

## <2009 SWAT-KOREA 컨퍼런스 특별호 논문>

### 화천댐 상류유역의 유출거동 특성

#### The Characteristics of Runoff for Hwacheon dam watershed

김 남 원\* / 이 정 은\*\*

Kim, Nam Won / Lee, Jeong Eun

#### Abstract

Lately, it is an important concern in water resources research to maintain a stable water supply according to a future climate change and an increase in water use. In Han-River basin, approximately 10 % of water resources that is provided the capital region (Gyeonggi, Seoul etc.) has been reduced as a consequence of the construction of Imnam Dam (storage volume: 27 billion m<sup>3</sup>) located in the upper Hwacheon Dam upstream area. Therefore, streamflows have decreased in Bukhangang basin, but it could not be evaluated quantitatively. In this study, SWAT-K which is the physically based long-term runoff simulation model, was used in order to evaluate the effect of Imnam Dam on the reduced inflow to Hwacheon Dam according to the change of hydrological condition in the upstream area of Hwacheon Dam. For the model input data of North Korea area, meteorological data of GTS (Global Telecommunication System) were used, and soil maps by FAO/UNESCO (2003) were applied. Temporal variations of water resources is investigated with comparison of observed and simulated inflows at Hwacheon Dam site. Also, annual, monthly, seasonal decreases in water resources were evaluated using the flow duration analysis of simulated streamflows with or without Imnam dam.

Keywords : SWAT-K, GTS, Hwacheon dam, Imnam dam

#### 요 지

최근 수자원 분야에서는 미래의 기후변화 및 용수이용 증대에 따른 안정적인 물공급이 중요한 관심사이다. 특히 한강수계의 경우, 수도권에 취수원인 팔당호 상류유역의 약 10 %에 해당하는 유역의 수자원량이 북한의 임남댐(저수용량 27억m<sup>3</sup>) 건설로 인하여 동해안으로 유역변경되고 있는 실정이다. 따라서, 북한강 수계의 하천유량이 감소되었으나, 그에 대한 정량적인 평가는 구체적으로 이루어지지 못하고 있다. 본 연구에서는 물리적 기반의 장기유출해석 모형인 SWAT-K를 활용하여, 화천댐 상류유역의 인위적인 수문학적 조건의 변화로 인하여 실제 화천댐 지점으로 유입되는 수자원 감소량을 규명하고자 하였다. 북한지역의 모형입력자료는 전세계 기상통신망(Global Telecommunication System)에서 수집된 수문기상자료와 FAO/UNESCO (2003)의 토양도를 활용하였다. 화천댐 지

\* 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 책임연구원  
Research Fellow, Water Resources Research Division, Water Resources & Environment Research Department, Korea Institute of Construction Technology, Goyang-Si 411-712, Korea

\*\* 교신저자, 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 연구원  
Corresponding Author, Researcher, Water Resources Research Division, Water Resources & Environment Research Department, Korea Institute of Construction Technology, Goyang-Si 411-712, Korea  
(e-mail: jeus22@kict.re.kr)

점 유입량의 관측값과 모의값을 비교분석하여 수자원의 변화시점을 검토하였으며, 임남댐 유무에 따른 두 계열의 모의유량에 대한 유향분석을 통하여 연별, 월별, 계절별 수자원 감소상황을 검토하였다.

**핵심용어** : SWAT-K, GTS, 화천댐, 임남댐

## 1. 서론

현재 한강유역의 경우, 북한강을 차단해 건설된 임남댐으로 인하여 화천댐 지점에서의 유입량이 감소된 상황이다. 특히 임남댐의 저수용량이 9억 m<sup>3</sup>에서 2단계 공사가 완공(2002년 10월)되어 27억 m<sup>3</sup>으로 늘어나게 되면서 본격적인 담수 및 수자원의 유역변경이 이루어지고 있다(한국수력원자력(주), 2003). 이는 이수적인 측면에서 한강유역에서의 수자원량 감소를 의미한다. 용수이용이 증가하는 한편, 물의 가치가 고양되면 될수록 물공급의 중요한 요소인 하천유량의 시간적, 공간적인 평가는 매우 중요하다. 더욱이 수자원 시설과 함께 가용수자원의 평가는 보다 합리적이고 정확하게 이루어져야 한다. 최근 기후변화에 따른 수자원 변화와 물안보 측면에서 인위적인 수량감소는 수자원의 효율적인 운영 및 관리에 있어 매우 중요하다. 특히 임남댐에 따른 한강유역의 수자원량 변화에 대한 평가가 이루어져 국가 수자원 계획 및 운영에 적극적으로 반영되어야 할 것이다. 그러나, 북한지역의 제한된 수문학적, 지형학적 정보로 인해서 수자원의 시간적, 공간적인 변화를 파악하기는 매우 어려운 실정이다. 더욱이 임남댐의 제원 및 운영정보가 전무한 상황에서 이를 추정하기는 매우 어렵다고 할 수 있다.

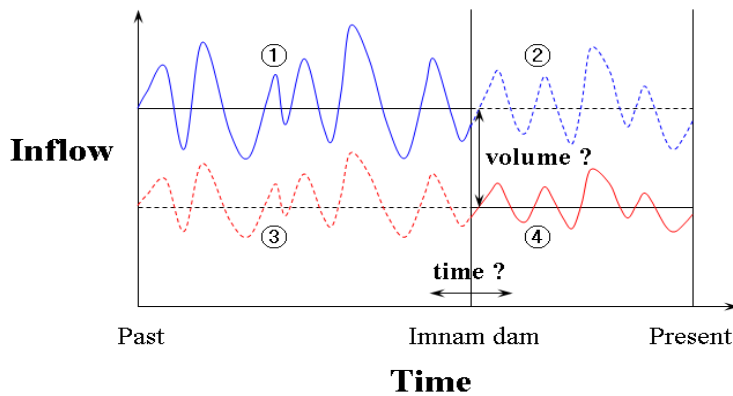
화천댐 상류유역의 댐건설에 대하여 선우중호(1986)는 국제적인 하천운영에 있어 하류의 수리권과 피해에 대한 문제를 제기하였으며, 금강산댐(이하 임남댐) 건설로 인하여 18.6억 m<sup>3</sup>의 수자원량이 차단될 것으로 예상하였다. 이광만 등(2008)은 임남댐 건설과 동해안으로의 도수로 17.5억 m<sup>3</sup> 정도의 화천댐 유입량 감소로 인하여 용수공급 및 발전량의 감소를 지적하였다. 북한의 수자원 차단으로 인한 용수공급 및 발전량 피해를 줄이기 위해 이수적인 측면에서 평화의댐과 화천댐의 연계효과에 대한 분석연구가 활발히 진행되었다(권오현 등, 1996; 유주환 등, 2001; 이재웅 등, 2004). 또한, 치수적인 측면에서 홍수조절 효과에 대해서도 연구가 이루어져 왔다(심명필과 권오익, 2002; 신흥준 등, 2004). 이러한 연구들은 주로 효율적인 댐운영을 통하여 이·치수적인 측면에서의 홍수저감 효과와 용수공급의 확보에 초점을 맞추었으나, 북한지역의 유출해석을 통한 수자원량의 정량적인 평가에 대한 연구는 거의 이루어지지

못하고 있다. 이는 북한지역의 유출해석에 필요한 정보가 매우 제한적이기 때문이다. 또한, 대부분의 연구들이 유역의 평균 연강수량, 유출율을 통하여 유역면적비로 수자원감소량을 추정해 온 것으로, 유역의 공간적인 특성(지형학적 조건, 토지이용상태, 토양조건 등), 시간적인 특성(월별, 계절별, 연별)을 분석하지 못한 한계를 지니고 있다.

따라서, 본 연구에서는 장기유출해석모형인 SWAT-K(과학기술부, 2007)를 적용하여, 임남댐 건설로 인하여 화천댐 지점으로 유입되는 일유량의 시공간적 변화 즉, 언제, 얼마만큼의 변화가 발생하였는지 정량적으로 평가하고자 하였다. 특히, 일유량 해석을 통하여 갈수유량 및 유향곡선에 대한 분석이 가능하다. 따라서, 유향분석 결과를 이용하여 유량의 변화량을 평가하였다. 대상유역으로는 화천댐 지점의 유입량을 중심으로 평가가 이루어지므로 북한지역을 포함한 화천댐 상류 전유역을 선정하였다. 그러나, 북한지역 댐의 수문학적 조건 및 운영에 대한 정보가 전무한 상황으로 과거 임남댐, 평화의댐 건설전 기간에 대하여 모형보정을 수행·검증한 후, 댐건설후 기간까지 확장하여 관측유량과 모의유량을 비교분석하는 방법을 채택하였다. 임남댐 건설·운영에 따른 화천댐 상류유역의 수자원량 변화에 대한 평가는 한강수계의 수자원 시스템 계획 및 운영시 요구되는 정보로서 의미가 있을 것이다. 향후 화천댐 상류유역에 구축된 유출모형에 기초하여, 북한지역의 임남댐 운영정보 및 유역변경 상황 등을 유추할 수 있으리라 판단된다.

## 2. 연구방법

화천댐 상류유역의 수자원량을 평가하기 위해 관측유량과 모의유량을 비교·분석하는 방법을 채택하였다. 이러한 방법은 모의유량의 정확도에 따라 결과에 대한 신뢰도를 부여할 수 있을 것이다. 먼저, 유역의 장기유출해석을 위해 최근 국내유역에 널리 적용되어 그 적용성이 검증된 SWAT-K를 이용하였다. 그러나, 대상유역인 화천댐 상류유역의 경우 유역의 상당부분이 북한지역으로 모형의 기초 입력자료인 수치주제도 및 기상자료에 대한 정보가 제한적이며, 그 정확도에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 이용가능한 북한지역의



(a) Time and Volume Analysis

(b) Spatial Analysis

Fig. 1. Concepts of Research Methods

정보를 최대한 수집하여 모형의 입력자료로 활용하였다. 수치주제도 중 토양도의 경우, FAO/ UNESCO (2003)의 토양도(5,000종류, 10 km 해상도)를 이용하였다. 기상자료의 경우, 전세계 기상통신망(GTS; Global Telecommunication System)을 통해 수집된 자료를 기상청(KMA; Korea Meteorological Administration)에서 제공받아 활용하였다. 북한지역 기상자료의 경우, 기온, 습도, 풍속자료에 대하여 일부 결측치가 존재하여 이를 보완하기 위해 WXGEN (Sharply and Williams, 1990)을 이용하여 자료를 보완하였다. 이러한 자료를 기반으로 유출해석을 수행하였으며, 화천댐 지점의 관측 및 모의 유입량을 비교분석하여 대상유역의 수자원량을 평가하였다. 본 연구에서 활용한 자료의 오차에 대해서는 연구범위에서 제외하였다.

Fig. 1(a)의 ①과 ②는 상류유역에서의 인위적인 저류시설물에 의한 수자원의 유역변경이 이루어지지 않을 경우 즉, 자연유역 상태에서의 유량을 나타내며, ③과 ④는 상류조건에 영향을 받은 비조절 유량을 나타내고 있다. 그리고, 임남댐 운영 시점전후로 실선(①과 ④)과 점선(②와 ③)은 각각 관측유량과 모의유량을 의미한다. 본 연구에서는 대규모 인위적인 저류시설물인 임남댐의 영향을 받는 시점과 변화된 수자원량의 분석을 위하여 관측값과 모의값의 비교를 임남댐 운영전후 시점 두 기간으로 나누어 수행하였다. 먼저, 임남댐 운영 이전 기간에 대하여 관측유량과 모의유량의 비교를 통하여 검증은 실시한 후, 임남댐 운영 전·후 기간에 대하여 비조절유량과 조절유량과의 비교를 통하여 수자원의 변화시점을 평가하였다. 이후, 평가된 유량의 변화시점을 기준으로 크게 상류유역에서의 인위적인 영향이 전혀 없는 기간, 미미한 기간, 크게 작용하여 현재에 이르는 세기간과 전기간으로 구분하여 유황분석을 통하여 수자원의 변화량을 평가하였다. 또한, 대유

역의 강우 및 기상, 토지이용 그리고 토양특성에 따른 공간적인 분석을 수행하고자 하였다. Fig. 1(b)에 도시한 바와 같이 유역 중간수계에 A지점과 같은 운영정보를 알 수 없는 인위적인 저류시설물이 위치할 경우, 유역의 최종출구점인 B지점에서의 유량변화에 미치는 상·하류에 해당하는 유역 각각의 비율을 검토하였다. 활용가능한 지형, 수문학적 정보를 이용하여 B지점에서의 유량검증을 통하여 A지점에서의 저수지 운영상황 또한 유추해 볼 수 있다.

### 3. 대상유역 및 모형구축 현황

#### 3.1 대상유역 및 수문기상자료 현황

한강유역의 북한강 수계 상류에 위치한 화천댐 상류유역의 면적은 약 4,092 km<sup>2</sup>이며, 북한강 수계에 임남댐을 비롯한 신명리댐, 전곡댐, 포천1·2댐과 도수터널을 단계적으로 건설하여 동해안 안변지역 발전소로 북한지역의 심각한 전력난을 해소하고 있다(한국수자원공사, 2002). 특히, 임남댐 건설운영 시점으로 유역의 수문상황이 크게 변화되었다. 대상유역에 영향을 미치는 수문기상관측은 국내 기상청 관할의 춘천, 인제, 철원 지점과 북한지역의 경우 원산, 장진, 평강 지점이 위치하고 있다(Fig. 2, Table 1). 수문기상자료는 모두 6개 관측지점의 자료를 이용하였으며, 북한지역(원산, 평강, 장진)의 자료(강수량, 기온, 습도, 풍속)는 전세계 기상통신망(GTS)을 통해 수집된 값이다. Fig. 3은 기상관측지점별 월평균 강수량(1981~2005년)을 비교한 것으로, 연평균 강수량은 장진 지점이 1,401 mm로 가장 높았으며, 철원 지점은 969 mm로 가장 낮을 보였다. 또한, 화천댐 상류유역은 2000년 이후 강수량은 다소 증가하는 경향을 보이나, 유출량, 유출율은 현저히 감소함을 확인할 수 있다. 또한, 화천댐 지점의

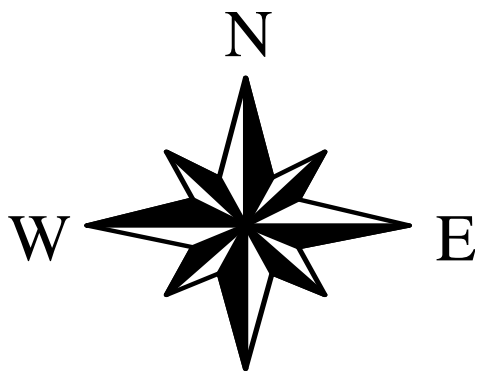


Fig. 2. Present Status of the Subject Basin

400

350

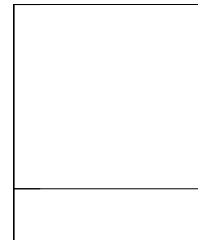


Fig. 3. Comparison of Monthly Rainfalls at Weather Stations

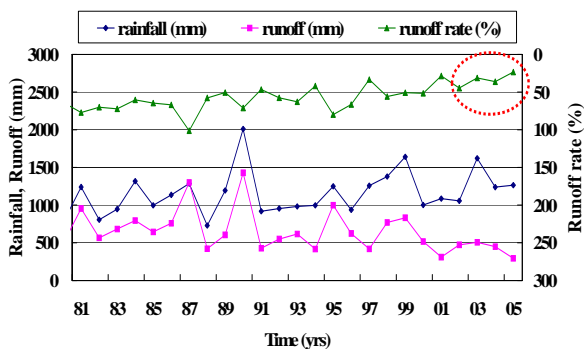
유입량이 감소함에 따라 방류량 역시 감소하고 있다 (Fig. 4).

### 3.2 모형구축 현황

대상유역의 최종출구점인 화천댐의 유입량을 분석하기 위해 장기유출해석 모형인 SWAT-K를 적용하였다. 모형의 입력자료로 30 m 격자크기의 DEM, 환경부의 중분류 토지피복도(북한지역은 대분류), 농업과학기술원의 정밀토양도(북한지역의 경우, FAO/UNESCO (2003)의 토양도 및 속성정보)를 이용하였다.

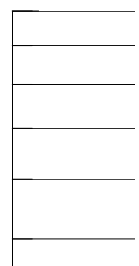
Table 1. Weather Stations

Station	Latitude (N)	Longitude (E)	E.L (m)	Observation start (year)	Institute
Chuncheon	37°54'	127°44'	76.8	1966	KMA
Inje	38°03'	128°10'	198.7	1971	
Cheolwon	38°08'	127°18'	154.9	1988	
Wonsan	39°11'	127°26'	36.0	1973	GTS
Jangjeon	38°44'	128°11'	35.0	1981	
Pyeonggang	38°24'	127°18'	371.0	1981	



(a) Rainfall, Runoff, Runoff rate

1,000



(b) Inflow, Outflow

Fig. 4. Observed Rainfall, Runoff at Hwacheon Dam Site

소유역 분할은 수자원단위지도 표준권역을 기준으로 23개의 소유역으로 구분하였다(Fig.2). 유출해석을 위해 지표면 유출모의는 SWAT-K에서 개선된 시간가중평균 CN 방법(Kim and Lee, 2008)을 적용하였다. 하도추적법은 연속방정식과 Manning의 식이 결합된 비선형 저류방정식(김남원 등, 2007b)을 이용하였으며, 증발산량 산정을 위해서는 Penman-Monteith 방법을 이용하였다. 북한지역의 임남댐을 제외한 기타 댐과 평화의댐의 영향은 연구범위에서 제외하였다.

#### 4. 모의결과 검증

화천댐 상류유역의 대규모 저류시설물 및 유역변경과 같은 인위적인 영향이 없는 기간은 임남댐 착공시점(1986년) 전까지로 판단하였다. 이는 Fig. 1(a)의 ①에 해당되는 기간의 유량으로 상류유역에서의 인위적인 교란이 없는 유출모의값이 관측값인 화천댐의 유입량과 비교·검증되어야 한다. 따라서, 수문자료 구축기간 중 1975~1985년의 기간에 대하여 화천댐 상류유역을 대상으로 매개변수 보정을 실시하여 유출모의 결과를 검증하였다. 매개변수 보정시, 우선 유출총량의 적합성을 높

이기 위해 토양증발보상계수(ESCO) 및 토양층 가용수분량(sol<sub>lawc</sub>)에 대한 보정을 실시하였다. 본 연구목적과 같이 수자원량의 평가를 위해 유출총량의 정확도는 매우 중요하다(Fig. 5). 또한, 유출수문곡선 감수부와 첨두부의 적합성을 높이기 위한 보정을 수행하였다. 화천댐 지점의 모의유입량에 대한 검증 결과, 결정계수( $R^2$ )와 Nash-Sutcliffe 값이 모두 0.61 정도로 분석되었다(Fig. 6(a)). 기존 국내의 구축검증된 자료(수문기상, 토지이용, 토양분포 및 특성 등)를 활용한 경우, 대규모 댐유역에 대하여 결정계수( $R^2$ ) 값이 충주댐 유역에서는 0.77~0.80이었으며(김남원 등, 2007a; 김철겸 등, 2007), 소양강댐 유역에서는 0.85(김영규 등, 2008)의 결과를 나타내고 있다. 이에 비해 다소 낮은 정확도를 보이고 있으나, 북한지역 자료의 불확실성을 감안할 때 정확도가 높은 결과로 판단된다. Fig. 6(b)는 화천댐 지점에서의 유입량 유허곡선의 관측-모의값을 비교·도시한 것이다. 이상의 결과로 모의기간을 확장하여 임남댐 건설이후의 화천댐 지점으로 유입되는 비조절유량 모의값의 정확도가 같다고 가정하여 수자원의 변화시점과 시공간적인 양의 변화를 분석하였다.

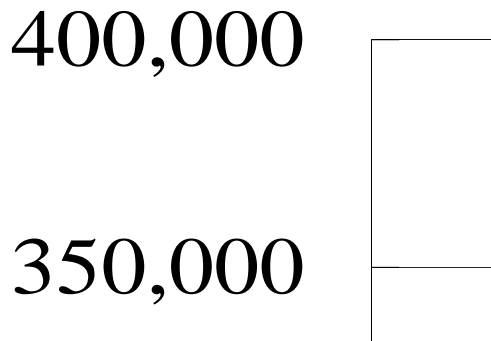


Fig. 5. Cumulative Inflow at Hwacheon Dam Site (1975~1985)

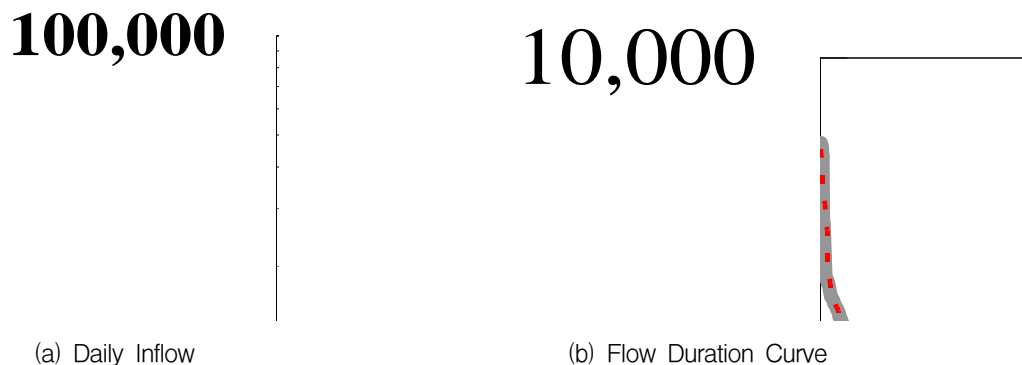


Fig. 6. Comparison of Observed and Simulated Inflow at Hwacheon Dam Site (1975~1985)

Fig. 7. Variation of Relative Error (1975~2008)

### 5. 수자원의 변화시점 및 감소량 평가

Fig. 7은 화천댐 지점에서의 관측유입량과 모의유입량의 상대오차를 도시한 것이다. 이러한 상대오차는 북한지역의 수문기상자료(강우, 온도, 습도, 풍속), 토양분포 및 특성 그리고 모형자체에 내포된 오차로 기인한 것이다. 여기서, 관측유입량은 상류 임남댐의 영향을 받아 조절된 유량이며, 모의유입량은 상류댐의 영향을 받지 않은 가정하에 모의된 비조절유량이다. 조절된 유량에서 비조절유량을 뺀 값이 음의 값을 보이는 것은 상류유역계의 변화(예: 임남댐 담수, 유역변경 등)로 인하여 화천댐으로 유입되어야 할 유량이 그만큼 감소한 것을 의미하고 있다. 특히, Fig. 7에서 ①은 임남댐 공사 착공 시점, ②는 임남댐 2단계 공사시점, ③은 임남댐의 본격적인 담수시점으로 모의값이 실제 유역계의 변화를 잘 묘사하고 있음을 보여주고 있다. 화천댐 유입량에 영향을 미치는 임남댐, 평화의댐 건설 정보 및 오차분석 결과를 기준으로 3기간(기간 I: 1975~1985, 기간 II: 1986~2000, 기간 III: 2001~2008)으로 구분하였다. 화천댐 지점으로 유입되는 유량에 대하여 기간 I은 상류 유역에서의 인위적인 영향이 전혀 없는 기간, 기간 II는 임남댐과 평화의댐 건설기간으로 상류유역에서의 인위적인 미미한 영향이 불규칙적으로 발생한 기간, 기간 III는 임남댐 및 평화의댐 건설이 완료되어 인위적인 영향이 크게 발생되어 현재에 이르는 기간을 의미한다.

Fig. 8은 임남댐의 본격적인 담수시점인 2001년 이후 기간의 화천댐 지점으로 유입되는 조절유량과 비조절유량을 나타내고 있다. 임남댐의 영향으로 인하여 자연유역 상태의 비조절유량에 비하여 유입량이 감소하였음을 확인할 수 있다. 비조절유량이 조절유량보다 크게 모의된 경우, 그 이유를 확인할 수 있는 시점은 ①의 2002년 임남댐 방류로 인한 겨울홍수가 발생한 사례와 ②의 북측 임남댐 방류계획 통보가 이루어진 사례이다.

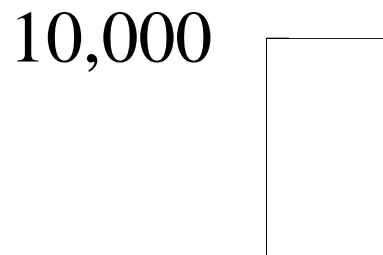


Fig. 8. Monthly Observed-Simulated Inflows (2001~2008)

자료구축 전기간(1975~2008년)에 대하여 임남댐의 건설·운영 유무에 따른 두 계열의 모의유량자료에 대하여 유황분석을 실시하였다. 대규모 댐의 하류부는 홍수기에는 홍수저감, 이수기에는 유황개선 효과를 나타내는 것이 일반적이다(Poff *et al.*, 1997; 김남원 등, 2007c; 김남원과 이정은, 2009). 그러나, 임남댐의 건설의 주된 목적은 수자원의 유역변경을 위한 것으로 하류 지점인 화천댐에서는 임남댐 상류유역만큼 유역이 감소된 상황으로 홍수기와 이수기 모두 유황이 감소하였다. 이러한 임남댐 건설·운영 유무에 따른 분석된 두 유황곡선의 체적차이는 바로 화천댐 지점에서의 감소된 수자원량을 의미한다. 임남댐의 차단효과로 인한 화천댐 지점의 수자원감소량은 기간 I, II, III에 대하여 각각 17.1, 19.7, 17.4 억m<sup>3</sup>이었으며, 34년동안의 분석기간에 대하여 연평균 18.3 억m<sup>3</sup>로 분석되었다(Fig. 9). 이는 임남댐의 영향으로 자연상태의 상류유역에서 유출되어야 할 수자원량의 61.2%가 차단된 것을 의미한다. 화천댐 상류유역에 대한 임남댐 상류유역 유역면적비인 58.4%보다 다소 높은 값이다. 화천댐 상류 전체유역의 기간 I, II, III과 분석 전기간에 대하여 연평균 강수량, 증발산량 및 임남댐 건설·운영 유무에 따른 유출량 및 유출율은 Table 2와 같다.

10,000

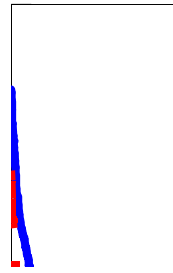


Fig. 9. Comparison of Flow Duration Curves with or without Imnam Dam (1975~2008)

Table 3은 두 계열의 유황곡선상에서 풍수량( $Q_{95}$ ), 평수량( $Q_{185}$ ), 저수량( $Q_{275}$ ), 갈수량( $Q_{355}$ )을 분석한 것으로 전기간에 대한 유황감소량은 각각 68.5, 73.7, 78.1, 81.0 %만큼 감소된 것으로 분석되었으며, 임남댐의 차단효과는 갈수기로 갈수록 더 큰 것으로 나타났다. 이는 용수이용의 측면에서 임남댐이 더 부정적인 영향을 미치는 것을 의미한다.

마지막으로 임남댐의 영향으로 인한 화천댐 지점에서의 유입되는 수자원량 감소상황을 월별, 계절별로 분석하였다. 월별 수자원 감소량은 유출량이 많은 홍수기인 7, 8월이 가장 크고, 갈수기인 12, 1, 2월이 작게 분

Table 2. Result of water budget with or without Imnam dam

Period	Precipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Runoff (mm)		Runoff ratio (%)	
			w/o Imnam	w/ Imnam	w/o Imnam	w/ Imnam
I~III (1975~2008)	1197.7	371.5	810.1	314.0	67.6	26.2
I (1975~1985)	1174.9	389.2	765.9	301.7	65.2	25.7
II (1986~2000)	1168.2	353.5	802.7	303.4	68.7	26.0
III (2001~2008)	1284.5	381.0	884.6	350.9	68.9	27.3

Table 3. Analysis of Flow Duration Curve with or without Imnam dam

Period	Exceedance Probability (%)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)		Decreased discharge rate (%)
		w/o Imnam dam	w/ Imnam dam	
I~III (1975~2008)	26.0 ( $Q_{95}$ )	60.6	19.1	68.5
	50.7 ( $Q_{185}$ )	29.7	7.8	73.7
	75.3 ( $Q_{275}$ )	16.0	3.5	78.1
	97.3 ( $Q_{355}$ )	6.3	1.2	81.0
I (1975~1985)	26.0 ( $Q_{95}$ )	52.5	18.3	65.1
	50.7 ( $Q_{185}$ )	26.1	7.9	69.7
	75.3 ( $Q_{275}$ )	14.7	3.7	74.8
	97.3 ( $Q_{355}$ )	5.5	1.3	76.4
II (1986~2000)	26.0 ( $Q_{95}$ )	66.9	19.3	71.2
	50.7 ( $Q_{185}$ )	31.5	7.5	76.2
	75.3 ( $Q_{275}$ )	17.0	3.4	80.0
	97.3 ( $Q_{355}$ )	6.9	1.1	84.1
III (2001~2008)	26.0 ( $Q_{95}$ )	62.5	20.3	67.5
	50.7 ( $Q_{185}$ )	31.4	8.1	74.2
	75.3 ( $Q_{275}$ )	16.1	3.2	80.1
	97.3 ( $Q_{355}$ )	6.8	1.0	85.3

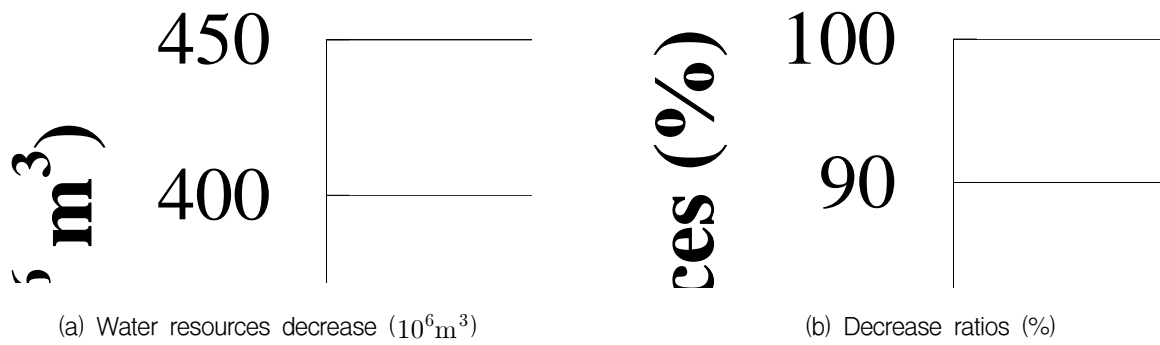


Fig. 10. Monthly Water Resources

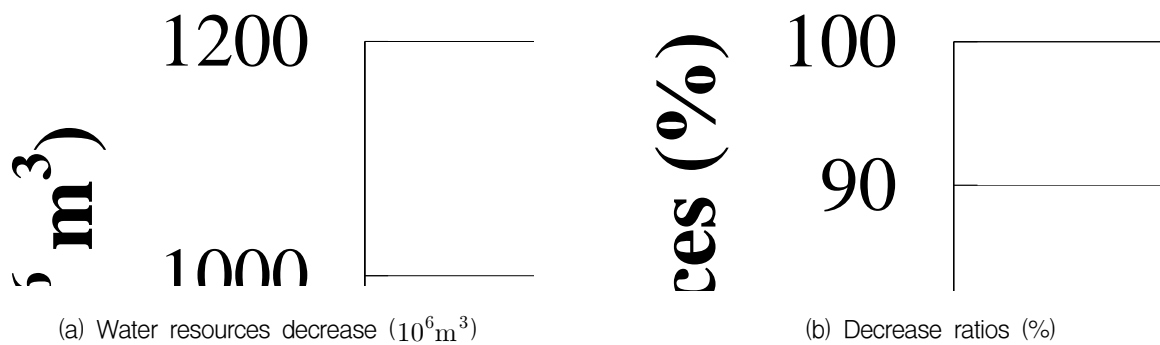


Fig. 11. Seasonal Water Resources

석되었다. 감소비율을 고려해보면, 양적인 측면과는 반대임을 알 수 있다(Fig. 10). 계절별 수자원 감소량 역시 유출량이 많은 여름철이 가장 크게 나타나며, 감소율은 겨울철이 가장 크게 나타났다(Fig. 11). 이는 임남댐으로 인하여 화천댐 지점에서 전력수요가 많은 여름철 발전량 감소와 겨울, 봄철의 용수공급의 문제를 일으킬 수 있다는 것을 시사한다.

## 6. 요약 및 결론

현재 한강유역의 북한강 수계 상류에는 북한지역에 건설·운영되어지고 있는 임남댐으로 인하여 화천댐 지점에서의 유입량이 감소되고 있는 상황이다. 이는 실질적으로 화천댐 지점에서의 방류량 감소를 가져왔으며, 하류부에 위치한 수도권 용수공급에 영향을 미치게 된다. 한강수계에는 충주, 소양강 두 다목적댐의 역할 및 댐군 연계운영으로 인하여 수도권 용수공급에 필요한 시스템을 갖추고 있으나, 이러한 관리시스템을 효율적으로 운영하기 위해서는 가용수자원에 대한 평가는 보다 합리적이고 정확하게 이루어져야 한다. 따라서, 본 연구에서는 SWAT-K를 활용하여 인위적인 요소로 수문상황이 급격히 변화된 화천댐 상류유역의 수자원량에

대한 평가를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면, 다음과 같다.

- (1) 미계측유역이라 고려되고 있는 북한지역에 대하여 활용가능한 수문기상자료(GTS 활용) 및 토양자료(FAO/UNESCO (2003))를 적용하여 유출해석을 시도하였다. 화천댐 상류유역의 인위적인 교란이 없다고 판단한 기간(1975~1985년)에 대하여 SWAT-K를 이용하여 화천댐 지점에서의 유입량을 모의 검증하였다.
- (2) 댐 건설정보 및 오차분석 결과를 기준으로 화천댐 유입량에 인위적인 영향을 미치는 기간을 기간 I (1975~1985), 기간 II (1986~2000), 기간 III (2001~2008)로 구분할 수 있었으며, 임남댐의 유무에 따른 화천댐 지점으로 유입되는 두 계열의 유입량에 대한 유향분석을 통하여 수자원 감소량이 기간 I, II, III 및 전기간의 경우 각각 연간 17.1, 19.7, 17.4, 18.3  $10^6 m^3$ 에 이르는 것으로 파악되었다.
- (3) 임남댐 유무에 따른 두 계열의 유향곡선상에서 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 대하여 각각 68.5, 73.7, 78.1, 81.0 %만큼 감소된 것으로 분석



되었으며, 임남댐의 차단효과는 갈수기로 갈수록 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 유휴분석결과는 용수이용의 측면에서 임남댐의 부정적인 영향을 확실하게 설명하고 있다.

- (4) 임남댐 유무에 따른 월별, 계절별 수자원 감소량 및 감소율에 대한 분석결과, 수자원 감소량은 유출량이 많은 여름철이 가장 크게 나타나며, 감소율은 겨울철이 가장 크게 나타났다. 화천댐 지점에서의 이수기 용수공급과 여름철 발전량의 감소와 같은 임남댐의 부정적인 영향을 판단할 수 있었다.

본 연구는 북한지역의 수문학적, 지형학적 정보가 제한된 상황에서 모의된 결과임을 밝히며, 보다 정밀한 분석을 위해서는 신뢰성 있는 자료를 축적해나가며, 계속적인 연구가 추진되어야 할 것이다. 현재 분석은 한강유역의 수자원 계획 및 운영시 적절한 정보를 제공할 수 있다는 점에서 큰 의미를 가질 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단(과제번호 2-2-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

과학기술부 (2007). 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 한국건설기술연구원.

권오현, 박창근, 유주환 (1996). “화천댐 및 평화의 댐 시스템 이수효과 분석.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, pp. 421-430.

김남원, 이병주, 이정은 (2007a). “공간모의유량을 이용한 갈수량 거동 특성에 관한 연구.” **대한토목학회 논문집**, Vol. 27, No. 4B, pp. 431-440.

김남원, 이정우, 이병주, 이정은 (2007b). “비선형 저류 방정식을 이용한 일 단위 하도추적법.” **대한토목학회 논문집**, Vol. 27, No. 5B, pp. 533-542.

김남원, 이정은 (2009). “한강유역의 다목적댐 운영에 따른 빈도홍수량의 평가.” **한국수자원학회 논문집**, Vol. 42, No. 2, pp. 161-169.

김남원, 이정은, 이병주 (2007c). “한강유역의 다목적댐 운영에 따른 유휴변동 특성 분석 및 평가.” **대한토목학회 논문집**, Vol. 27, No. 1B, pp. 53-63.

김영규, 최계운, 함명수, 김남원 (2008). “한강 팔당하류의 갈수시 댐 용수공급 가능유하량 분석.” **한국수자**

**원학회 논문집**, Vol. 41, No. 11, pp. 1143-1152.

김철겸, 이정은, 김남원 (2007). “충주댐 상류유역의 유사 발생에 대한 시공간적인 특성.” **한국수자원학회 논문집**, Vol. 40, No. 11, pp. 887-898.

선우중호 (1986). “금강산댐 건설 영향에 대한 기술적 검토.” **한국수문학회지**, Vol. 19, No. 4, pp. 294-302.

신홍준, 김태순, 허준행, 윤택기 (2004). “화천댐의 비상방류수문과 임남댐을 고려한 홍수기 화천댐 운영모형 개발.” **대한토목학회 논문집**, Vol. 24, No. 5B, pp. 443-452.

심명필, 권오익 (2002). “화천댐 및 평화의 댐 연계운영에 의한 홍수조절 효과 분석.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, pp. 431-437.

유주환, 박창근, 조효섭 (2001). “평화의 댐 홍수지체 효과에 따른 화천댐 계통 이수 능력의 증대에 대한 검토.” **한국수자원학회 논문집**, Vol. 34, No. 6, pp. 617-625.

이광만, 강부식, 홍일표 (2008). “남북한 공유하천의 갈등해소와 공동이용을 위한 협력체계.” **대한토목학회 논문집**, Vol. 28, No. 5B, pp. 505-514.

이재용, 임동선, 이종태 (2004). “이수측면에서의 평화의 댐 활용방안 연구.” **한국수자원학회 논문집**, Vol. 37, No. 8, pp. 653-662.

한국수력원자력(주) (2003). 화천댐 비상방류수문을 활용한 저수지 운영모델 연구개발(최종보고서).

한국수자원공사 (2002). 평화의댐 2단계 실시계획보고서.

FAO/UNESCO (2003). Digital soil map of the world and derived soil properties. Rev. 1. (CD Rom).

Kim, N. W. and J. Lee (2008). “Temporally weighted average curve number method for daily runoff simulation.” *Hydrological Processes*, Vol. 22, pp. 4936-4948.

Poff, N. L., J. D. Allan, B. B. Mark, J. R. Karr, K. L. Prestegard, B. D. Richter, R. E. Sparks, and J. C. Stromberg (1997). “The Natural Flow Regime.” *BioScience*, Vol. 47, No. 11, pp. 769-784.

Sharpley, A. N. and J. R. Williams, eds. (1990). EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, 1. model documentation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech. Bull. pp. 1768.

논문번호: 09-084	접수: 2009.07.20
수정일자: 2009.10.12	심사완료: 2009.10.12