

댐 건설에 따른 수문기상학적 영향 범위 An Assessment on the Geographical Boundary of Hydrometeorologic Changes due to Dam Construction

안재현* / 유철상** / 김학열*** / 윤용남****

Ahn, Jae Hyun / Yoo, Chul Sang / Kim, Hag Yeol / Yoon, Yong Nam

Abstract

This study analyzes hydrometeorologic changes after a dam construction, and develops a model related to estimating the geographical boundary how far hydrometeorologic changes could happen due to a dam construction. The model is applied to several dams, namely, Seomjin Dam, Soyang Dam, Andong Dam, and Chungju Dam. Throughout estimating the correlation between albedo and recycling coefficients, the result confirms that the land use changes by dam construction are the critical factor on the recycling of the water in the air. It is also shown that the geographical boundary is highly related to the surface area of a dam. Finally, this model is expected to be applied to estimate its boundary of hydrometeorologic changes by a new dam construction.

keywords : dam, hydrometeorology, albedo, recycling coefficient

요 지

본 연구에서는 댐 건설 전후 수문기상자료의 변화에 대해 분석하고, 댐 건설이 국지 수문기상변화에 미치는 영향과 그 영향 범위에 대해 알아보았다. 모형화를 통해 댐 건설 전후의 수문기상변화에 대한 정량화를 수행하고자 하였으며, 댐의 영향 정도를 시공간적으로 정량화 할 수 있는 모형을 개발하였다. 개발된 모형은 삼진강댐, 소양강댐, 안동댐, 충주댐 등에 적용하였으며, 실제 댐 건설로 인한 수문기상학적 영향이 미치는 한계 범위를 파악하였다. 댐의 범위별로 산정된 알베도와 재순환계수의 상관관계를 분석한 결과 댐 건설 후 격자별 알베도와 재순환계수는 상당히 높은 상관관계(상관계수 0.88)를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 댐 건설에 따른 토지이용의 변화가 궁극적으로 수분의 재순환에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 평가되었다. 또한, 수문기상학적 영향범위와 댐 건설 후 생성되는 저수면적과 비교를 통해 저수면적과 영향범위는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며, 신규 댐의 건설시에 댐 건설로 생성이 예상되는 저수면적을 이용해서 수문기상학적 영향의 범위를 추정할 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 댐, 수문기상학, 알베도, 재순환계수

* 서경대학교 토목공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., SeoKyeong Univ., Seoul 136-704, Korea
(e-mail: wrr@skuniv.ac.kr)

** 고려대학교 사회환경시스템공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

*** 서경대학교 도시공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Urban Eng., SeoKyeong Univ., Seoul 136-704, Korea

**** 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수
Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

1. 서 론

1.1 연구목적

세계 각국에서는 용수 확보와 홍수 예방 등의 목적으로 현재까지 많은 댐을 건설하여 왔으며, 이러한 댐의 건설로 인해 수문기상의 변화가 초래되었다고 알려져 있으나, 아직까지 그 근거가 매우 빈약한 것은 사실이다. 특히, 최근 계속되는 이상기후현상은 이러한 기상변화가 댐 건설로 인해 기인되었는지에 대한 의문을 갖게 한다. 따라서, 본 연구에서는 댐 건설 전후의 수문기상 자료의 변화에 대해 분석하여, 과연 댐 건설이 국지 수문기상변화에 어떠한 영향을 미치고 있는지, 아울러 그 영향 범위는 어느 정도인지 알아보려고 한다.

수문기상자료의 변화가 전적으로 댐 건설에 의한 영향이라고 단정하기는 매우 어렵다. 특히, 관측자료의 분석만으로 댐 건설에 따른 영향을 정량적으로 파악하는 것은 한계가 있다. 또한, 우리나라의 경우처럼 댐 건설 전후의 수문기상 관측자료가 충분히 확보되어 있지 않은 경우에는 더욱 그러하며, 댐 건설에 따른 수문기상 변화의 예측은 다양한 상황(댐의 규모, 지형, 지질, 식생 등)을 고려할 수 있는 모형화를 통해 가능할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 모형화를 통해 댐 건설 전후의 수문기상변화에 대한 정량화를 수행하고자 하였다. 즉, 댐 건설에 따른 인근 지역의 수문기상 변화분석을 위해 관측자료의 분석에서 나타난 변화를 모형을 통해 재 구현해 보고자 하는 것이다. 이를 통해 국내 댐의 건설로 인한 수문기상학적인 인자의 시공간적 영향을 분석 및 일반화하고, 댐 건설에 따른 수문기상학적 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구동향

댐 건설에 따른 수문기상변화에 대한 국내의 연구는 대단히 빈약한 편이다. 이는 외국의 경우에서도 마찬가지인데, 그 이유로는 주로 댐에 의한 수문기상변화에 대한 관심보다는 생태학적인 측면의 환경변화에 보다 많은 관심을 갖기 때문인 것으로 판단된다.

댐 건설에 따른 영향평가와 관련된 국내의 연구로서는 “댐 건설 전후의 자연환경 변화에 관한 연구(한국수자원공사, 1997)”가 대표적이라 할 수 있다. 이 연구에서는 금강유역에 위치한 대형댐을 대상으로 하여 댐 건설 전후의 식생, 토지이용의 변화 및 이에 따른 유출특성의 변화 등을 분석하고 있다. 그러나, 이 연구는 수문 환경에 한정되어 수문기상의 변화와 관련된 내용은 언급되어 있지 않다.

댐 건설에 따른 수문기상 변화를 살펴본 연구로는

이종범(1981)의 연구를 들 수 있다. 이 연구에서는 춘천 지방을 대상으로 주변호수가 춘천지방의 기후변화에 어떠한 영향을 미치고 있는가에 대해 연구하였으며, 이를 위해 기존 시계열 자료를 비교·분석하였다. 이후 홍성길(1982)은 안동호 형성에 따른 안동지방의 안개 발생일수에 대해 연구한 바 있고, 이종범 등(1990)은 댐 건설에 따른 국지적 기후 변화 실태에 대해 연구한 바 있다. 이외에도, 댐 건설에 따른 수문기상의 변화에 관련된 연구로는 노용호와 조선형(1990) 및 소선섭과 양문석(1993)의 연구를 들 수 있다. 이들의 연구는 모두 충주댐을 대상으로 하고 있으며, 충주댐에 인접해 있는 충주 기상관측소의 자료를 분석하고 있다. 노용호와 조선형(1990)의 연구에서는 여러 기상 인자의 변화를 정성적으로 나타내 주고 있으며, 소선섭과 양문석(1993)의 연구에서는 안개 발생과 관련된 변화를 기상학적으로 분석하고 있다. 이후에도 남재철 등(1995)과 윤진일 등(1997), 이승호(1998)가 안동호와 주암댐, 충주호 등을 대상으로 댐 건설에 따른 수문기상변화에 관한 연구를 수행한 바 있으나, 이들의 연구는 연구 당시 댐 건설 이전 및 이후의 기록연수가 짧아 통계학적인 분석과 같은 정량적인 분석은 시도되지 못했다.

댐 건설에 따른 수문기상변화에 대한 최근의 연구로는 안재현 등(2001)의 물수지 방정식을 이용한 대형댐 건설에 따른 수문환경의 변화 분석을 들 수 있겠다. 하지만, 이 연구 역시 수문기상의 변화보다는 수문환경 및 유출 특성 변화에 초점을 맞추고 있다.

댐에 의한 수문기상의 변화는 댐 건설로 인해 변화하는 지표면의 변화로부터 시작되며, 이는 지표면의 상태에 따라 달라지는 알베도가 대기의 수분순환에 영향을 미치는 것에 기인한다. 따라서, 궁극적으로는 수표면, 경작지나 수분을 함유한 지표면 등은 태양에너지의 흡수를 촉진시키게 되며, 증발량 및 주변 수분의 증가를 초래하게 된다. 이는 알베도가 대기 중 수분의 변화와 밀접한 관계가 있음을 의미하는 것이며, 궁극적으로는 지표면의 상태변화, 특히 대규모 저수지의 생성은 대기 중 수분순환에 큰 영향을 미치고 있음을 시사한다.

기존의 여러 연구에서도 대기 중 수분량과 접합된 지표면과 대기시스템의 수분순환 능력이 밀접한 관계가 있음을 밝힌 바 있으며(Benton 등, 1950; Budyko and Drozdov, 1953; Salati 등, 1979; Salati and Vose, 1984; Lettau 등, 1979), 경작지의 증가나 댐의 건설로 인한 수표면의 증가 등과 같은 지표면 특성의 변화가 대기 중 수분량을 변화시킴을 보여주고 있다(Stidd, 1975; Balek, 1983; Ponce 등, 1997). 특히 본 연구와 연관해서는 Balek (1983)이 아프리카에 위치한 Kariba 댐의 건

설로 생성된 호수의 영향 때문에 주변 지역의 강수량이 5-10% 정도 증가함을 밝힌 연구는 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 모형의 구조

댐 건설에 의한 인근 지역의 기후 및 기상변화를 살펴 보기 위한 모형화 과정에는 다음과 같은 전제조건이 따른다. 먼저, 모형의 구조가 이해되기 쉬운 간단한 형태이어야 한다. 모형의 구조가 복잡할 경우 필연적으로 많은 매개변수를 요구하게 되고 아울러 이의 추정이 큰 문제로 대두되게 된다. 특히, 관측자료가 부족한 상황에서는 심각한 문제로 대두될 수도 있다. 아울러 모형의 예측결과에 대해서도 그 신뢰성을 확보하기가 쉽지 않다.

두 번째의 조건은 모형의 매개변수가 댐의 건설에 따른 물리적 환경변화를 잘 반영할 수 있어야 한다는 것이다. 예를 들어, 지하수위의 상승과 수표면적의 증가에 따른 알베도의 변화 등이 잘 고려되는 매개변수를 포함하고 있어야 한다. 특히, 이러한 매개변수가 댐 건설의 영향을 직접 반영하는 형태이어야 한다.

마지막으로, 모형의 예측치는 수문기상의 변화를 직접 또는 간접적으로 나타낼 수 있어야 한다. 이는 본 연구의 궁극적 목적이기도 하다. 여기에 별도로 댐의 영향을 공간적으로 살펴볼 수 있는 방안도 필요하다.

위와 같은 전제조건에 따라 본 연구에서 적용한 모형의 구조 및 특성은 그림 1과 같다. 이 모형에서는 댐 건설에 의한 토양층의 토양수분 변화에 대해 고려할 수 있도록 하였는데, 댐 건설에 따른 지하수위의 상승은 토양층의 토양수분량 증가로 이어지기 때문이다. 이러한 토양층의 토양수분량 증가는 수표면적 증가, 삼림 및 초지의 증가 등과 함께 알베도의 변화를 일으킨다. 알베도의 변화는 증발산량의 변화 및 강수량의 변화를 야기할 것이고, 이는 다른 기상인자의 변화와도 무관하지는 않을 것이다. 댐의 규모는 지하수위의 상승 정도와 수표면적의 증가 정도에 반영되며, 아울러 그 정도는 고려하는 모형의 공간규모와 관련이 있다. 예를들어, 댐 인접지역의 영향을 살펴보는 경우 상대적으로 지하수위의 상승정도 및 수표면적의 증가가 크게 나타나고, 반대로 넓은 지역에서의 영향을 살펴보는 경우 그 정도가 작아지게 될 것이다.

본 연구에서는 Budyko의 모형(1986) 및 그 해석방법을 응용하였으며, Ponce 등(1997)이 위의 방법을 적용해서 산정한 결과를 이용하고 있다. Ponce 등(1997)은 바다의 영향이 직접적으로 고려되는 대규모 모형을 고려

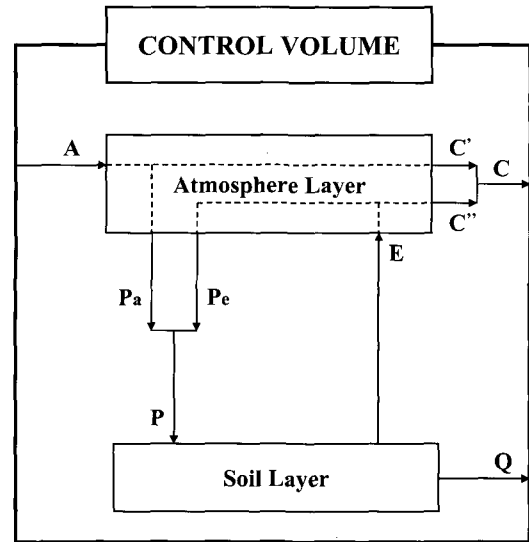


그림 1. 시·공간 영향 평가를 위한 모형의 구조

하였으나, 본 연구에서는 대기와 토양층의 관계를 기본 구조로 이용하였다. 장기간의 물수지 평형을 고려하여 대기중의 수분 변동을 평가할 수 있는 Budyko의 모형(1986)에 대해 설명하면 다음과 같다.

강수량은 내부에서 증발량으로 생성되는 조건과 외부로부터 유입되어 생성되는 조건으로 분리할 수 있다(Budyko, 1986).

$$P = P_a + P_e \quad (1)$$

식 (1)에서, P_a 는 외부에서 통제용적 안으로 유입되는 수증기(A)로 인해 발생하는 강수량(mm)을 의미하며, P_e 는 통제용적 안에서 발생하는 증발(E)로 인해 생성되는 강수량(mm)을 의미한다. 대기순환이 활발하여 대기가 완벽하게 섞인다고 가정한다면, 외부로부터 유입되어 발생한 강수량 P_a 와 내부의 증발량으로 발생한 강수량 P_e 의 비는 Ω 값으로 나타낼 수 있다(Entekhabi 등, 1992).

$$\frac{P_e}{P_a} = \Omega \quad (2)$$

Ω 는 재순환계수로 정의된다. 재순환계수 Ω 의 산정으로 통제용적 외부로부터 유입되어 발생한 강수량 P_a 와 통제용적 내부의 증발량으로부터 기원한 강수량 P_e 를 분리할 수 있으며, Ω 는 식 (3)과 같이 결정할 수 있다(Budyko, 1986; Entekhabi 등, 1992).

$$\Omega = \frac{EL}{2WU} \quad (3)$$

여기서, E는 실제증발산량(L/T), L은 통제용적의 범위(L), W는 가강수량(L), U는 풍속(L/T)을 의미한다. Ω를 이용해서 식 (4)로부터 P_a 와 P_e 를 산정할 수 있다.

$$P_a = \frac{P}{(1+\Omega)}, \quad P_e = \frac{\Omega P}{(1+\Omega)} \quad (4)$$

P_a 가 P 에 비해 상대적으로 작을 경우 Ω값은 증가하며, 이는 수분의 내부순환이 활발해짐을 의미한다. 반면에, P_a 가 상대적으로 커지는 경우 Ω값은 감소하며, 외부에서 유입되는 수증기로 인해 발생하는 강수량은 증가하게 된다.

2.2 대상지역에 대한 입력자료 구축

본 연구에서는 다음과 같은 4개의 대상 댐에 대해 모형을 적용하였다. 섬진강댐은 1965년, 소양강댐은 1973년, 안동댐은 1977년, 충주댐은 1986년에 준공되어 운영되고 있으며, 저수면적은 충주댐이 97km²로 가장 크고 소양강댐(70km²), 안동댐(51.5km²), 섬진강댐(26.5km²)의 순서로 되어있다.

표 1과 같은 대상 댐들의 댐 건설 후 토지이용상태의 변화를 분석하기 위해 Landsat 인공위성영상자료를 이용하였다. 표 1에 해당하는 댐들의 포함하는 영상은 115-034와 115-035 영상이며, 동시에 촬영된 데이터를 수집하는 것은 어려우므로 비교적 같은 계절 또는 봄과 가을을 포함하는 시기에 해당 지역을 촬영한 영상을 이용하였다.

인공위성 영상의 분석을 위해 Imagine, ER-Mapper, ArcView 등의 소프트웨어가 이용되었으며, 댐 수표면을 중심으로 10km×10km~100km×100km 크기로 대상범위를 변화시키면서 범위별로 토지이용의 변화를 추정하고, 이를 이용하여 알베도를 산정하였다. 분석을 위해 Landsat TM의 전체 밴드 중 열적외선 밴드인 6번 밴드를 제외한 다중분광 밴드 6개를 Imagine에서 사용할 수 있는 Img포맷으로 변환하여 불러들인 후 영상 취득 일자별로 하나의 파일로 구성(Layer Stack)하였다.

격자별로 산정된 알베도를 표 2에 나타내었다. 댐별로 살펴본 경우 알베도의 값이 연도별로는 일정한 패턴을 보이나 다른 연도와는 조금씩 변화된 값을 보여주고 있다. 이는 인공위성에서 영상을 촬영할 때의 기상조건(수분, 구름, 계절 등)에 따라 조금씩 그 편차가 있을 수 있기 때문이다. 그러나, 이러한 변화가 일정한 경향을 가지고 일어나기 때문에 본 분석에 적용하는 것에 무리가 없을 것으로 판단된다.

분석결과, 공통적인 경향으로 격자크기가 작을수록(댐 주변일수록) 알베도가 작아지는 특성을 보임을 알 수 있다. 특히 소양강댐은 약 40km의 범위까지, 안동댐은 약 20-30km까지, 충주댐은 약 50km까지 지속적으로 알베도가 증가한 후, 일정한 값을 유지하고 있다. 이는 댐 주변일수록 댐 건설로 인한 수표면적 증가의 영향으로 알베도가 작다가, 격자가 커지면서 수표면이 차지하는 비율이 줄어들면서 어느 범위 이상에서는 일정한 값을 보여주기 때문이다.

표 1. 대상 댐의 제원

구분	수계	준공연도	유역면적(km ²)	저수면적(km ²)
섬진강댐	섬진강	1965년	763	26.5
소양강댐	북한강	1973년	2703	70.0
안동댐	낙동강	1977년	1584	51.5
충주댐	남한강	1986년	6648	97.0

표 2. 댐별 대상 범위와 연도에 따른 알베도의 변화

대상범위 (km×km)	댐별 대상범위와 연도에 따른 알베도											
	섬진강댐			소양강댐			안동댐			충주댐		
	1986년	1994년	2000년	1986년	1994년	2000년	1986년	1994년	2000년	1986년	1994년	2000년
10×10	0.158	0.170	0.157	0.145	0.146	0.142	0.155	0.161	0.160	0.142	0.144	0.139
20×20	0.166	0.175	0.166	0.151	0.151	0.149	0.168	0.165	0.165	0.156	0.155	0.151
30×30	0.167	0.175	0.168	0.157	0.156	0.154	0.168	0.165	0.165	0.161	0.159	0.156
40×40	0.167	0.176	0.169	0.159	0.157	0.155	0.170	0.165	0.164	0.163	0.161	0.159
50×50	0.168	0.178	0.172	0.160	0.157	0.155	0.170	0.165	0.164	0.164	0.163	0.160
60×60	0.170	0.178	0.174	0.159	0.156	0.155	0.171	0.165	0.164	0.164	0.163	0.161
70×70	0.171	0.178	0.175	0.159	0.156	0.155	0.172	0.166	0.165	0.164	0.164	0.161
80×80	0.172	0.178	0.175	0.159	0.156	0.155	0.171	0.167	0.166	0.165	0.165	0.163
90×90	0.171	0.177	0.174	0.159	0.156	0.155	0.170	0.166	0.165	0.166	0.166	0.164
100×100	0.170	0.176	0.173	0.159	0.156	0.156	-	-	-	0.167	0.167	0.165

2.3 댐 건설로 인한 수문기상 변화의 공간적 영향 분석

2.3.1 기상 자료

댐별 분석을 위해 표 3과 같은 기상청 관할 기상관측소의 기상자료를 이용하였으며, 이용된 기상자료는 강우량, 증발량, 풍속, 이슬점온도이다. 모든 관측소에 1991년이후에 증발량을 측정하지 않았으며, 동시 관측이 이루어진 시기가 1973년부터이므로 분석기간을 1973-1990년의 18년으로 설정하였다.

원래 재순환계수(Ω)를 산정하기 위해서는 가강수량값이 필요하나 현재 기상관측소에서는 직접 가강수량을 측정하지 않으며, 몇몇 대표지점에서 고층기상층을 통해 가강수량을 계산할 수 있는 자료를 제공하고 있다.

따라서, 지점별 가강수량의 계산을 위해서는 일반적으로 지상의 기상관측소의 이슬점온도와 상관관계를 통해 계산식을 결정한 후, 이를 이용해서 가강수량을 산정하고 있다(한영호, 1971; 오성남과 이태영, 1978; 조희구와 이승만, 1982). 본 분석에서도 같은 방법을 적용했으며, 이를 위해 2000년에 오산관측소에 측정된 고층기상자료를 이용해서 이슬점온도와 가강수량의 상관식을 그림 2와 같이 결정하였다. 결정된 상관식은 다음과 같다.

$$W = 10.906 \times e^{(0.0599838 \times D)} \quad (5)$$

여기서, W는 가강수량(mm), D는 이슬점온도(°C)를 의미한다.

2.3.2 댐 건설에 따른 수분순환 분석

섬진강댐, 소양강댐, 안동댐, 충주댐 유역의 기상자료(증발량, 풍속, 이슬점온도에서 계산된 가강수량 등)를 이용해서 각각의 댐 건설 후의 재순환계수 Ω 를 산정하였으며, 이로부터 P_e 와 P_a 의 값이 결정되었다. 표 4에는 격자별로 변화하는 Ω , P_e , P_a 의 값이 도시되어 있다.

댐 주변의 공간적인 범위(L)가 증가할수록 내부에서

증발되는 강우인 P_e 는 감소하며, 외부에서 유입되는 수분으로부터 기원하는 강우인 P_a 는 증가함을 알 수 있다. 이것은 강수량과 비교하여 Ω 가 작으면 P_e 는 상대적으로 커지며, 이 때의 대기는 활발한 재순환이 이루어지기 때문이다. 반면, Ω 가 커지면 P_a 가 작아지게 되고 (P_e 가 증가) 이 때의 대기 재순환은 국지적으로 발생하게 됨을 의미하는 것이다.

즉, 그 정도의 차이는 있지만 댐 건설 후 댐 주변의 재순환계수 Ω 는 큰 값을 보이다가 격자가 커질수록 작아지는 현상을 4개 댐에서 동시에 보여주고 있는 것이다. 이는 댐 건설 후 생성된 수표면과 토양수분의 증가로 인해 댐 주변에서는 국지적인 증발로 인해 대기순환이 크게 작용하지만, 그 범위가 증가할수록 그 영향이 줄어들면서 외부에서 유입되는 수분에 의한 대기재순환이 점점 증가함을 의미한다.

표 4에 나타난 결과를 그림 3에 도시하였다. 그림 3은 대상규모의 변화에 따른 재순환계수의 변화를 도시한 것이다. 소양강댐의 경우 약 40km의 범위까지는 재순환계수가 급격히 감소하다가 그 이후로는 일정하게

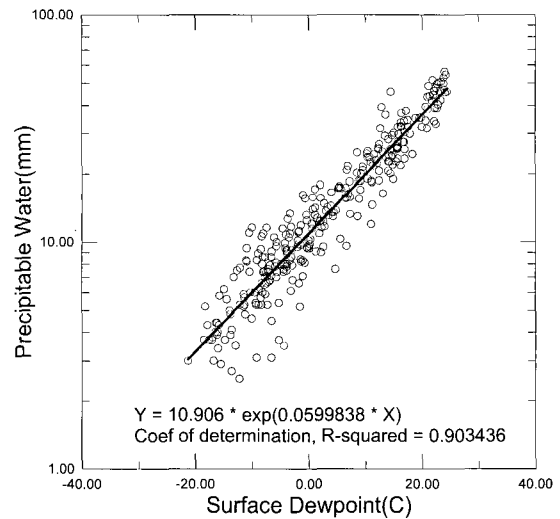


그림 2. 가강수량(오산)과 지표면 이슬점(오산) 관계

표 3. 댐별 분석에 이용된 관할 기상관측소

댐	기상관측소	댐	기상관측소
섬진강댐	전주(146)	안동댐	영주(272)
	광주(156)		문경(273)
	임실(244)		영덕(277)
	정읍(245)		의성(278)
	남원(247)		충주(127)
소양강댐	춘천(101)	충주댐	이천(203)
	인제(211)		제천(221)
	홍천(212)		영주(272)
			문경(273)

표 4. 댐 건설로 인한 격자별 수분순환의 변화

대상 범위 (km ²)	구분	섬진강댐			소양강댐			안동댐			충주댐		
		Ω	P_e/P	P_a/P	Ω	P_e/P	P_a/P	Ω	P_e/P	P_a/P	Ω	P_e/P	P_a/P
10×10		0.263	0.208	0.792	0.310	0.236	0.764	0.291	0.224	0.776	0.328	0.246	0.754
20×20		0.258	0.205	0.795	0.298	0.229	0.771	0.248	0.198	0.802	0.300	0.230	0.770
30×30		0.255	0.203	0.797	0.290	0.224	0.776	0.227	0.184	0.816	0.275	0.215	0.785
40×40		0.254	0.202	0.798	0.286	0.222	0.778	0.221	0.181	0.819	0.263	0.207	0.793
50×50		0.251	0.201	0.799	0.284	0.221	0.779	0.219	0.179	0.821	0.254	0.202	0.798
60×60		0.244	0.196	0.804	0.282	0.220	0.780	0.218	0.178	0.822	0.250	0.200	0.800
70×70		0.238	0.192	0.808	0.281	0.219	0.781	0.216	0.177	0.823	0.246	0.198	0.803
80×80		0.234	0.189	0.811	0.281	0.219	0.781	0.216	0.177	0.823	0.245	0.196	0.804
90×90		0.230	0.187	0.813	0.281	0.219	0.781	0.215	0.177	0.823	0.244	0.196	0.804
100×100		0.227	0.185	0.815	0.281	0.219	0.781	-	-	-	0.244	0.196	0.804

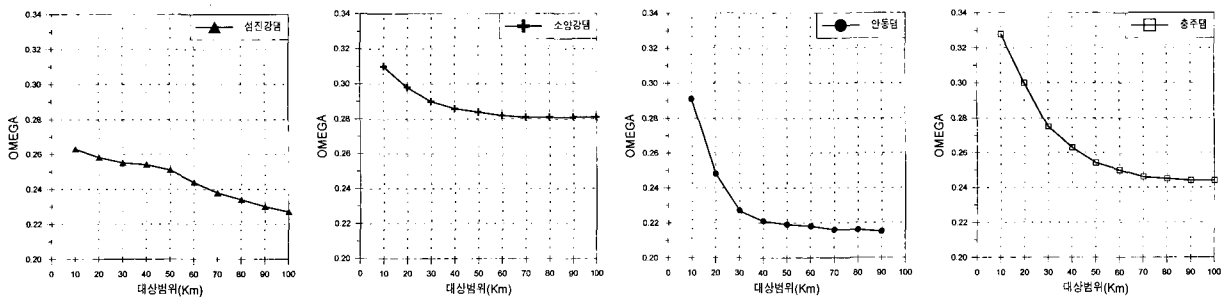


그림 3. 재순환계수의 변화

유지되고 있으며, 안동댐은 30-40km, 충주댐은 약 50km의 범위까지 감소하고 있다. 이러한 것은 댐 건설로 생성된 수표면의 증가 등과 같은 토지이용 상태의 변화로 인한 대기수분순환의 영향이 대충 위에 언급한 범위 정도까지 미칠 수 있음을 의미하는 결과이다.

재순환계수로부터 계산되어지는 P_e 와 P_a 를 이용해서 P_a/P 와 P_e/P 를 산정한 후 대상범위에 따른 P_a/P 의 변화를 도시하면 그림 3과 같은 경향을 보인다. 이는 재순환계수의 변화와 마찬가지로 일정 범위까지는 P_a/P 의 비는 급격하게 감소했으며, 그 이후에는 일정하게 유지되는 경향을 보여줌을 의미하는 것이다.

따라서, 이러한 범위는 실제 댐 건설로 인한 수문기상학적 영향이 미치는 한계 범위일 것으로 판단되며, 이는 댐 건설 후의 알베도의 변화와 비교하여 그 영향을 상관성을 파악해야 할 것임을 시사한다.

2.3.3 알베도와 상관관계 분석

댐 건설 후에 인공위성을 통해 분석된 격자별 알베도와 기상자료를 이용해서 계산된 격자별 재순환계수는 모두 대상범위가 증가할수록 급격하게 감소하다가 이후에는 일정하게 유지되는 경향을 동일하게 보여주고 있다.

이러한 결과는 댐 건설로 인한 알베도의 변화가 수분의 재순환에 어떠한 영향을 미치고 있음을 보여주는 결과로 판단되며, 이를 비교분석하기 위해 그림 4에 댐의 격자별로 산정된 알베도와 재순환계수를 도시하였다. 그림 4를 통해 알 수 있듯이 댐 건설 후 격자별 알베도와 재순환계수는 상관관계수가 0.88인 아주 높은 상관을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 댐 건설에 따른 토지이용의 변화가 궁극적으로 수분의 재순환에 큰 영향을 미치고 있음을 명확히 보여주는 결과라 할 수 있다.

이러한 영향범위를 댐 건설 후 생성되는 저수면적과 비교해 보았다. 저수면적과 비교를 시도한 것을 댐 건설 후 알베도의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것이 결국은 새로 생성되는 수표면이기 때문이다.

저수면적 26.5km²인 섬진강댐의 영향범위는 약 30km(반경 16.9km), 70km²인 소양강댐은 약 40km(반경 22.6km), 51.5km²인 안동댐은 약 35km(반경 19.7km), 97km²인 충주댐은 약 42km(반경 23.7km)인 것으로 분석되었으며, 이를 그림 5에 도시하였다. 그림 5를 이용한다면 신규 댐의 건설시에 댐 건설로 생성이 예상되는 저수면적을 이용해서 수문기상학적 영향의 범위를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

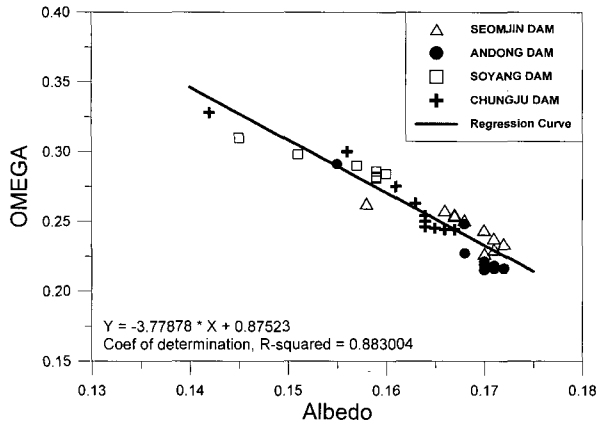


그림 4. 대상범위에 따른 알베도와 재순환계수의 변화 비교

3. 결 론

본 연구에서는 국내 댐의 건설로 인한 수문기상학적 인자의 시공간적 영향을 분석 및 일반화해서 댐 건설에 따른 수문기상학적 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 개발된 모형을 이용한 분석을 섬진강댐, 소양강댐, 안동댐, 충주댐 등의 4개 댐에 대해 실시하였다. 또한 Landsat 인공위성 영상분석을 통해 댐 건설 후 토지이용상태에 대한 조사 및 알베도의 변화를 추정하였다.

본 연구에서 수행한 이상과 같은 분석을 통하여, 최종적으로 댐 건설로 인한 주변지역의 수문기상 변화에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 댐 건설 후 알베도의 변화를 Landsat 영상분석을 통해 실시한 결과, 공통적인 경향으로 격자크기가 작을 수록(댐 주변일수록) 알베도가 작아지는 특성을 보였다. 이는 댐 주변일수록 댐 건설로 인한 수표면적 증가의 영향으로 알베도가 작다가, 격자가 커지면서 수표면이 차지하는 비율이 줄어들면서 어느 범위 이상에서는 일정한 값을 보여주기 때문이다.
- 2) 댐 건설 후 댐 주변의 재순환계수 Ω 는 큰 값을 보이다가 격자가 커질수록 작아지는 현상을 4개 댐에서 동시에 보여주었다. 이러한 결과는 댐 건설로 생성된 수표면의 증가 등과 같은 토지이용 상태의 변화로 인한 대기수분순환의 영향이 일정 범위까지 미칠 수 있음을 의미하는 결과이다.
- 3) 재순환계수로부터 계산되어지는 P_a 와 P_e 를 이용해서 P_a/P 와 P_e/P 를 산정한 후 대상범위에 따른 P_e/P 의 변화를 분석하였다. 재순환계수의 변화와

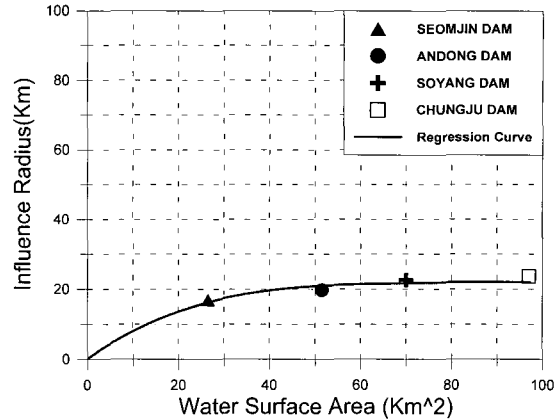


그림 5. 댐의 저수면적과 수문기상학적 영향 범위(반경)의 비교

마찬가지로 일정 범위까지는 P_e/P 의 비는 급격하게 감소했으며, 그 이후에는 일정하게 유지되는 경향을 보여주었다. 이러한 범위는 실제 댐 건설로 인한 수문기상학적 영향이 미치는 한계 범위일 것으로 판단된다.

- 4) 알베도와 재순환계수의 상관관계를 분석한 결과 댐 건설 후 격자별 알베도와 재순환계수는 상관계수가 0.88인 아주 높은 상관을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 댐 건설에 따른 토지이용의 변화가 궁극적으로 수분의 재순환에 큰 영향을 미치고 있음을 파악할 수 있었다.
- 5) 수문기상학적 영향범위를 댐 건설 후 생성되는 저수면적과 비교하였다. 이러한 비교 결과로부터 저수면적과 영향범위는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며, 신규 댐의 건설시에 댐 건설로 생성이 예상되는 저수면적을 이용해서 수문기상학적 영향의 범위를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 “수자원의 지속적 확보기술개발사업단”의 연구비 지원(과제번호 2-4-1)에 의해 수행되었습니다. 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 남재철, 신만용, 윤진일(1995). “메시기상자료에 의한 안동지역 인공호 주변 안개발생 판별.” **한국기상학회지**, 제31권, 제4호, pp. 393~398
- 노용호, 조선형(1990). “충주댐 설치 전후의 기상요소 비

- 교분석.” **과학교육연구소 논문집**, 제13권, pp. 35~72
- 소선섭, 양문석(1993). “충주댐 건설전후 충주지방의 안개변화 특성.” **한국교육연구**, 제25권, pp. 179~199
- 안재현, 유철상, 윤용남(2001). “물수지 방정식을 이용한 대청댐 건설에 따른 수문환경의 변화 분석.” **한국수자원학회 논문집**, 제34권, 제3호, pp. 217~229
- 오성남, 이태영(1978). “지표부근의 수분요소와 가강수량과의 관계.” **한국기상학회 논문집**, 제14권, 제1호, pp. 37~46
- 윤진일, 황규홍, 정현향, 신만용, 임준택, 신진철(1997). “주암 다목적댐 건설에 따른 국지기후 변화가 농작물 생산성에 미치는 영향.” **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제33권, 제3호, pp. 409-427.
- 이승호(1998). “충주호 주변의 안개 특성.” **대한지리학회지**, 제33권, 제2호, pp. 1~16
- 이종범(1981). “춘천지방의 인공호에 의한 안개 및 운량의 증가.” **한국기상학회 논문집**, 제17권, 제1호, pp. 18~26
- 이종범, 봉중현, 조하만(1990). “댐 건설에 따른 국지기후의 변화 실태.” **기상연구논문집**, 제7권, 제1호, pp. 75~81
- 조희구, 이승만(1982). “대기중의 물자원에 관한 연구.” **한국기상학회 논문집**, 제18권, 제2호, pp. 18~25
- 한국수자원공사(1997). 댐 건설 전후의 자연환경 변화에 관한 연구, 건설부
- 한영호(1971). “우리나라 남부지방의 가강수량에 관하여.” **한국기상학회 논문집**, 제7권, 제2호, pp. 65~69
- 홍성길(1982) “안동댐 건설이후 안동지방의 안개 증가.” **한국기상학회 논문집**, 제18권, 제2호, pp. 26~32
- Barek, J.(1983). “Hydrology and water resources in tropical regions.” *Developments in water science*, 18, Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, The Netherlands.
- Benton, G. S., Blackburn, R. T. and Snead, V. O.(1950). “The role of the atmosphere in the hydrologic cycle.” *Eos Trans., AGU*, 31(1), pp. 61-73
- Budyko, M. I.(1986). “The evolution of the biosphere”, *D. Reidel Publishing Co., Boston*
- Budyko, M. I. and Drozdov, O. A.(1953). “Characteristics of the moisture circulation in the atmosphere.” *Izv. Akad. Nauk. SSSR Ser. Geogr. Geofiz.*, 4, pp. 5-14.
- Entekhabi, D., Rodriguez-Iturbe, I., Bras, R, L.(1992). “Variability in large-scale water balance with and surface-atmosphere interaction.” *Journal of Climate*, Vol. 5, pp. 798-813.
- Lettau, H., Lettau, K. and Molion, L. C. B. (1979). “Amazonia’ hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects.” *Monthly Weather Review*, 107, pp. 227-237.
- Ponce, V. M., Lohani, A. K., Huston, P. T.(1997). “Surface albedo and water resources : Hydroclimatological impact of human activities.” *J. of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 2, No. 4, pp. 197-203.
- Salti, E., Dall’Olio, A., Matsui, E. and Gat, J. R.(1979). “Recycling of water in the Amazon basin: and isotopic study.” *Water Resources Research*, 15(5), pp. 1250-1258.
- Salti, E. and Vose, P. B.(1984). “Amazon basin: a system in equilibrium.” *Science*, 225(4,658), pp. 129-138.
- Stidd, C. K.(1975). “Irrigation increases rainfall?” *Science*, 188, pp. 279-280.

(논문번호:05-18/접수:2005.02.07/심사완료:2005.03.29)