고 발표하였다.

본 연구 결과, 소양강 등 21개 댐의 사주면적은 댐

건설전에는 하천면적의 평균 38 %이었으나, 댐 건설후에는 21 %로 약 17 %가 감소하였다. 그러나 식생면적은 댐 건설전 하천면적의 평균 11 %이었으나, 댐 건설 후에는 24 %로 약 13 %가 증가하였다. 또한 안동, 임하, 합천의 3개 댐의 사주와 식생의 경년변화 분석결과, 사주면적은 연평균 42,600 m<sup>2</sup>씩 감소하였으며, 식생면적은 연평균 51,700 m<sup>2</sup>씩 증가하였다.

이와 같은 결과는 안동, 임하, 합천의 3개 댐의 연 최소·유량변화 분석 결과와 같이 연 최대유량의 감소와 연 최소유량의 증가가 식생이 성장·발달할 수 있는 환경을 제공하는 주요한 원인으로 판단된다.

## 7. 결 론

하도내 사주는 물과 유사의 상호작용으로 형성되는 하상형태의 하나로, 물 흐름에 의해 주기적인 순환과 역학적 메카니즘이 변동하는 건강한 하천 지형변동 현상이다. 하도내 사주와 식생은 물의 흐름에 의해 영향을 받으며, 물의 흐름은 하도내 사주와 식생에 의해 영향을 받기도 한다.

본 연구에서는 우리나라의 소양강등 21개 댐을 대상으로 하류하천의 사주와 식생의 면적변화, 변화지수, 변화정도와 경년변화를 분석하였으며, 결과를 정리하면



다음과 같다.

- 1) 사주면적은 댐 건설전 38 %이었으나, 댐 건설후에는 21 %로 17 %가 감소하였다. 변화지수는 -0.9921 ~ 2.9528 이었으며, 변화정도는 달방 등 7개 댐은 낮은변화(L), 장흥 등 3개댐은 중간변화(M), 소양강 등 11개 댐은 높은정도(H)로 분석되었다.
- 2) 식생면적은 댐 건설전 11 %이었으나 댐 건설후에는 23 %로 12 %가 증가하였다. 변화지수는 -0.8908 ~ 12.0736 이었으며, 변화정도는 황성 등 3개 댐은 낮은변화(L), 충주 등 2개 댐은 중간변화(M), 소양강 등 15개 댐은 높은정도(H)로 분석되었다.
- 3) 안동댐, 임하댐, 합천댐의 사주와 식생의 경년변화 분석결과, 사주면적은 연평균 42,600 m<sup>2</sup>씩 감소하였으며, 식생면적은 연평균 51,700 m<sup>2</sup>씩 증가하여, 사주면적의 감소 보다 식생면적의 증가가 현저가 높은 것으로 분석되었다.

하천은 살아있는 유기체로 끊임없이 변화는 특성을 가지고 있다. 자연적 유량변화인 주기적 홍수와 가뭄은 하천을 삶의 터전으로 살아가는 생물들의 건전성을 유지하는 핵심적인 요소이다(Junk *et al.*, 1989). 본 연구는 댐 하류하천에서 사주와 식생의 면적 변화에 국한하여 시행되었다. 따라서 향후 댐 하류하천의 사주 발달과 소멸과정과 사주내 식생의 종 다양성, 우점도, 천이과정 등을 정밀조사 하여 댐이 하류하천의 환경과 생태계에 미치는 영향을 지속적으로 연구할 필요가 있다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부와 한국수자원공사에서 시행한 "댐 직하류하천 정비사업 기본계획 용역"의 자료협조 및 국토해양부와 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B01)에 의해 수행 되었습니다.

### 참 고 문 헌

건설기술연구원 (2000). **하도특성과 식생의 상관관계 분석**, 건기연 2000-094.

김진만, 이대영, 김경민, 최봉혁 (2007). "낙동강 유역 하상재료의 공학적 특성평가." 인천지역환경기술개발센터·하천복원 연구회, **하천환경 학술 심포지엄 논문집**, 하천환경학회, pp. 445-452.

박봉진, 강기호, 정관수 (2008). "수문변화 지표법에 의한 다목적댐의 유량변화 분석." **한국수자원학회**

**논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제7호, pp. 711-723.

우효섭 (2004). **하천수리학**, 청문각.

이삼희 (2007). "이동상 수로모형을 통한 만곡부 모래사주의 거동특성 분석." **2007년 한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 1679-1683.

이삼희 옥기영 (2007). "이동상 하도의 모래사주에서 토양조사를 통한 식생역 발달과정." **2007년 한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 1050-1062.

이진원, 김형섭, 우효섭 (1993). "댐건설로 인한 5대강 본류의 유황변화 분석." **한국토목학회논문집**, 한국토목학회, 제13권, 제3호, pp. 79-91.

장창래(2006). "하천의 지형변동과 식생." **수자원학회지**, 한국수자원학회, Vol. 39. No. 12, pp. 52-58.

장창래, 정관수 (2006). "사행하천에서 사주의 이동특성에 관한 수치실험." **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제2B호, pp. 209-216.

최성욱, 윤병만, 우효섭, 조강현 (2004). "댐건설에 의한 유황변화에 따른 하류 하도에서 하천지형학적 변화 및 식생회복의 변화 : 황강 합천댐 사례." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제1호, pp. 55-66.

Choi, S. U., Yoon, B. M., Woo, H.S. (2005). "Effects of Dam-Induced Flow Regime Change on Downstream River Morphology and Vegetation Cover in the Hwang River, Korea." *River Research and Applications*, vol. 21, pp. 315-325.

Egger, G. (2007). "Floodplain Vegetation Models and Application in River Restoration." KICT, *The 2nd international Workshop on River Environment*, pp. 41-66.

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.

Graf, W. L. (2006). "Downstream Hydrologic and Geomorphic Effects of Large Dams on American Rivers." *Geomorphology*, Vol. 79, pp. 336-360.

Henriksen, J. A., Heasley, J., Kennen, J. G., Newsand, S. (2006). "Users' Manual for the Hydroecological Integrity Assessment Process Software(including the New Jersey Assessment Tools)." U.S. Geological Survey, Biological Resources Discipline, Open File Report2006-1093.

- Jang, C. L., Shimusu, Y. (2007). "Vegetation Effects on the Morphological Behavior of Alluvial Channels." *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 45, No. 6, pp. 763-772.
- Jorde, P.E. (2006). "Reservoir Operation and Ecosystem Losses." KICT, *The 2nd international Workshop on River Environment*, pp. 41-66.
- Julien P. Y. (2002). *River Mechanics*, Cambridge University Press.
- Merritt D. M., Cooper D. J. (2000). "Riparian Vegetation and Channel Change in Response to River Regulation : A Comparative Study of Regulated and Unregulated Stream in the Green River Basin, USA." *Regulated River : Research & Management*, No. 16, pp. 543-564.
- Nature Conservancy (2007). *Indicators of Hydrologic Alteration Version 7 User's Manual*.
- Richter, B. D., Baumgartner, Braun D. P., Powell J. (1998). "A Spatial Assessment of Hydrologic Alteration within a River Network." *Regulated Rivers: Research & Management*, No. 14, pp. 329-340.
- Richard, A. M., Mills, J. D., Wrazien, D. R., Bassett, B., Splinter, D. K. (2005). "Effects of Jackson Lake Dam on the Snake River and its Floodplain Grand Teton National Park, Wyoming, USA." *Geomorphology*, No. 71, pp. 79-98.
- Richther, B. D., Baumgartner, J. F., Powell, J., Braun, D. P. (1996). "A Method for Assessing Hydrologic Alterations within Ecosystems." *Conservation Biology*, Vol. 10, No. 4, pp. 1163-1174.
- Shafroth P. B., Stromberg J. C., Patten D. T. (2002). "Riparian Vegetation Response to Altered Disturbance and Stress Regimes." *Ecological Applications*, Vol. 12, No. 1, pp. 107-123.
- 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.
- Williams, G. P., Wolman, M. G. (1984). "Downstream Effects of Dams on Alluvial Rivers." *U.S. Geology Survey Professional Paper 1286*. pp. 1-83.

(논문번호:08-55/접수:2008.04.18/심사완료:2008.10.14)