韓國水資源學會論文集
第41卷 第10號・2008年 10月
pp. 1009~1021

DOI: 10.3741/JKWRA.2008.41.10.1009

댐이 하류하천에 미치는 영향권 산정에 관한 연구

A Study on the Impact Range Calculation at the Downstream of Dam

박 봉 진* / 김 현 식** / 정 관 수*** / 지 홍 기****

Park, Bong Jin / Kim, Hyeon Sik / Jung, Kwan Sue / Ji, Hong Ki

Abstract

In this study, 4 indices of hydraulic & hydrological, geomorphological, eco & environmental, social effect and 38 items are selected to calculate impact range of downstream of dam. The Analytic Hierarchy Process(AHP) was applied to determine the priority of impact range calculation indices and items. As results of indices valuation, hydraulic & hydrological effect is the first priority, the second is eco & environmental, next are geomorphological and social effect. As results of items valuation, the design flood of dam is the first priority, the second is the natural flood & design flood of channel, next are the design flood rate of channel, drainage area and back water level caused by downstream of dam. In the case of Daechung dam, impact ranges were estimated 47.21 ㎞ in terms of the design flood of dam, 45.71 ㎞ of the design flood rate of channel, 13.94 ㎞ of the drainage area.

keywords : Impact Range of the Dam, Impact Indice of the Dam, Analytic Hierachy Process

요 지

본 연구에서는 댐이 하류하천에 미치는 영향권을 산정하기 위하여 수리・수문적, 지형적, 환경・생태적, 사회적 영향의 4개 지표와 38개 항목을 선정하고, 계층분석법을 적용하여 댐의 영향권 산정 지표와 항목의 중요도를 평가하였다. 댐 영향권 산정 지표의 평가결과는 수리・수문적 영향권이 1순위, 환경・생태적 영향권이 2순위, 지형적 영향권 및 사회적 영향권이 각각 3순위와 4순위 이었으며, 항목의 평가결과는 댐설계방류량이 1순위, 하천의 기본 및 계획홍수량이 2순위, 계획홍수량비가 3순위, 유역면적비가 4순위, 하류댐 배수위가 5순위로 평가되었다. 대청댐의 영향권을 산정한 결과, 댐설계방류량 지표는 47.21 ㎞, 하천계획홍수량 지표는 45.71 ㎞, 유역면적비 지표는 13.94 ㎞로 산정되었다.

핵심용어 : 댐 영향권, 댐 영향요인, 계층분석기법

* 한국수자원공사 댐・유역관리처 하천유역팀장
Head Manager, Korea Water Resources Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejon, 306-711, Korea
(e-mail: bongjinpark@kwater.or.kr)
** 한국수자원공사 굴포천건설단, 건설관리차장
Korea Water Resources Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejon, 306-711, Korea
(e-mail: hyeonsik@kwater.or.kr)
*** 충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, ChungNam National University, Daejon, 305-764
(e-mail: mail: ksjung@cnu.ac.kr)
**** 교신저자, 영남대학교 공과대학 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engineering, YoungNam University, Daegu, 712-749
(e-mail: hkjee@yu.ac.kr)

1. 서 론

5,000년 전부터 시작된 댐 건설은 재해로부터 인류의 안전성을 확보하고 진화된 문명사회를 이룩하는 핵심적인 하천관리 방법이었다. 세계적으로 ICLOD에 등록된 15 m 이상의 대댐은 26,594개 이다(ICOLD, 2003). 대댐은 1990년에서 1949년까지 1,000여개, 1950년에서 1969년까지 9,155개, 1970년부터 1999년까지 16,439개가 건설되었으며, 우리나라는 15 m 이상의 대댐이 1,205개로 세계적으로 5위에 해당하며, 1위는 미국으로 9,265개, 2위는 중국 4,688개, 3위는 인도 4,636개, 4위는 스페인 1,267개 이다(ICOLD, 2003). 세계적으로 대댐에서 생산하는 연간 전력 생산 가능량은 1,384,822 Gwh이고, 용수공급 가능면적은 335,554 ㎢이며, 홍수조절용량은 292,310 백만㎥이나 된다(ICOLD, 2003).

댐은 홍수시 유량조절을 통하여 수력발전, 관개 등에 이용하여 수자원의 가치를 높이는 유용한 역할을 하고 있다. 그러나 댐으로 인하여 하류하천에 홍수기 첨두홍수량이 감소하고, 지속적인 유량공급으로 갈수시 저유량이 증가하는 등 급속한 유량 변화가 발생된다(Graf, 2006: Lajoie *et al*., 2007). 이러한 유량 변화는 하천생태계의 생물학적 구조와 기능에 중요한 영향을 미치게 된다(Poff *et al*., 1997; Junk *et al*., 1989).

댐 건설에 따른 하류하천의 영향에 관한 연구는 1950년대 이전 일반적인 하천 개념과 하도 저하와 상승 등의 변화과정에 대한 연구들이 시작되었다. 1950년대 이후 1970년대에는 댐에 관한 개념에 큰 변화가 있었다. 1970년 이후 환경보호의 중요성이 인식되면서 대댐이 환경에 미치는 영향에 대한 관심이 집중되었다. 장기간의 현장조사 자료의 확보와 Remote Sensing, GIS, 항공사진 분석기술 도입 등으로 댐 하류하천에 관한 데이터가 축적되면서 지형학(Geomorphology)과 생태학(Ecology)이 서로 연관된 다 학제간 연구가 진행되었다(Petts and Gurnell, 2005).

댐이 하류하천에 미치는 영향에 관한 외국의 연구는 다음과 같이 유량변화, 하도변화, 사주와 식생변화 등으로 구분할 수 있다. 유량변화에 관하여 Magilligan *et al*.(2003), Olden and Poff(2003), Poff *et al*.(2006, 2007) Richter *et al*.(1996, 1997, 1998), Shiau and Wu(2004), Magilligan and Nislow(2005), Graf(2006), Lajoie *et al*.(2007)의 연구가 있었다. 하도변화에 관한 연구는 Galay(1983), Williams and Wolman(1984), Xu(1990; 1996a; 1996b; 2001), Brandt(2000), Fassnacht *et al*.(2003) 등이 있다. 사주와 식생 변화에 관한 연구는 Shafroth *et al*.(2002), Richard *et al*.(2005), Vanloocy and Martin, (2005), Gordon and Meentemeyer(2006), Jang and Shimizu(2007)등이 있다.

국내의 연구는 유량변화(윤용남과 박무종, 1993; 김태균 등, 2002; 이진원 등, 1993; 박봉진 등, 2008), 하상변동(손명원, 1986: 김경탁과 심명필, 1990; 유권규과 우효섭, 1993; 서일원 등, 1995:, 장창래 등, 2000), 사주와 식생변화 (여운기 등, 2004; 최성욱 등, 2004; 이삼희와 옥기영, 2007), 어류 생태계에 미치는 영향(박봉진 등, 2005) 등이 있다.

댐 하류하천에 미치는 영향에 관한 연구의 범위는 연구 대상 및 목적에 따라 댐으로부터 수 ㎞에서 수백 ㎞까지 다양하다. 따라서 일관성 있는 조사와 분석, 연구결과의 상호 비교·분석 및 정보 교환을 위하여 댐이 하류하천에 미치는 영향 구간을 설정할 필요성이 있다.

댐이 하류하천에 미치는 영향권에 관한 연구는 Richter *et al*.(1998)이 “Range of Variability” 개념을 도입하여 Colorado 강 유역의 댐이 하류하천에 미치는 수문변화 양상과 영향정도를 공간적으로 분석하였다. Brandt(2000)는 댐이 하류하천에 미치는 지형적인 영향범위를 유량변화에 따라 유사유입(Load)과 유사이송능력(Capacity)을 고려하여 개념적으로 제시하였다. 그러나 이들의 연구는 상당히 개념적이고 제한적이었다. 우리나라에서는 댐이 하류하천에 미치는 영향권에 관한 연구가 전무한 실정이다.

댐이 하류하천에 미치는 영향권은 정량적으로 산정하기는 어렵지만, 정성적이고 개념적인 사회적 상황을 고려하면 상당히 광범위 하다고 볼 수 있다. 댐의 영향권 산정을 위한 지표와 항목의 중요도 평가와 같이 정량적 특성뿐만 아니라 정성적인 특성도 종합적으로 고려할 필요가 있는 경우에는 계층분석기법(Analytic Hierarchy Process)을 적용하고 있다. 계층분석기법은 국내·외 다양한 분야에 대안설정 및 의사결정에 사용되어 왔으며, 복잡한 평가기준을 계층화하여 단계별 요인들에 대한 쌍대비교(Pair-wise comparison)을 통해 다양한 대안들에 대한 상대적 가중치를 결정할 수 있다는 장점이 있다(이재문과 이상일, 2007). 우리나라의 수자원분야에서 계층분석기법을 적용한 연구사례는 박태선(2002)의 하천의 중요도 평가, 이현재와 심명필(2002)의 용수배분 우선순위 의사결정, 김응석 등(2003)의 하수관거 결함항목별 가중치 산정, 이정호 등(2004)의 도시유출시스템 개발을 위한 불명수 산정, 이재문과 이상일(2007)의 최적하폭 선정 사례연구 등이 있다.

본 연구에서는 댐의 영향권을 산정하기 위하여 수리·수문적, 지형적, 환경·생태적, 사회적 영향의 4개의 지표와 각 지표에 해당하는 38개 평가항목을 선정하

고 계층분석기법을 적용하여 중요도를 평가하였다. 또한 금강유역의 대청댐을 대상으로 댐이 하류하천에 미치는 영향권을 산정하였다.

2. 댐이 하류하천에 미치는 영향권

Jorde(2006)는 댐이 하류하천에 미치는 영향을 Fig. 1과 같이 4단계로 도식화하였다. 1차 영향은 댐의 건설에 따라 즉시 발생하는 물리적 반응으로 유량변화, 수질변화, 유사공급 변화로 구분하였다. 2차 영향은 1차 영향에 의한 하류하천의 물리적인 변화로부터 나타나는 수심, 유속 및 소류력의 변화, 유사 크기 및 구성의 변화 등이 해당된다. 3차 영향은 생물적 영향 또는 생태적 응답으로써 2차 영향과 같은 물리적인 변화에 의한 어류군집의 변화 등이 이에 해당한다. 4차 영향은 2차 영향과 3차 영향을 자체적으로 수용하고 변화시킬 수 있는 생물적 반응으로써, 식생의 성장으로 홍수터의 조도계수가 변하고 이에 따라 하도의 구조가 변화하는 것을 의미한다.

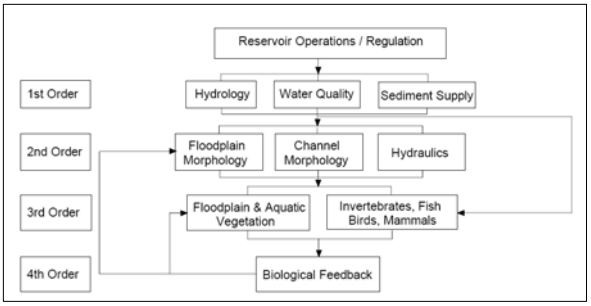


Fig. 1. Order of Impact Schematization (Jorde, 2006)

댐이 하류하천에 미치는 영향권은 공간적 개념(Spatial dimension)을 가지게 된다. Ward(1989)는 하천의 공간적 개념을 종적(Longitudinal), 횡적(Lateral), 수직적(Vertical) 3개의 축으로 분류하여 제시한 바 있다. 그러나 댐의 영향권을 산정하기 위해서는 이러한 공간적 축의 개념을 생물서식처로써 세분화 할 필요가 있다. 따라서 Frissel *et al.*(1986)과 Naiman(1998)이 하천의 생물서식처를 미소서식처(Microhabitate), 하도서식처(Pool/Riffle : Habitate), 하도(Reach), 소유역(Segment), 하천회랑(Stream corridor)의 5개로 분류하여 제시한 개념을 고려하였다.

본 연구에서는 댐이 하류하천에 미치는 영향권을 하천의 공간적인 개념과 생물서식처 기능을 고려하여 댐에 의한 유량, 유사, 수질 등의 변화로 하류하천의 하도 특성이 변화하고 그에 따른 생태학적 반응이 나타나는 구간으로 정의하고자 한다.

3. 지표 및 항목 선정

댐이 하류하천에 미치는 영향권 산정을 위해 본 논문의 서론에서 제시한 국외 24편, 국내 13편 등 37편의 주요 연구 논문 및 사례를 정밀 분석하여 수리·수문적, 지형적, 환경·생태적, 사회적 영향 등의 4개 지표와 38개의 항목을 선정하였다. 댐의 영향권을 산정하기 위한 지표와 항목 선정은 댐이 하류하천에 미치는 영향권의 정의에 따라, 첫째 댐이 하류하천에 미치는 영향요인들을 종적, 횡적, 수직적 축의 공간적 개념과 둘째 미소서식처, 하도서식처, 하도, 소유역, 하천회랑 등 생물서식처 기능, 셋째 댐에 의한 유량, 유사, 수질 변화와 그에 따른 생태적 반응을 고려하였다.

3.1 지표의 선정

본 연구에서 선정한 4개의 지표는 Table 1과 같이, 첫째 수리·수문적 영향은 댐으로 인한 하류하천의 유황변화에 해당하고, 둘째 지형적 영향은 유황과 유사량 변화에 따른 하류하천의 지형적인 변화에 해당한다. 셋째 환경·생태적 영향은 생태계의 관점에서 하류하천에 미치는 수질, 수온, 생물종 다양성 등의 변화에 해당하고, 넷째 사회적 영향은 인간의 관점에서 거주, 생활, 역사, 문화 등 다양한 분야에 미치는 영향이 해당한다.

Table 1. The Indices of Impact Range Calculation

Index	Description of the Index
Hydraulic & Hydrological Effect	The effect range caused by the flow regime change in the downstream channel due to the Dam Operation
Geomorphologic Effect	The effect range caused by the erosion and sedimentation change in the downstream channel due to the Dam Operation
Eco & Environmental Effect	The effect range caused by the eco-system and environmental change in the downstream channel due to the Dam Operation
Social Effect	The effect range caused by the cultural and social characteristics in the downstream channel due to the Dam Operation

3.2 항목의 선정

3.2.1 수리·수문적 영향권

댐으로 인한 하류하천에 미치는 1차적인 영향요인으로 유량을 들 수 있다(Jorde, 2006). 유량의 변화는 댐의 건설로 인한 가장 큰 변화 요인이다(Richter, *et al.*, 1996). 수리·수문적 영향권은 유량과 관련된 주요한 인자들로 구성된다. 따라서 댐과 하천의 기본 및 계획홍수량, 하천유지유량(또는 갈수량), 지류의 홍수량, 강턱유량, 지배유량 등과 수자원 부존량을 대표하는 유역면적비를 선정하였다. 하천구조와 관련된 사항으로 바다로 합류하는 상위하천 합류점Ⅰ, 상위등급의 하천과 합류하는 상위하천 합류점Ⅱ, 댐이 직렬로 위치한 경우 하류댐의 배수영향을 받는 구간 등을 수리·수문적 영향권을 산정하는 항목으로 선정하였다.

3.2.2 지형적 영향권

지형적 영향권 설정은 댐으로 인한 유황과 유사량 변화로 인하여, 하류하천의 지형과 관련된 항목으로 구성하였다. 댐 건설 전·후의 하상 전단응력 변화, 댐 건설이후 Lane의 법칙에 의해 하상이 평형을 이루는 구간, 유사농도 변화, 하상의 전반적인 입도분포, 입도분포를 대표하는 중앙입경 변화와 장갑화현상 등 유사와 관련된 직접적이고 미시적인 요인의 변화를 지형적 영향권 설정을 위한 항목으로 선정하였다. 또한 사주내 식생상황, 만곡부 퇴적상황, 하폭과 하천의 시간적 공간적 변화, 장기하상변동 등 거시적인 하천의 지형적인 변화를 분석하여 지형적인 영향권을 설정하는 항목도 선정하였다.

3.2.3 환경·생태적 영향권

환경·생태적 영향권 범위 설정은 하도내 식생 발달 정도의 정량적·정성적 평가, 수질 및 하천생태계 변화에 따른 환경·생태적 영향 분석을 고려하여 설정하였다. 환경·생태적 영향권 설정항목들은 영향권을 정량적으로 산정 할지라도 댐의 영향권을 설정하는 것이 상당히 어렵다. 따라서 수온과 용존산소의 변화, 종다양성

Table 2. The Indices and Items of Impact Range Calculation

Hydraulic & Hydrological effect		Geomorphologic effect		Eco & Environmental effect		Social effect	
Symbol	Index	Symbol	Index	Symbol	Index	Symbol	Index
H01	Design Flood of Dam	G01	Bed Shear Stress	E01	Water Temperature	S01	EAP
H02	Instream Flow Rate	G02	Lane's Law	E02	DO	S02	Flood Benefit
H03	High Order Channel Confluence I	G03	Sediment Discharge Rate	E03	Aquatic Plant	S03	Land Usage
H04	Drainage Area	G04	Size Distribution	E04	Flood Channel Vegetation	S04	Questionnaire
H05	High Order Channel Confluence II	G05	Median Bed Material Size	E05	Riparian Vegetation	S05	Road Sign
H06	Tributary Flood	G06	Armoring Ratio	E06	Bio-diversity	S06	Water Usage
H07	Back Water Level of Downstream Dam	G07	Sediment Discharge	-	-	S07	Administrative Division
H08	Design Flood of Channel	G08	Vegetation in the Sandbar	-	-	-	-
H09	Normal & Design Flood	G09	Sinuosity Variation	-	-	-	-
H10	Bankfull Discharge	G10	Channel Width Variation	-	-	-	-
H11	Domimant Discharge	G11	Channel Cross Variation	-	-	-	-
H12	Flow Duration	G12	Long Term Bed Level Variation	-	-	-	-
H13	Water Level Variation	-	-	-	-	-	-

등 환경·생태적 변화가 현저한 지점까지를 영향권 범위로 설정할 수 있도록 정량적으로 제시할 수 있는 항목들을 선정하였다. 또한 과학적으로 거시적인 접근을 위하여 댐 건설 전·후의 항공사진 판독을 통한 식생피복 면적을 지표로 사용할 수 있도록 수생식물과 천변, 하안식생의 변화 등의 항목을 선정하였다.

3.2.4 사회적 영향권

댐의 존재는 직·간접적으로 그 지역 사회에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 사회적 영향권을 정량적으로 설정하기 어려운 지표이만 댐이 지역사회에 미치는 영향은 상당히 크다. 사회적 영향권 설정은 홍수량에 따른 댐 하류하천의 홍수범람지구 분석, 댐 방류로 인한 하류하천의 홍수소통 장애요인 등 댐 운영에 따른 제약현황을 반영한 항목을 선정하였다.

4. 계층분석기법에 의한 중요도 평가

4.1 개요

계층분석기법은 다요소의사결정(Multi-attribute Decision Making) 기법들 중 사회적, 공공적 관심과제들의 해결에 가장 많이 응용되고 있는 기법이라고 할 수 있다. 이 방법은 의사결정 문제를 계층화한 후, 각 평가기준의 관점에서 대안들의 상대적 중요도와 평가기준간의 상대적 중요도를 쌍대비교(Pairwise comparison)에 의해 결정한다. 계층분석기법에 대한 주요 절차를 정리하면 다음과 같다(이현재와 심명필, 2002; 김응석 등, 2003; 이정호 등, 2004; 이재문과 이상일, 2007).

4.1.1 목표 설정 및 계층구조의 형성

계층분석기법을 통해 분석하고자 하는 사항들에 대한 목표설정을 한다. 계층분석구조의 형성에서는 설정한 목표에 영향을 미치는 관련 요소들을 계층적으로 세분화하여 의사결정구조를 설정한다. 최상위 계층에 목표를 두어 다음 계층은 목표를 달성하기 위한 세부요소를 설정하는 방법으로 계층구조를 형성한다.

4.1.2 쌍대비교 행렬의 작성 및 가중치계산

의사결정자가 특정 계층내에 있는 요소의 중요도에 대한 우선순위를 평가하는 단계로서 각 계층 내의 평가요소들의 쌍대비교 행렬을 작성한다. 중요도의 척도에 따라 쌍대비교를 통해 행렬 Eq. (1)과 같이 구성되는데 대각선의 원소들이 모두 1이 되는 역행렬이다.

$$Aij = \frac{w_i}{w_j} \tag{1}$$

여기서 w_i 와 w_j 는 i 번째 속성과 j 번째의 속성의 가중치이며, i, j =1, 2, 3, ····, n, n은 비교항목의 개수이다.

가중치 계산방법은 산술평균법, 기하평균법, 최소자승법, 고유벡터법(Eigenvector) 등이 있으며, 이 중 고유벡터 방법은 쌍대비교 행렬의 고유값 중에서 최대치에 대응하는 고유벡터를 요소의 중요도로 이용하는 방법으로써 쌍대비교 행렬의 일치성의 정도를 측정할 수 있는 장점이 있다.

가중치 계산식은 Eq. (2)와 같다.

$$w_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}a_{ij}} \tag{2}$$

여기서, a는 행렬의 구성값, n은 비교항목의 개수를 나타낸다.

4.1.3 일관성 검증

일관성은 Eq. (3)의 일관성지수(Consistency Index)와 Eq. (4)의 일관성 비율(Consistency Ratio)을 구함으로써 검증할 수 있다.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \tag{3}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4}$$

여기서 $\lambda_{\max}$는 행렬의 최대고유치, RI는 무작위 일관성지수(Random consistency Index)이다.

CR값이 0.10 이하일 경우에는 일관성이 있다고 보고, 0.10~0.20 사이일 경우에는 일관성을 인정하는 정도이며, 0.20을 넘으면 일관성이 없다고 보아 다시 설문을 하거나 우선순위 산정에서 제외시켜야 한다.

4.2 설문조사 및 일관성 검증

계층분석기법을 적용하여 댐 영향권 산정을 위한 지표와 항목의 중요도를 평가하였다. 평가 지표와 항목의 중요도를 평가하기 위한 설문조사는 쌍대응 비교방식으로 실시하였으며 Satty의 9점 척도법으로 비교 평가 하였다.

설문조사는 수자원과 관련된 다양한 분야의 전문가 의견이 필요하기 때문에 수자원분야에 충분한 전문지식을 가지고 있는 한국수자원학회 회원을 대상으로 하였으며, 설문 응답자를 학계, 공공기관, 엔지니어링업체는 5년 이상의 상급 엔지니어, 4년 이하의 초급 엔지니어 등 4개 부류로 분류하였다. 연구원은 공공기관으로 분

류하였다.

일관성 검증은 설문분량이 많고 1:1 면접설문이 아니었던 점을 고려하여 응답의 일관성을 $CR<0.2$로 하였으며, 응답자들이 모두 전문가임을 감안하여 AIP (Aggregation Individual Priorities) 방법을 사용하였다. 일관성 검증 결과, 응답자 52명 중 27명이 통과(통과율 52%) 하였으며, 이들을 대상으로 최종성과를 분석하였다. 설문결과를 분석하여 가중치를 도출하는 방법은 고유벡터법(Eigen Vector Method)를 사용하였다.

수리·수문적 영향권, 지형적 영향권, 환경·생태적 영향권, 사회적 영향권 등 4개의 주요지표에 대한 중요도의 설문결과는 Table 3과 같이 수리·수문적 영향권이 1순위(0.515), 환경·생태적 영향권이 2순위(0.181), 지형적 영향권 및 사회적 영향권이 각각 3순위(0.171), 4순위(0.133)으로 분석되었다. 설문조사의 대상자들이 대부분 수자원관련 분야의 종사하고 있으며, 댐의 영향요인 중 홍수량, 갈수량 등 유량의 변화가 댐 하류하천에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 수리·수문적 영향권을 가장 중요한 지표로 생각하고 있는 것으로 판단된다. 또한 최근에 하천의 환경·생태적인 중요성이 부각됨에 따라 환경·생태적 영향권도 주요한 지표로 생각한 것으로 판단된다. 그러나 공공기관 근무자들은 수리·수문적 영향권과 지형적 영향권을 같은 정도의 중요성을 가지고 있는 것으로 제시하고 있어, 하천을 정비하고 관리하는 측면에서 하천의 형상과 형태를 결정하는 지형적 영향권도 수리·수문적 영향권 만큼 중요시 하고 있는 것으로 판단된다.

38개의 평가항목을 쌍대비교한 결과는 Fig. 2 및 Table 4와 같다. 댐설계방류량(Design flood of dam)이 1순위(83.47), 하천의 기본 및 계획홍수량(Normal & design flood)이 2순위 (76.04), 계획홍수량비(Design flood of channel)가 3순위(75.74), 유역면적비(Drainage

Table 3. The Priority of Impact Range Calculation Indices

Index	Numerical Weight	Government	University	Engineering (Senior)	Engineering (Junior)
Hydraulic & Hydrological Effect	0.515	0.377	0.526	0.552	0.549
Geomorphologic Effect	0.171	0.303	0.164	0.151	0.099
Eco & Environmental Effect	0.181	0.162	0.185	0.155	0.242
Social Effect	0.133	0.159	0.125	0.141	0.110

Table 4. The Priority of the Impact Range Calculation Indices and Items

Symbol	Indices	Result		Government		University		Engineering (Senior)		Engineering (Junior)	
		Weight	Order	Weight	Order	Weight	Order	Weight	Order	Weight	Order
H01	Design flood of dam	83.47	1	71.93	3	87.27	1	77.93	1	95.61	2
H02	Instream flow rate	60.87	8	52.90	15	82.34	3	51.67	11	28.18	10
H03	High order channel confluence I	62.87	6	62.98	8	58.05	10	69.25	5	63.26	6
H04	Drainage area	64.99	4	75.01	1	60.28	7	66.52	7	64.83	4
H05	High order channel confluence II	58.40	10	60.26	11	55.68	11	58.76	9	63.32	5
H06	Tributary flood	58.60	9	61.10	10	49.17	13	71.15	4	56.95	7
H07	Back water level downstream dam	63.18	5	64.09	5	58.20	9	74.97	2	52.38	8
H08	Design flood of channel	75.74	3	73.04	2	70.60	4	72.97	3	98.11	1
H09	Normal& design flood	76.04	2	71.18	4	83.01	2	67.52	6	78.80	3
H10	Bankfull discharge	48.68	13	64.08	6	51.25	12	48.64	12	26.29	12
H11	Dorminant discharge	51.58	12	63.14	7	58.85	8	48.26	13	26.65	11
H12	Flow duration	61.03	7	61.96	9	70.23	5	64.03	8	28.76	9
H13	Water level variation	52.99	11	53.93	14	63.12	6	52.55	10	25.06	13

Table 4. The Priority of the Impact Range Calculation Indices and Items(Continued)

Symbol	Indices	Result		Government		University		Engineering (Senior)		Engineering (Junior)	
		Weight	Order	Weight	Order	Weight	Order	Weight	Order	Weight	Order
G01	Bed shear stress	16.83	38	33.77	25	18.95	38	11.47	33	4.76	35
G02	Lane's law	16.44	39	31.10	33	19.43	35	10.97	35	4.49	39
G03	Sediment discharge rate	18.72	32	36.17	21	21.44	26	9.98	39	11.27	20
G04	Size distribution	19.90	27	52.23	16	20.03	32	11.17	34	4.69	36
G05	Median bed material size	18.50	33	47.77	19	17.97	39	11.53	32	4.61	38
G06	Armoring ratio	21.52	17	55.67	13	21.59	24	12.75	31	4.69	36
G07	Sediment discharge	21.22	18	56.84	12	21.52	25	10.46	37	6.28	30
G08	Vegetation in the sandbar	18.44	34	33.23	26	21.78	22	10.90	36	9.56	28
G09	Sinuosity variation	19.29	29	38.51	20	22.29	21	10.36	38	9.69	26
G10	Channel width variation	20.97	19	35.14	23	23.97	16	15.34	23	9.80	25
G11	Channel cross variation	22.99	16	51.81	18	22.56	20	14.97	24	11.37	19
G12	Long term bed level variation	23.01	15	52.01	17	23.53	17	16.28	20	6.04	31
E01	Water temperature	20.68	21	32.54	28	23.08	18	14.61	27	14.38	17
E02	DO	23.20	14	24.21	38	32.41	14	14.43	28	14.38	17
E03	Aquatic plant	20.15	23	32.31	30	21.03	29	14.83	25	16.23	16
E04	Flood channel vegetation	20.10	24	32.51	29	21.17	27	14.05	29	16.82	14
E05	Riparian vegetation	19.44	28	33.00	27	19.38	36	14.05	29	16.82	14
E06	Bio-diversity	19.96	26	24.01	39	25.82	15	14.73	26	10.25	23
S01	EAP	19.97	25	31.67	32	20.31	31	18.08	14	11.11	21
S02	Flood benefit	20.18	22	34.03	24	21.06	28	17.46	15	9.39	29
S03	Land usage	19.10	30	30.80	34	19.72	34	17.03	16	9.83	24
S04	Questionnaire	17.76	37	27.57	35	19.36	37	16.89	17	5.28	34
S05	Road sign	18.44	35	26.40	36	21.64	23	16.50	19	5.56	33
S06	Water usage	20.70	20	35.66	22	22.56	19	16.17	21	9.68	27
S07	Administrative division	19.08	31	32.12	31	20.86	30	16.81	18	5.71	32

area)가 4순위(64.99), 하류댐 배수위(Back water level downstream dam)가 5순위(63.18)으로 분석되었다. 1순위에서 5순위로 중요도가 결정된 평가항목들은 대부분 홍수와 관련된 인자로써 댐과 관련된 중요한 영향 요인을 홍수로 선정하고 있는 것으로 분석되었다. 그러나 공공기관 근무자들은 유역면적비를 1순위(75.01), 하천계획홍수량을 2순위(73.04)로, 댐계획방류량비를 3순위(71.93)으로 평가하여, 국토관리차원의 수자원 부존량을 대표하는 지표인 유역면적비를 중요시 하고 있으며, 다음으로 하천계획홍수량, 댐계획방류량비를 중요시하고 있는 것으로 분석되었다.

5. 대청댐의 영향권 산정

5.1 대상댐 현황

본 연구에서는 금강유역의 대청댐을 영향권 산정 대상으로 선정하였다. 금강유역은 충청도와 경기도 일부 지역을 포함하고 있으며 유역면적은 9,912 ㎢ 이다. 대청댐은 4대강 유역 종합개발계획의 일환으로 금강수계의 수자원을 다목적으로 개발하기 위하여 금강 하구둑으로 부터 135 ㎞ 지점, 대전광역시로부터 동북방 16 ㎞ 지점, 청주시로부터 남방 16 ㎞ 지점인 금강 중류부에 위치하고 있으며, 길이 495 m, 체적 1,234천 ㎥의 콘

크리트 중력식댐과 석괴댐의 복합형댐이다. 유역면적은 3,204 ㎢ 이며, 총저수용량은 1,490백만 ㎥, 유효저수용량은 790백만 ㎥, 홍수조절용량은 250백만 ㎥이다. 대청댐은 1981년부터 운영하여 2007년까지 연평균 강우량은 1,204 mm, 연평균 유입총량은 2,780백만 ㎥, 연평균 방류총량은 2,797백만 ㎥이었다.

조정지댐은 본댐 하류 약 4.5 ㎞ 지점에 높이 23 m, 길이 234 m 의 콘크리트 댐으로 본댐 발전으로 일시에 방류된 물을 저류하여 하류상황에 맞게 용수공급하면서 동시에 발전도 하게 된다.

대청댐의 홍수량은 PMP기준으로 설계홍수량 14,700 ㎥/sec, 설계방류량 11,057 ㎥/sec이고, 여수로의 계획홍수량은 9,500 ㎥/sec, 계획방류량은 6,000 ㎥/sec(한국수자원공사, 2007)이며, 금강의 대청댐 하류하천구간의 기본홍수량과 계획홍수량은 9,500 ㎥/sec 및 5,900 ㎥/sec 이다(건설교통부, 2002).

5.2 영향권 산정

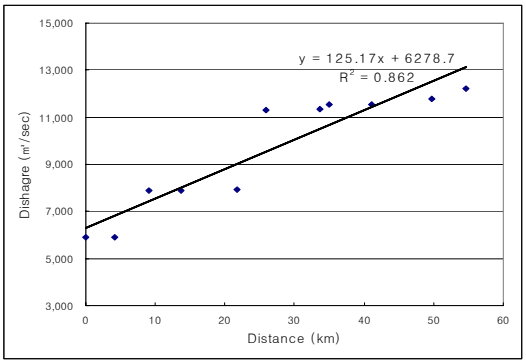
대청댐의 영향권 산정은 계층분석기법에 의해 결정된 1순위 댐설계방류량(H01), 2순위 하천의 기본 및 계획홍수량(H09), 3순위 하천계획홍수량비(H08), 4순위 유역면적비(H04), 5순위 하류댐 배수위(H07)의 항목으로 산정하였다.

댐설계방류량(H01)은 댐의 설계(계획)방류량이 순수하게 지류하천에서 유입하는 기본홍수량과 같아지는 지점으로 산정한다. 따라서 대청댐의 설계방류량과 금강 대청댐하류 하천의 기본홍수량이 같아지는 지점을 산정하기 위하여, 대청댐으로부터 하류하천 연장과 지류하천에서 유입하는 기본홍수량의 상관관계를 분석하였다. 분석결과, 댐설계방류량(H01)에 의한 대청댐의 영향권은 47.21 ㎞(R^2=0.862)인 정안천 합류점까지로 산정되었다(Fig. 2a).

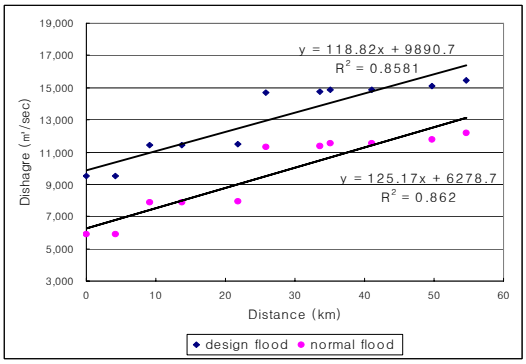
하천의 기본홍수량과 계획홍수량이 같아지는 지점(H09)은 기본홍수량이 계획홍수량보다 많아 산정되지 않았다(Fig. 2b).

하천의 계획홍수량(H08)은 댐의 설계(계획)방류량이 하천의 계획홍수량과 같아지는 지점으로 산정한다. 대청댐으로부터 하류하천 연장과 지류유입 홍수량의 관계를 분석한 결과 대청댐의 영향권은 45.71 ㎞(R^2=0.858)인 유구천 합류점까지로 산정되었다(Fig. 2c).

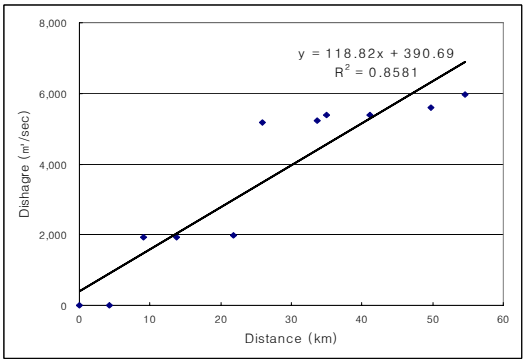
유역면적비(H04)는 대청댐의 유역면적과 하류하천의 유역면적이 같아지는 지점으로 산정한다. 대청댐으로부터 하류하천 연장과 유역면적의 관계를 분석한 결과, 대청댐의 영향권은 13.94 ㎞(R^2=872)인 매표수위표까지로 산정되었다(Fig. 2d). 대청댐은 하류하천에 댐이 없어 댐 배수영향범위(H07)는 산정할 수 없었다.



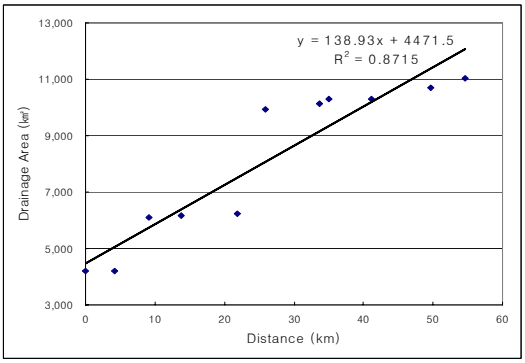
(a) Design flood of dam



(b) Normal & Design flood



(c) Design flood of channel



(d) Drainage area

Fig. 2. Impact Range Calculation Results at Daechung Dam

계층분석기법에 결정된 1순위~5순위의 영향권 산정 항목이외에 비교·분석을 위하여 대청댐의 영향권을 산정할 수 있는 자료가 있는 항목을 모두 선정하여 영향권을 산정하였다. 본 연구에서 추가로 산정한 방법은 하천유지유량(또는 갈수량, H02), 장기하상변화분석(G12), 행정구역(S07) 등이다.

하천유지유량(또는 갈수량, H02)은 대청댐 하류구간에 설정된 현도(8.5 ㎥/sec), 부강(10.5 ㎥/sec), 공주(15.1 ㎥/sec) 지점의 평균갈수량과 댐으로부터 하류연장과의 상관관계를 분석하였다. 하천유지유량은 금강홍수통제소에서 관보제16369호 고시제2006-9호로 2006년 11월 1일 고시한 유량을 적용하였다(한국수자원공사, 2007). 대청댐에서의 하천유지유량은 농업용수공급량(8.8 ㎥/sec)을 적용하였다. 대청댐의 영향권은 9.75 ㎞ (R^2=0.9974)인 갑천 합류점까지로 산정되었다.

지형적 영향 범위는 장기하상 변화분석(G12)을 활용하여 영향권을 산정하였다. 금강 대청댐하류의 하상변동 분석은 1974년과 1988년, 2002년에 실시된 하천정비기본계획(건설부, 1974; 건설부, 1988; 건설교통부, 2002)의 하상단면 측량성과를 활용하였다. 1974년부터 1988년 최심 하상고의 변화를 분석한 결과는 Fig. 4a와 같으며, 대청 조정지댐 직하류부터 미호천 합류전까지 약 20 km 구간은 하상이 현저하게 저하되었다. 이것은 대청댐 건설로 상류의 유사량 유입이 차단되어 하상이 세굴된 것으로 판단된다. 미호천 합류후 공주수위표까지는 일부구간 국부적인 세굴이 발생한 것을 제외하고는 대청댐 직하류 보다는 전반적으로 하상변화가 적었으나 대교천 합류점인 35 km 구간부터 공주수위표까지는 하상이 상승하였다. 1988년부터 2002년까지의 하상변동은 Fig. 4b와 같다. 대청 조정지댐 하류로부터 매포수위표까지 약 12 ㎞ 구간은 하상변동이 거의 없었으며, 갑천이 합류하는 일부구간에서만 하상이 상승되었다. 대청댐 운영초기에는 하상의 세굴이 발생하였으나, 조립 하상재료가 노출되고 하상이 장갑화가 진행되어 하상변동이 적었던 것으로 판단된다. 따라서 대청댐 건설전·후의 하상변동을 분석한 결과에 따라 영향권은 12.0 ㎞인 매포수위표까지로 산정하였다.

사회적 영향 범위에서 정량적으로 산정이 가능한 지표는 행정구역(S07)이다. 대청댐의 행정구역을 기준으로 산정한 결과는 25.9 ㎞인 미호천 합류점 까지로 산정되었다.

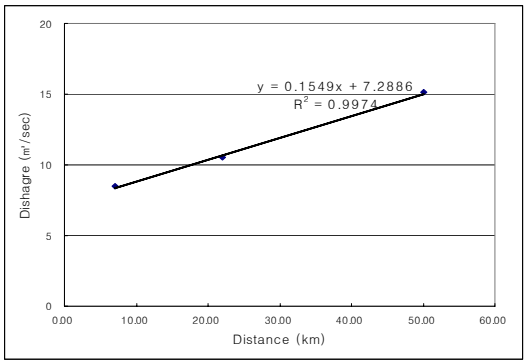
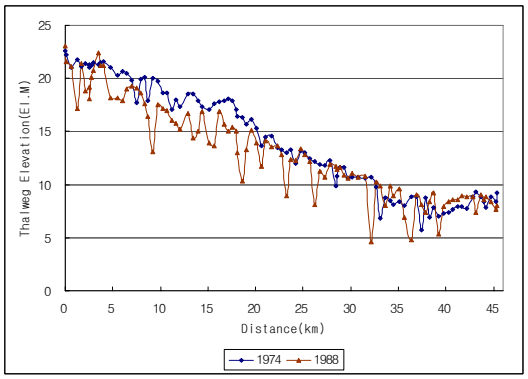


Fig. 3. Analysis of the Instream Flow

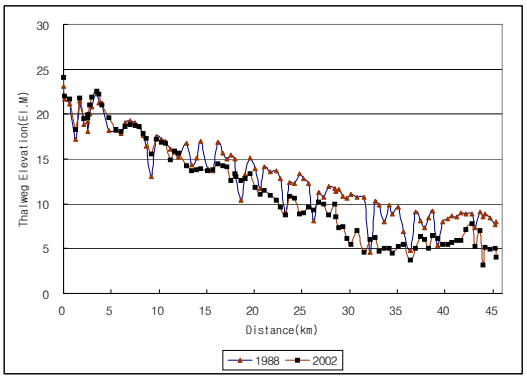
5.3 결과분석

대청댐의 영향권을 수리·수문적 지표의 댐설계방류량(H01), 계획홍수량비(H08), 유역면적비(H04)의 하천유지유량비(H02), 지형적 지표는 장기하상변동(G12), 사회적 지표는 행정구역(S07)의 6가지 항목으로 산정하였다.

수리·수문적 지표의 댐설계방류량(H01)이 47.21 ㎞로 가장 길고, 하천유지유량비(H02)가 9.75 ㎞로 가장 짧게 산정되었다. 수리·수문 지표는 댐이 하류하천에 미치는 영향 요인 중에서 홍수와 같은 요인은 영향권 범위가 상당히 길어질 수 있으나 영향기간 측면에서는 짧은 편이며, 갈수와 같은 요인은 영향범위가 적으나 그 영향기간은 상당히 길게 산정될 수 있다.



(a) 1974 & 1988



(b) 1988 & 2002

Fig. 4. Analysis of the Bed Level Changes Downstream of Daechung Dam

Table 5. Impact Range Calculation Results at Daechung Dam

AHP Order	Symbol	Indices	Calculation Criteria	Calculation Result	
				Distance (㎞)	Reach
1	H01	Design flood of dam	Dam design flood = Lateral inflow channel design flood	47.21	Daechung dam - JunganChun
2	H09	Normal & Design flood	Channel normal flood = Channel design flood	can not calculate	can not calculate
3	H08	Design flood of channel	Dam design flood = Channel design flood	45.71	Daechung dam - UguChun
4	H04	Drainage area	Drainage area = Downstream drainage area	13.94	Daechung dam - Maepo stage station
8	H02	Instream flow rate	Dam instream flow = Channel instream flow	9.75	Daechung dam - GapChun
15	G12	Long term bed level variation	Long term bed level variation	12.0	Daechung dam - Maepo Station
31	S07	Administrative division	Administrative division	25.9	Daechung dam - MihoChun

지형적 지표인 장기하상변동 분석결과는 12.0 ㎞로 산정되었다. 장기하상변동과 같은 지형적 지표는 하천의 공간적인 개념(종적, 횡적, 수직적)과 생물서식처 기능을 대표하는 요인으로 판단된다.

Williams and Wolman(1984)의 연구에서는 Canton 댐의 영향권을 댐 건설전과 후의 유입 유사량이 같아지는 지점으로 약 182 ㎞ ~ 500 ㎞ 인 것으로 제시한 바 있다.

본 연구에서는 환경·생태적 지표로 영향권을 산정할 수 없었다. 환경·생태적 지표로 영향권을 산정하기 위하여 관련 자료를 조사하였으나, 자료의 한계성으로 정량적 산정이 어려운 항목이었다. 그럼에도 불구하고 댐의 영향권 산정을 위한 지표와 항목으로 선정한 것은 환경·생태적 지표 역시 댐 하류하천에 많은 영향을 미치는 요인이므로 향후 지속적인 조사와 연구가 필요하기 때문이다. 따라서 본 연구에서 제시한 지표와 항목들은 신규댐 건설시 사전에 충분한 조사와 연구를 위하여 활용될 것으로 판단된다.

6. 결 론

댐이 하류하천에 미치는 영향권은 정량적으로 산정하기는 어렵지만 정성적, 개념적, 사회적 상황을 고려하면 상당히 광범위하다고 볼 수 있다. 이렇게 광범위한 구간을 댐이 하류하천에 미치는 영향에 관한 세부조사와 연구를 시행하기에는 시간적, 공간적, 경제적으로 한계가 있다. 따라서 금번 연구에서는 조사와 연구에 적용 가능한 댐이 하류하천에 미치는 영향권을 산정하기 위하여 지표와 항목을 선정하고 계층분석기법을 활용하여 댐 영향권 산정 지표와 항목의 중요도를 평가하였다. 또한 금강유역의 대청댐을 선정하여 댐이 하류하천에 미치는 영향권을 산정 하였으며, 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 댐이 하류하천에 미치는 영향권을 산정하기 위하여 수리·수문적, 지형적, 환경·생태적, 사회적 영향의 4개의 지표와 댐계획홍수량 등 38개의 항목을 선정하였다.

2) 계층분석기법을 적용하여 댐의 영향권 산정 지표와 항목의 중요도를 평가한 결과, 지표는 수리·수문적 영향권이 1순위(0.515), 환경·생태적 영향권이 2순위(0.181), 지형적 영향권 및 사회적 영향권이 각각 3순위(0.181), 4순위(0.133)이었으며, 항목은 댐설계방류량이 1순위(83.47), 하천의 기본 및 계획홍수량이 2순위 (76.74), 계획홍수량비가 3순위(75,74), 유역면적비가 4순위(64.99), 하류댐 배수위가 5순위(63.18)로 조사되었다.

3) 대청댐의 영향권을 산정한 결과, 댐설계방수량(H01) 지표는 47.21 ㎞(R^2=0.862), 하천계획홍수량(H08) 지표는 45.71 ㎞(R^2=0.858), 유역면적비(H04) 지표는 13.94 ㎞(R^2=872)로 산정되었다. 하천유지유량(H02) 지표는 9.75 ㎞(R^2=0.858), 장기하상변화(G12) 지표는 12.0 ㎞, 행정구역(S07) 지표는 25.9 ㎞로 산정되었다.

본 연구에서 제시한 영향권 산정 지표와 항목은 댐 건설전 단계부터 댐이 하류하천에 미치는 영향에 관한 조사와 연구에 활용되고, 댐 건설이후에도 댐으로 인한 하류하천에 미치는 영향에 관한 조사 및 연구의 범위와

항목 설정에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 “댐 직하류 하천정비사업 기본계획”의 일환으로 시행되었습니다. 관계당국과 본 연구에 참여하신 한국수자원학회의 연구진들께도 깊이 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2002). **금강수계 하천정비기본계획**. 대전지방국토관리청.

건설부 (1974). **금강 하천정비기본계획**.

건설부 (1988). **금강수계 종합정비기본계획(II)**.

김응석, 이정호, 김중훈 (2003). “계층분석기법을 이용한 하수관거 결함항목별 가중치 산정.” **상수도학회논문집**, 상수도학회, 제17권, 제2호, pp. 277-290.

김경탁, 심명필 (1990). “댐 건설에 의한 충적하천의 하상변동에 관한 연구.” **1990년 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 215-219.

김태균, 윤용남, 안재현 (2002). “댐 건설에 따른 하류 유황의 변화 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 807-916.

박봉진, 김준태, 장창래, 정관수 (2008). “수문변화 지표법에 의한 영천댐이 하류하천에 미치는 유황변화 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제2호, pp. 163-172.

박봉진, 성영두, 정관수 (2005). “영천댐 건설이 금호강의 어류 서식환경에 미치는 영향에 관한 평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제9호, pp. 771-778.

박태선 (2002). “계층분석법을 이용한 하천의 중요도 평가기법.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 685-692.

서일원, 김대근, 이재형 (1995). “GSTAR모형을 이용한 하상변동 해석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제15권, 제6호, pp. 1679-1687.

손명원 (1986). “댐 건설로 인한 하도형태의 변화 : 대청댐 하류구간을 사례로.” **대한지리학회지논문집**, 대한지리학회, 제1권, 제33호, pp. 37-44.

여운기, 임기석, 이승윤, 지홍기, 이순탁 (2004). “댐하류 하도의 식생 매카니즘과 홍수소통능력 저감특성.” **2004년 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 922-926.

유권규, 우효섭 (1993). “HEC-6를 이용한 대청댐 하류의 하상변동예측.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제5호, pp. 157-163.

윤용남, 박무종 (1993). “댐 건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제3호, pp. 79-91.

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

이재문, 이상일 (2007). “AHP기법을 이용한 최적 계획하폭 선정-입지에의 적용 사례연구.” 한국수자원학회, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제12호, pp. 931-941.

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

이정호, 김중훈, 김형수, 김응석, 조덕준 (2004). “최적도시유출시스템개발 : Ⅰ. 도시유출시스템에서의 AHP를 고려한 불명수량 산정에 관한연구.” 한국수자원학회, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제2호, pp. 195-206.

이현재, 심명필 (2002). “계층분석(AHP)에 의한 가뭄시 용수배분 우선순위 의사 결정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 703-714.

장창래, 정관수, 김재한, 양동윤 (2000). “댐건설에 의한 하상변동 예측.” **한국토목학회 학술발표회논문집**, 한국토목학회, 수공분과(5)-유사, pp. 175-178.

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

한국수자원공사 (2007). **댐운영실무편람**.

Brandt, S. A. (2000). "Classification of Geomorphological Effects Downstream of Dams." *Catena*, Vol. 40, pp. 372-401.

Fassnacht, H., Mcclure, E. M. (2003). "Downstream Effects of the Pelton-Round Butte Hydroelectric Project on Bedload Transport, Channel Morphology, and Channel Bed- Texture, Lower Deschutes River, Oregon." *American Geophysical Union*, pp. 175-207.

Frisell, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E., and Hurley, M. D. (1986). "A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification : Viewing Streams in a Watershed Context." *Environmental*

Management, Vol. 10, pp. 199-214.

Galay, V. J. (1983). "Causes of River Bed Degradation." *Water Resources Research*, Vol. 19, No. 5, pp. 1057-1090.

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." *Geomorpholog*, Vol. 79, pp. 336-360.

ICOLD (2003). *World Register of Dams*. Published by International commission on large Dams.

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.

Junk, W. J., Baylay, P. B., and Sparks, R. E. (1989). "The Flood Pulse Concept in River Floodplain Systems." Procedure International Large River Symposium, Canada, Special Publication, *Fish Aquatic Science*, Vol. 106, pp. 110-127.

Lajoie, F., Assani, A. A., Roy, A. G., Mesfioui, M. (2007). "Impacts of Dams on Monthly flow Characteristics-the Influence of Watershed Size and Seasons." *Journal of hydrology*, Vol. 334, pp. 423-439.

Magilligan F. J., Nislow K. H. (2005). "Change in Hydrologic Regime by Dams." *Geomorphology*, Vol 71, pp. 61-78.

Magilligan, F. J., Nislow, K. H, Graber, B. E. (2003). "Scale-Independent Assessment of Discharge Reduction and Riparian Disconnectivity Following Flow Regulation by Dam." *Geological Society of America*, Vol. 31, No. 7, pp. 569-572.

Naiman R.J., Lonzarich D.G., Beechie T.J., Ralph S.C. (1994). "General Principles of Classification and the Assessment of Conservation Potential in Rivers." *River Conservation and Management*, Edited by P. J. Boon, P. Calow, G.E. Petts, New York, John Wiley & Sond, pp. 94-123.

Olden, J. D., Poff, N. L. (2003). "Redundancy and the Choice of Hydrologic Indices for Characterizing Streamflow Regimes." *River Research and Applications*, Vol. 19, pp. 101-121.

Petts, G. E., Gurnell, A. M. (2005). "Dams and Geomorphology : Research Progress and Future Directions." *Geomorphology*, Vol. 71, pp. 24-47.

Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegaard, K. L., Ricther, B. D., Sparks, R. E., Stromverg, J. C. (1997). "The Natural Flow Regime : A Paradigm for River Conservation and Restoration." *Bioscience*, Vol. 47, No. 11, pp. 769-784.

Poff, N. L., Olden, J. D., Merritt, D. M., Pepin, D. M. (2007). "Homogenization of Regional River Dynamics by Dams and Global Biodiversity Implications." *PNAS*, Vol. 104, No. 14, pp. 5732-5737.

Poff, N. L., Olden, J. D., Pepin D. M., Bledsoe, B. P. (2006). "Placing Global Stream Flow Variability in Geographic and Geomorphic Contexts." *River Research and Applications*, Vol. 22, pp. 149-166.

Richard, A. M., Mills, J. D., Wrazien, D. R., Bassett, B., Splinter, D. K. (2005). "Effects of Jacjson Lake Dam on the Snake River and its Floodplain Grand Teton National Park, Wyoming, USA." *Geomorphology*, No. 71, pp. 79-98.

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.

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.

Richter, B. D., Baumhartner, J. V., Wigington, B., Braun, D. P. (1997). "How Much Water Does a river Need ?" *Freshwater Biology*, Special Applied Issues Section, No. 37, pp. 231-249.

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.

Shiau, J. T., Wu, F. C. (2004). "Feasible Diversion

and Instream Flow Release Using Range of Variability Approach." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol 130, No. 5, pp. 395-404.

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.

Ward, J. V. (1989). "The 4-dimensional Nature of Lotic Ecosystems." *Journal of North American Benth. Society*, Vol. 8, 2-8.

Williams, G. P., Wolman, M. G. (1984). "Downstream Effects of Dams on Alluvial Rivers." *U.S. Geology Survey Professional Paper 1286*. pp. 1-83.

Xu Jiongxin (1990). "An Experimental Study of Complex Response in River Channel Adjustment Downstream From a Reservoir." *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 15, pp. 43-53.

Xu Jiongxin (1996a). "Channel Pattern Change Downstream from a Reservoir : An Example of Wnadering Braided Rivers." *Geomorphology*, Vol. 15, pp. 147-158.

Xu Jiongxin (1996b). "Wandering Braided River Channel Pattern Developed Under Quasi-equilibrium : an Example form the Hanjiang River, China." *Journal of Hydrology*, No. 181, pp. 85-103.

Xu Jiongxin (2001). "Modified Conceptual Model for Predicting the Tendency of Alluvial Channel Adjustment Induced by Human Activities." *Chinese Science Bulletin*, Vol. 46, pp. 51-57.

(논문번호:07-154/접수:2007.12.26/심사완료:2008.08.25)