



[2016-6-HP-003]

# 소양강수력 연간발전량 재산정 조사 연구

임선택<sup>1)</sup> · 김경남<sup>2)\*</sup>

## The Re-calculation Study on Annual-Generation of the Soyang Hydropower-Plant

Suntaik Lim<sup>1)</sup> · Kyung Nam Kim<sup>2)\*</sup>

Received 7 March 2016 Revised 11 April 2016 Accepted 11 April 2016

**ABSTRACT** Greenhouse gas emissions driven by increases in global energy consumption have caused changes in the climate, such as severe drought or localized torrential downpours. The operations of hydropower dams are also expected to change. The amount of rainfall variations has the most influence on the Hydraulic power, which has increased from 787 mm to 2,204 mm. Since 1990, the drought periodicity has shortened from the 5~10-year-cycle droughts to 2~3-year-cycle droughts. Hydroelectric power, as clean electricity generation to counter climate change and environmental pollution has become a greater priority. On the other hand, there is difference between the assessed annual output of a dam establishment and the actual output of a real condition, because of climate change. For a short- and long-term demand supply program, modification of annual energy production will be necessary. In this paper, the inflows into dam were classified into five categories (37, 20, 15, 10, or 5 years) and the annual energy production was determined using simulation models of reservoirs. (HEC-ResSim). The pattern of power supply was analyzed and compared by reflecting a growing trend of the average rainfall from climate change. A figure of 483 GWh based on inflows into the dam over the past 10 years was appropriate for the annual energy production of the Soyang River hydroelectric plant.

**Key words** Hydropower plant(수력발전소), Annual-Generation(연간발전량), Re-calculation(재산정)

### 1. 서론

최근 기후변화로 인해 댐 방류량의 연도별 변동폭이 확대되고 있다. 우리나라는 기본적 물관리 여건이 불리한 상황에서 최근 강수량의 편차가 더욱 커지고 있다. 과거 5~10년 주기의 가뭄이 '90년 이후 2~3년 주기로 자주 발생하고 있으며 연 강수량의 편차(최소 787mm, 최대 2,204mm)도 증대되고 있는 실정이다. 또한 발전소 설계시의 유입량과 실제 운영 유입량의 차이로 인해 실적 발전량과 연간발전량의 차이가 발생하고 있다. 소양강 수력의 2010년 기준

예년 평균 발전량은 409백만kWh이나, 연간발전량은 353백만kWh로 약 56백만kWh의 차이가 발생하고 있다. 수력발전소의 연간발전량은 현재 운영중인 수력발전소의 발전가능량을 판단하는 근거이며, 이는 장단기 전력수급계획에 지대한 영향을 미치므로 기후변화를 고려한 연간발전량을 재산정하여 수급계획의 신뢰도를 높이는 것이 필요하다.

### 2. 수력발전소 연간발전량 재산정

#### 2.1 발전량과 저수지 운영 기법

다목적댐은 용수공급, 발전, 홍수조절의 목적으로 방류

1) Green School, Korea University, Korea Water Resources Corporation

2) Green School, Korea University E-mail: i005034@korea.ac.kr  
Tel: +82-2-3290-5917 Fax: +82-2-928-1424

량을 결정하는데 각 목적의 방류는 여러 입력 자료와 조건을 필요로 한다. 복잡한 입력 자료와 조건 아래서 다목적댐의 방류량을 결정하기 위하여 컴퓨터 프로그램을 사용한다. 저수지 운영 기법은 보통 모의 기법과 최적화 기법으로 분류된다.

모의 기법은 저수지군의 복잡한 구조와 구성 요소를 다룰 수 있고 저수지군의 시간에 따라 변화하는 특성을 실제에 가깝게 나타낼 수 있다. 모의 기법의 저수지 운영에서는 주어진 운영 규칙과 유입량 계열로 방류량을 구하고, 이에 따라 발전량이 산정된다.

최적화 기법은 저수지 체계를 최적화의 수학적 틀에 맞추어 표현하기 위하여 모의 기법 보다 훨씬 많은 가정과 간략화를 도입한다. 최적화 기법에서는 주어진 제약조건 아래서 용수공급량과 발전 등의 편익을 최대화 하도록 방류량을 구하고, 이에 따라 발전량이 산정된다.

다양한 구조의 저수지/하천 시스템에 적용될 수 있는 저수지 모의 운영 모형을 ‘일반화된 저수지 시스템의 모의 모형’이라고 칭한다. 선진국에서 사용되고 있는 일반화된 저수지 시스템의 모의 모형은 여러 가지가 있으며 대표적인 것으로서 HEC-ResSim, WRAP, IRAS를 들 수 있다.

HEC-ResSim 모형은 HEC-5의 후속 모형으로서 현실의 물리적인 시스템을 실제에 가깝도록 나타내고자 하는 목적 아래 사용자 편의환경을 갖추어 개발되었다.<sup>[12]</sup>

저수지는 하류의 유량제한, 홍수조절 및 저수지 안전을 위한 방류, 발전요구, 다른 저수지로의 양수 등 운영 규칙에 따라 운영된다.

The Water Rights Analysis Package(WRAP) 모형은 하천/저수지 시스템의 운영을 모형화하고 분석하기 위하여 Texas A&M 대학에서 개발하였다. WRAP는 우선권에 기초한 물 할당 기법을 사용하여 하천의 물 조절과 물관리를 모형화한다. 하천의 유량과 저수지의 공간은 특정한 우선권에 따라 물 사용자들에게 할당된다.

물 관리/사용에서 포함하는 요소는 물의 저류, 물 공급을 위한 분기, 회귀수, 하천 유지 용수의 요구량, 수력발전, 홍수조절이다.

WRAP는 텍사스 환경국(Texas Commission on Environmental Quality)의 Water Availability Modeling(WAM) System에 탑재되어 사용되고 있다. 텍사스 주의 23개 하

천 유역을 포함하는(Fig. 1) 21개의 WRAP 입력 자료군이 WAM 시스템에 포함되어 있다.<sup>[2-8]</sup>

The Interactive River-aquifer System(IRAS) 모형은 1989년에 UNEP 프로그램의 지원으로 개발된 The Interactive River System Simulation(IRIS) 모형을 확장시킨 것이다. IRIS의 개발 목적은 물 관리자가 물이용의 갈등을 겪는 사용자들과 협상하기 위한 것이었다.

IRIS 모형은 입력된 하천 유출량 계열을 가지고 물 공급과 수송 시스템의 거동을 모의한다. 모형의 출력으로서 저수지/하천 체계의 노드와 링크에서 유량, 댐 저수량, 발전량, 수질 인자의 시계열이 제공된다.

IRAS 모형은 지표수뿐만 아니라 지하수 체계도 모의하도록 확장 개발되었고, 영국의 템즈강 유역에 적용되었다.<sup>[10,11]</sup>



Fig. 1. 텍사스 WAM 시스템의 하천 유역들<sup>[2]</sup>



Fig. 2. 템즈강 유역과 IRAS-2010 모형의 하천/저수지의 모식도<sup>[10]</sup>

### 2.2 연간발전량 재산정 흐름도

수력발전소 연간발전량을 재산정하기 위한 흐름도는 Fig. 3과 같다. 댐운영환경 분석, 발전설비제원 조사, 발전사용수량 분석을 하고 저수지 모의 모형을 사용한다.

발전소 준공이후 댐유입량, 강수량 등을 분석하여 댐의 수위변화 및 운영조건을 분석하고, 수력발전의 원리, 발전설비의 제원 및 설비 노후도를 조사하여 발전설비의 효율 및 출력 변화를 분석한다. 발전사용수량의 변동현황을 조사하여 계절별, 연도별 특성을 분석한 후 HEC-ResSim 모형을 이용하여 연간발전량을 산정한다.

### 2.3 발전량 산정을 위한 주요 입력 변수

물은 중력의 영향으로 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다. 그 흐름을 수로로 끌어 들어 수차발전기를 회전시켜 전기 에너지를 발생시키는 것이 수력발전 원리이다. 발전량(P, kW)은 수로의 총낙차(H<sub>g</sub>, m)와 흐르는 물의 양(Q, m<sup>3</sup>/s)의 식 (1-1)과 같다.

$$P = 9.8 \times Q \times H_g \quad (1-1)$$

수력발전소에서는 수압관로로 수차에 물을 끌어들이기

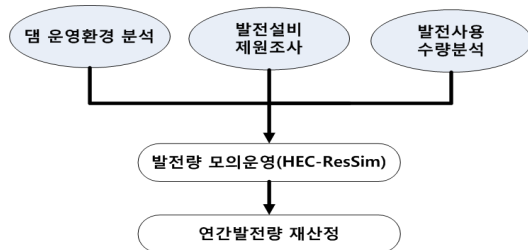


Fig. 3. 연간발전량 재산정 흐름도

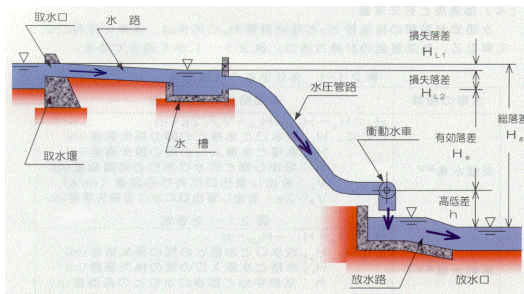


Fig. 4. 총 낙차와 유효낙차와의 관계<sup>[21]</sup>

때문에 낙차를 그대로 이용할 수는 없다. 따라서 이 손실이 발생하는 것을 고려하여 유효낙차(H<sub>e</sub>, m)는 Fig. 4의 관계를 참고하여 식 (1-2)로 나타낸다. 이론수력(P<sub>e</sub>, kW)은 유효낙차와 유량으로 산출하며 식 (1-3)과 같다.

$$H_e = H_g - H_{L1} - H_{L2} - h \quad (1-2)$$

$$P_e = 9.8 \times Q \times H_e \quad (1-3)$$

식 (1-3)에 수차의 효율 η<sub>t</sub> 및 발전기의 효율 η<sub>g</sub>를 각각

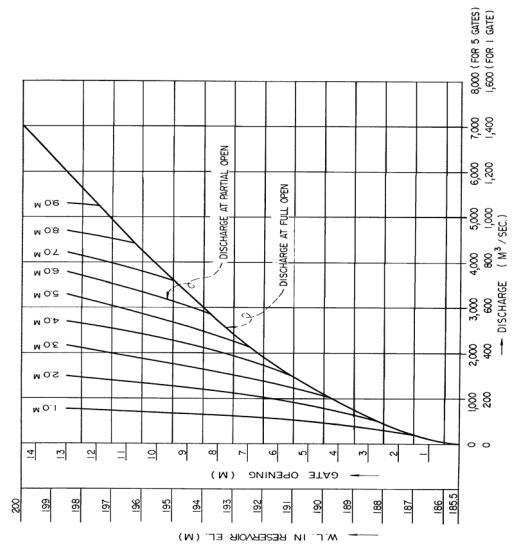


Fig. 5. 소양강댐 여수로의 개도별 방류곡선<sup>[19]</sup>

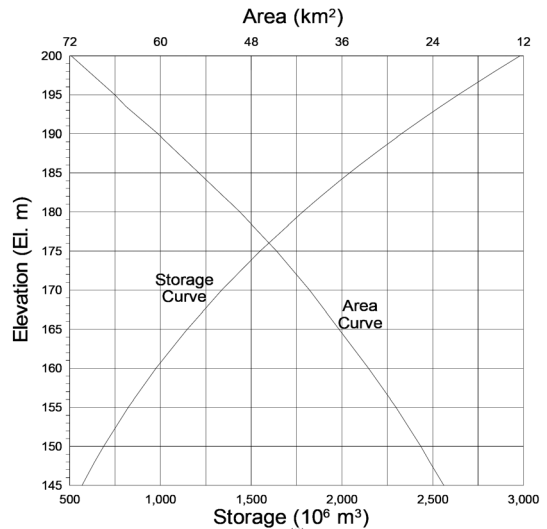


Fig. 6. 소양강댐의 저수위별 저수용량 및 수표면적<sup>[19]</sup>

A zoning of Soyanggang Dam for HEC-5

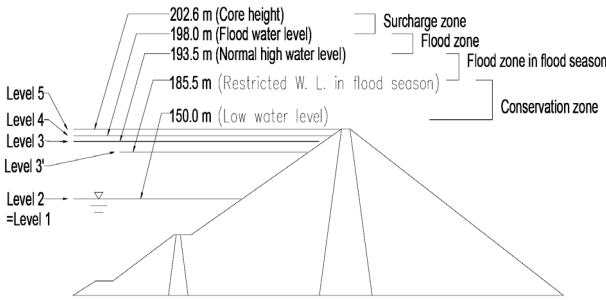


Fig. 7. 소양강댐 수위 및 영역 구분<sup>[19]</sup>

급한 것이 발전력(W, kW)이며, 식 (1-4)이다.

$$W = P_e \times \eta_t \times \eta_g \quad (1-4)$$

식 (1-4)이 수자원이 보유하는 전력원이라 한다.<sup>[21]</sup>

저수지 모의 운영을 통한 발전량 산정에 필요한 입력 자료는 댐의 일별 유입량 자료, 댐 여수로의 개도별 방류곡선(Fig. 5), 댐의 저수위별 저수용량 및 수표면적(Fig. 6), 저수위, 상시만수위 등의 댐의 저류공간 구분 자료(Fig. 7)이다.<sup>[19]</sup> 댐의 저수위 및 수표면적은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 저수위와 비례관계가 있다.

### 3. 연간발전량 재산정을 위한 필요데이터

#### 3.1 연간발전량 현황

소양강다목적댐은 발전 및 용수공급 목적으로 건설되었다. 댐계획 및 건설시('67~'73년) 강수량, 유입량, 방류량 등의 자료를 현재 댐운영 실적자료와 비교해 보면 많은 차이가 발생됨을 알 수 있다. 강수량은 댐 설계시 1,093.7mm로 계획하였으나, 준공이후 실적은 1,224.7mm이고, 댐 유입량은 설계시 666.9m<sup>3</sup>/s로 계획하였으나, 준공이후 운영 실적은 838.5m<sup>3</sup>/s이다. 이러한 댐 운영환경은 수력발전소의 운영실적에도 많은 영향을 주게 된다. 수력발전소의 연간발전량은 댐건설 계획시 발전사용수량에 의해서 결정되므로, 준공이후 발전소의 운영환경 변화는 연간발전량의 변화를 수반하게 된다. 연간발전량은 353백만kWh이나 준

Table 1. 소양강 수력발전소 연간발전량 및 실적 발전량<sup>[15]</sup>  
(단위 : 백만kWh)

구분	5년평균	10년평균	15년평균	20년평균	37년평균
연간발전량	353	353	353	353	353
실적발전량	502	508	502	485	457
대비(%)	142.2	143.9	142.2	137.4	129.4
기간(년)	'06~'10	'01~'10	'96~'10	'91~'10	'74~'10

공이후 37년간('74~'10년) 실적발전량은 Table 1에서 보는 바와 같이 457백만kWh로 연간발전량 대비 129% 수준이고, 최근 10년간('01~'10년) 502백만kWh로 연간발전량 대비 약 142% 수준이다.<sup>[16-18]</sup>

### 3.2 댐 운영환경 데이터

#### 3.2.1 강수량 실적 데이터

소양강댐 설계시의 강수량은 1093.7mm이나, 약 37년간('74~'10년)의 연평균 강수량은 최소 775.1mm~최대 2,017.7mm으로 변동성이 매우 크며 준공이후 실적(1,224.7mm)은 설계대비 약 112% 수준으로 분석되었다. 최근 10년('01~'10년) 동안 강수량은 1,335mm로 준공 초기('81~'90년) 10년간 평균 1,096mm에 비해 약 18%(239mm)

Table 2. 소양강댐 강수량 분석<sup>[14,16]</sup>

(단위 : mm, %)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
설계시(A)	20.4	21.1	32.7	68.7	86.7	110.4	313.5
실적(B)	17.9	23.7	39.8	72.2	94.1	127.1	307.6
대비(B/A)	87.5	112.1	121.7	105.1	108.6	115.1	98.1
구분	8월	9월	10월	11월	12월	-	평균
설계시(A)	233.6	107.6	36.9	38.7	23.4	-	1,093.7
실적(B)	291.2	147.1	43.8	39.8	20.4	-	1,224.7
대비(B/A)	124.6	136.7	118.8	102.9	87.1	-	112.0

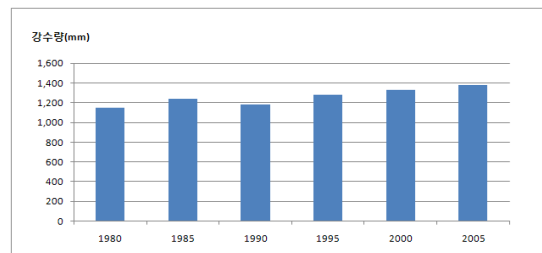


Fig. 8. 소양강댐 5년평균 강수량 현황



증가하였다. 2010년까지 5년간의 평균 강수량은 지속적으로 증가하는 추세를 보였으며, 1990년대 중반이후 1,300mm 이상을 나타내고 있다.<sup>[14,16-18]</sup>

### 3.2.2 유입량 실적 데이터

소양강댐 설계시의 유입량은 667m<sup>3</sup>/s으로 준공이후 실적(839m<sup>3</sup>/s)에 비하여 약 126% 수준이다. 연도별 유입량 분석결과, 6~7년 주기로 홍수 및 가뭄이 심해짐을 알 수 있다. 건설초기('74~'83, 10년)와 최근 유입량('01~'10, 10년)을 비교·분석한 결과, 이수기는 건설초기에, 홍수기는 최근의 유입량이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 설계시 산정되었던 유입량보다 실적유입량이 높음을 알 수 있다.<sup>[14,16-18,20]</sup>

Table 3. 소양강댐 유입량 분석<sup>[14,16]</sup>

(단위 : m<sup>3</sup>/s, %)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
설계시(A)	12.3	13.5	15.8	36.2	37.2	48.4	230.6
실적(B)	6.2	9.1	28.9	63.6	59.2	54.2	210.5
대비(B/A)	50.4	67.1	183.0	175.7	159.1	112.0	91.3
구 분	8월	9월	10월	11월	12월	-	합계
설계시(A)	157.8	65.2	19.2	17.8	13.7	-	666.9
실적(B)	211.9	133.7	29.7	20.8	10.7	-	838.5
대비(B/A)	134.3	205.1	154.5	116.9	78.4	-	125.7

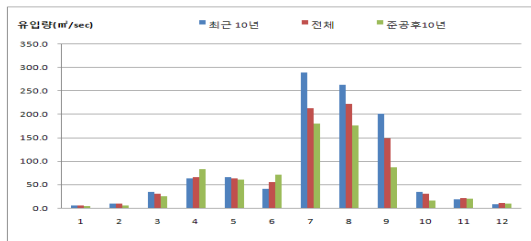


Fig. 9. 소양강댐 기간별 유입량 현황

### 3.2.3 방류량 실적 데이터

댐에서의 방류는 발전방류, 생·공용수공급, 농업용수공급, 하천유지용수공급 등의 용수공급을 위한 이수목적 방류와 홍수조절 등의 치수목적을 위한 방류가 있다. 댐의 일차적인 목적은 댐을 이용하여 풍수기의 잉여수량을 저류하였다가 갈수기에 공급하는 것으로 소양강 다목적댐의 경우 대부분의 방류량은 발전을 통하여 이루어지고 있으며 운영

실적은 1974~2010년의 일자료를 조사하여 분석하였다.

소양강댐의 방류량은 생·공업용수, 하천유지용수, 농업용수로 구분되며, 방류량은 모두 발전방류량으로 사용한다.

Table 4는 소양강댐의 월별 발전방류량을 준공이후부터 2010년까지 분석한 것이다.<sup>[16-18]</sup>

Table 4. 소양강댐 방류량 분석<sup>[17]</sup>

(단위 : m<sup>3</sup>/s)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
발전방류량	61.1	61.3	55.1	51.1	64.4	74.4	69.7
구 분	8월	9월	10월	11월	12월	-	평균
발전방류량	89.0	74.4	58.8	60.6	67.3	-	65.6

### 3.2.4 소양강수력 발전현황 데이터

소양강댐 수력발전소는 1973년 10월에 상업발전을 개시하였으며, 1990년도에는 준공이후 최대 연평균 방류량(140 m<sup>3</sup>/s)으로 713백만kWh의 최대실적을 기록하였다. 2010년도 수력발전 실적은 약 457백만kWh에 이르고 있으며, K-water 전체 발전량 1,938백만kWh의 약 23.4%를 담당

Table 5. 소양강댐 준공이후 발전량 실적

(단위 : 백만kWh, %)

구 분	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
발전량	-	406.3	339.6	426.2	338.4	373.4	555.2
이용율*	-	23.2	19.4	24.3	19.3	21.3	31.7
구 분	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
발전량	356.8	640.8	436.1	420.7	314.4	497.0	381.5
이용율*	20.4	36.6	24.9	24.0	17.9	28.4	21.8
구 분	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
발전량	673.9	360.0	360.3	713.0	470.4	450.7	532.4
이용율*	38.5	20.5	20.6	40.7	26.8	25.7	30.4
구 분	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
발전량	271.1	446.3	392.6	347.4	513.9	611.3	589.6
이용율*	15.5	25.5	22.4	19.8	29.3	34.9	33.7
구 분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
발전량	335.9	448.9	693.1	615.4	477.1	553.7	542.5
이용율*	19.2	25.6	39.6	35.1	27.2	31.6	31.0
구 분	2008	2009	2010	-	-	-	평균**
발전량	408.1	553.1	453.9	-	-	-	456.8
이용율*	23.3	31.6	25.9	-	-	-	26.1

이용율\* : 총발전량(kWh) / (총시설용량(kW)×24(hr)×365(일))

평균\*\* : 1974~2010의 37년간의 평균<sup>[5]</sup>.

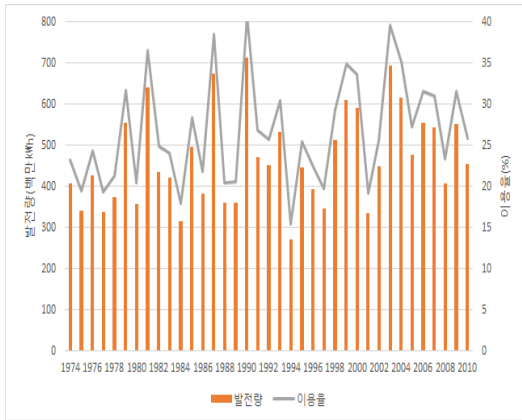


Fig. 10. 소양강댐 준공이후 발전량 그래프

하고 있다. Table 5는 소양강댐의 1974년부터 2010년까지의 발전량 실적으로 연평균 발전량은 456.8백만kWh로 설계당시 연간발전량 353백만kWh에 비하여 약 129%의 운영실적을 나타내고 있다.

소양강댐 수력발전소의 이용율은 준공이후 평균 26.1%로 침두부하를 담당하고 있는 것으로 분석되었다<sup>[15]</sup>.

## 4. 소양강수력 연간발전량 재산정

### 4.1 댐환경 및 운영자료 분석

연간발전량을 재산정하기 위해 발전소 준공이후 37년간('74~'10년) 댐운영 자료를 조사 분석하였다. 유입량은 저수지모의운영의 기초자료로서 일별자료를 조사하여 저수지모의운영 프로그램에 입력하였고, 저수량, 여수로방류량, 댐높이, 댐길이, 계획홍수위, 상시만수위 등은 댐제원 자료를 사용하였다.<sup>[15]</sup>

### 4.2 발전설비 및 운영자료 조사

저수지모의운영프로그램 입력인자인 발전설비의 제원 및

Table 6. 발전설비 제원<sup>[15]</sup>

구 분	설비용량 (천kW)	종합효율 (%)	방수위 (EL.m)
소양강수력	200 (100×2)	91.55 (수차:93.0, 발전기:98.5)	79.28

종합효율<sup>\*\*\*</sup> : 2000년도 종합효율시험결과 91.55% 적용  
방수위<sup>\*\*\*</sup> : 준공이후 평균방수위 적용

운영자료를 조사 분석하였다. 발전설비의 종합효율은 Table 6과 같이 최근 수차 및 발전기의 노후도를 고려한 최근 효율시험결과를 적용하였다.<sup>[15]</sup>

발전량 산정의 기본자료인 발전방류량은 실적방류량, 기본공급계획량의 2가지로 구분하여 Table 7과 같이 모의운영 하였다. 실적방류량은 실제 발전에 사용된 방류량 평균이며, 기본공급계획량은 월별 댐용수공급계획에 의거한 발전방류량이다.<sup>[14,16-18]</sup>

Table 7. CASE별 발전사용수량

구분	발전사용수량	내용
CASE 1	실적방류량	• 준공이후 실적방류량 평균
CASE 2	기본공급계획량	• 월별 계획 발전방류량

CASE1의 실적방류량은 기간 유형별(37년, 20년, 15년, 10년, 5년)로 구분하였고, 5년 단위로 나누어 기후변화에 따른 발전량 변화를 모의운영 하였다.

### 4.3 발전량 모의운영

발전량 모의 운영은 일일 유입량 및 댐운영 제약사항을 반영하여 HEC-ResSim 모형으로 운영하였다. 유입량은

Table 8. 기간 유형별 실적방류량

(단위 : m<sup>3</sup>/s)

구분	실적방류량(CASE 1)					기본공급 계획량 (CASE 2)
	5년 평균	10년 평균	15년 평균	20년 평균	37년 평균	
1월	49.75	56.76	60.16	61.17	61.09	46.2
2월	42.37	47.83	57.15	58.65	61.33	46.2
3월	51.55	51.40	53.93	54.48	55.08	46.8
4월	59.99	55.19	52.75	54.82	51.14	47.2
5월	79.50	69.22	68.24	67.60	64.42	47.2
6월	85.43	81.08	81.41	82.36	74.38	47.2
7월	82.97	73.73	73.67	68.50	69.72	47.2
8월	127.69	113.18	114.34	100.62	89.04	47.2
9월	68.80	84.32	82.97	78.63	74.38	47.2
10월	59.08	58.71	59.33	59.03	58.82	46.8
11월	63.77	72.22	67.87	63.43	61.26	46.2
12월	62.08	77.07	72.02	69.49	67.39	46.2
평균	69.42	70.06	70.32	68.23	65.67	46.8

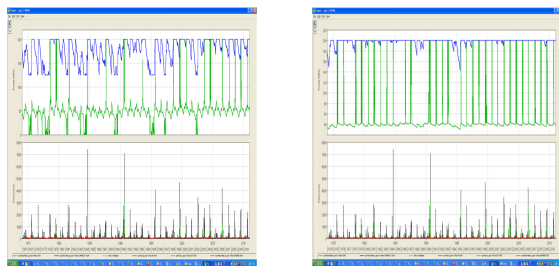
소양강댐 준공이후 일별 유입량 자료를 이용하였으며, 기간 유형별(37년, 20년, 15년, 10년, 5년) 방류량은 2가지 CASE(실적방류량, 기본계획량)로 구분하여 모의운영 하였다.

준공이후 37년('74~'10년)의 모의운영결과 실적방류량(평균방류량 65.67m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 439백만kWh로 준공이후(37년) 평균발전실적(457백만kWh) 대비 96.0% 수준을 보이고 있으며, 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 124.3%를 보이고 있다.

기본계획량(평균방류량 46.8m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 425백만kWh로 준공이후(37년) 평균 발전실적(457백만kWh) 대비 93.1% 수준을 보이고 있으며 연간발전량(353백만kWh) 대비 120.5%를 보이고 있다.

Table 9. 37년 평균유입량 적용에 따른 발전량

구분	유입량	방류량(m <sup>3</sup> /s)		구분	발전량(천kWh)	
		실적 방류량	기본 계획량		실적 방류량	기본 계획량
1월	6.2	61.09	46.2	1월	31,693	28,770
2월	9.1	61.33	46.2	2월	25,572	25,985
3월	28.9	55.08	46.8	3월	25,740	28,195
4월	63.6	51.14	47.2	4월	28,022	27,396
5월	59.2	64.42	47.2	5월	34,785	28,724
6월	54.2	74.38	47.2	6월	32,464	30,469
7월	210.5	69.72	47.2	7월	46,030	49,433
8월	211.9	89.04	47.2	8월	55,275	64,022
9월	133.7	74.38	47.2	9월	49,280	52,490
10월	29.7	58.82	46.8	10월	36,478	31,013
11월	20.8	61.26	46.2	11월	37,064	29,246
12월	10.7	67.39	46.2	12월	36,338	29,664
평균	69.9	65.67	46.8	연간 발전량	438,918	425,432



실적방류량 적용시                      기본계획량 적용시  
Fig. 11. 37년 평균유입량에 따른 발전량 모의운영 그래프

연간발전량 재산정 결과는 Table 9와 같으며, Fig. 11은 댐 모의운영에 따른 연간 발전량 변화를 나타내고 있다.

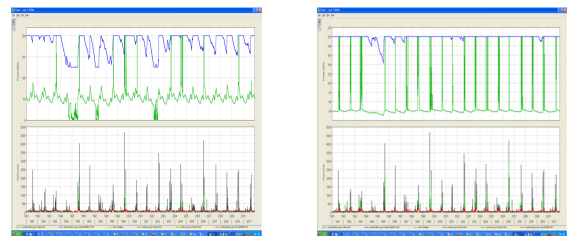
준공이후 20년('91~'10년)의 모의운영결과 실적방류량(평균방류량 68.23m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 472백만kWh로 20년 평균발전실적(485백만kWh) 대비 97.2% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 133.6%를 보이고 있다.

기본계획량(평균방류량 46.8m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 436백만kWh로 20년 평균 발전실적(485백만kWh) 대비 89.8% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 123.4%를 보이고 있다.

연간발전량 재산정 결과는 Table 10과 같으며, Fig. 12는 댐 모의운영에 따른 연간 발전량 변화를 나타내고 있다.

Table 10. 20년 평균유입량에 따른 발전량

구분	유입량	방류량(m <sup>3</sup> /s)		구분	발전량(천kWh)	
		실적 방류량	기본 계획량		실적 방류량	기본 계획량
1월	6.9	61.17	46.2	1월	33,421	29,048
2월	8.5	58.65	46.2	2월	26,854	26,226
3월	27.0	54.48	46.8	3월	27,688	28,559
4월	54.0	54.82	47.2	4월	30,298	27,604
5월	61.3	67.60	47.2	5월	39,001	28,751
6월	40.3	82.36	47.2	6월	36,128	28,861
7월	226.5	68.50	47.2	7월	49,434	49,135
8월	247.2	100.62	47.2	8월	62,643	72,123
9월	118.8	78.63	47.2	9월	49,080	54,292
10월	29.6	59.03	46.8	10월	38,716	31,617
11월	19.0	63.43	46.2	11월	39,923	29,425
12월	11.4	69.49	46.2	12월	38,318	29,834
평균	70.9	68.23	46.8	연간 발전량	471,503	435,524



실적방류량 적용시                      기본계획량 적용시  
Fig. 12. 20년 평균유입량에 따른 발전량 모의운영 그래프

준공이후 15년('96~'10년)의 모의운영결과 실적방류량(평균방류량 70.32m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 484백만kWh로 15년 평균발전실적(502백만kWh) 대비 96.4% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 137.1%를 보이고 있다.

기본계획량(평균방류량 46.8m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 440백만kWh로 15년 평균 발전실적(502백만kWh) 대비 87.7% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 124.7%를 보이고 있다.

연간발전량 재산정 결과는 Table 11과 같으며, Fig. 13은 댐 모의운영에 따른 연간 발전량 변화를 나타내고 있다.

준공이후 10년('01~'10년)의 모의운영결과 실적방류량(평균방류량 70.06m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 483백만kWh로

10년 평균발전실적(508백만kWh) 대비 95.1% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 136.9%를 보이고 있다.

기본계획량(평균방류량 46.8m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 433백만kWh로 10년 평균 발전실적(508백만kWh) 대비 85.3% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 122.7%를 보이고 있다.

연간발전량 재산정 결과는 Table 12와 같으며, Fig. 14는 댐 모의운영에 따른 연간 발전량 변화를 나타내고 있다.

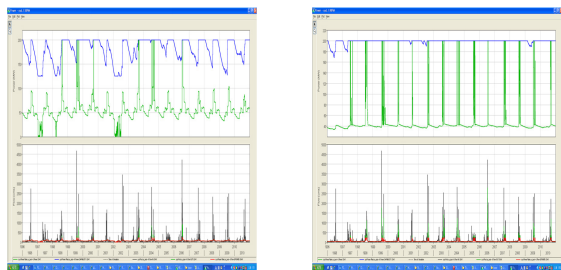
준공이후 5년('06~'10년)의 모의운영결과 실적방류량(평균방류량 69.42m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 489백만kWh로 5년 평균발전실적(502백만kWh) 대비 97.3% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 138.4%를

Table 11. 15년 평균유입량 적용에 따른 발전량

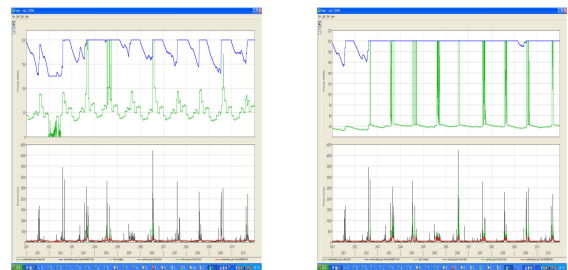
구분	유입량	방류량(m <sup>3</sup> /s)		구분	발전량(천kWh)	
		실적 방류량	기본 계획량		실적 방류량	기본 계획량
1월	6.4	60.16	46.2	1월	33,128	29,090
2월	7.6	57.15	46.2	2월	25,935	26,102
3월	25.1	53.93	46.8	3월	26,567	28,442
4월	52.9	52.75	47.2	4월	25,655	27,611
5월	59.9	68.24	47.2	5월	35,483	28,768
6월	42.1	81.41	47.2	6월	38,862	27,841
7월	245.4	73.67	47.2	7월	44,964	51,528
8월	238.8	114.34	47.2	8월	73,721	71,849
9월	140.6	82.97	47.2	9월	58,278	57,020
10월	29.6	59.33	46.8	10월	38,255	32,167
11월	18.4	67.87	46.2	11월	40,425	29,666
12월	10.2	72.02	46.2	12월	42,861	30,034
평균	73.1	70.32	46.8	연간 발전량	484,132	440,117

Table 12. 10년 평균유입량에 따른 발전량

구분	유입량	방류량(m <sup>3</sup> /s)		구분	발전량(천kWh)	
		실적 방류량	기본 계획량		실적 방류량	기본 계획량
1월	5.1	56.76	46.2	1월	29,798	28,569
2월	7.7	47.83	46.2	2월	22,224	25,621
3월	26.9	51.40	46.8	3월	25,557	27,957
4월	53.8	55.19	47.2	4월	27,022	27,142
5월	51.8	69.22	47.2	5월	36,292	28,229
6월	37.6	81.08	47.2	6월	37,320	27,172
7월	281.2	73.73	47.2	7월	47,517	51,285
8월	222.7	113.18	47.2	8월	72,167	67,084
9월	147.9	84.32	47.2	9월	59,488	59,614
10월	28.8	58.71	46.8	10월	37,615	31,318
11월	16.4	72.22	46.2	11월	43,088	29,357
12월	7.2	77.07	46.2	12월	45,073	29,797
평균	73.9	70.06	46.8	연간 발전량	483,160	433,145



실적방류량 적용시                      기본계획량 적용시  
Fig. 13. 15년 평균유입량에 따른 발전량 모의운영 그래프



실적방류량 적용시                      기본계획량 적용시  
Fig. 14. 10년 평균유입량에 따른 발전량 모의운영 그래프



보이고 있다.

기본계획량(평균방류량 46.8m<sup>3</sup>/s)에 따른 발전량은 436백만kWh로 5년 평균 발전실적(502백만kWh) 대비 86.9% 수준을 보이고 있으며 연간발전량 대비(353백만kWh) 대비 123.6%를 보이고 있다.

연간발전량 재산정 결과는 Table 13과 같으며, Fig. 15는 댐 모의운영에 따른 연간 발전량 변화를 나타내고 있다.

댐 유입량을 5가지 기간 유형(37년, 20년, 15년, 10년, 5년)으로 구분하여 소양강수력 발전소의 연간발전량을 재산정한 결과는 Table 14와 같으며, 기간 유형별 재산정 결과를 그래프(Fig. 16)로 표현하였다.

기후변화에 따른 강수량 증가세와 발전량 패턴을 비교 분석한 결과 소양강수력 연간발전량은 최근 10년간의 유

입량을 적용하여 산정한 483백만kWh로 재 산정함이 타당하다.

### 5. 결론

소양강수력의 연간발전량은 353백만kWh이나, 1973년 발전소 준공이후 발전량 실적은 457백만kWh로 연간발전량과 차이가 발생하고 있다. 연간발전량 산정에 영향을 미치는 설계 시 강수량이 1,097.3mm, 유입량은 666.9m<sup>3</sup>/s, 준공이후 강수량은 1,224.7mm, 유입량이 838.5m<sup>3</sup>/s로 변화되는 등 댐 운영 환경의 변화로 인하여 연간발전량이 변화하고 있다.

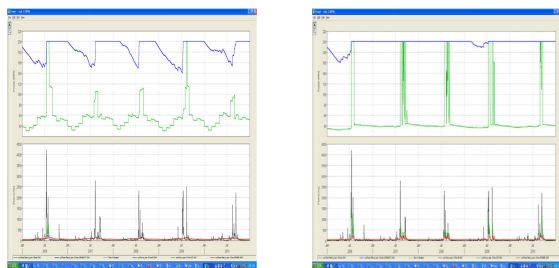
이러한 댐운영환경 변화에 적극적으로 대응하고 변화된 연간발전량을 재산정하기 위해 댐 유입량을 5가지 기간(37년, 20년, 15년, 10년, 5년)으로 구분하고 HEC-ResSim 모형을 이용하여 연간발전량을 재산정 하였다. 최근의 기후변화에 따른 강수량 증가추세와 발전량 패턴을 비교 분석한 결과 소양강수력의 연간발전량은 최근 10년간의 유입

Table 13. 5년 평균유입량에 따른 발전량

구분	유입량	방류량(m <sup>3</sup> /s)		구분	발전량(천kWh)	
		실적 방류량	기본 계획량		실적 방류량	기본 계획량
1월	4.2	49.75	46.2	1월	28,274	27,980
2월	8.1	42.37	46.2	2월	21,714	25,289
3월	28.6	51.55	46.8	3월	28,157	27,602
4월	47.3	59.99	47.2	4월	31,309	26,748
5월	51.7	79.50	47.2	5월	42,152	27,709
6월	41.2	85.43	47.2	6월	42,808	26,936
7월	330.9	82.97	47.2	7월	54,026	54,757
8월	205.0	127.69	47.2	8월	81,439	71,979
9월	135.1	68.80	47.2	9월	43,624	56,454
10월	26.5	59.08	46.8	10월	38,170	31,580
11월	16.5	63.77	46.2	11월	38,854	29,432
12월	7.4	62.08	46.2	12월	38,001	29,883
평균	75.2	69.42	46.8	연간 발전량	488,528	436,348

Table 14. 유입량별 연간발전량 산정 결과

유입량	방류량	발전량(백만kWh)			비고
		연간	실적	재산정	
37년	실적방류량	353	457	439	
	기본계획량	353	457	425	
20년	실적방류량	353	485	472	
	기본계획량	353	485	436	
15년	실적방류량	353	502	484	
	기본계획량	353	502	440	
10년	실적방류량	353	508	483	
	기본계획량	353	508	433	
5년	실적방류량	353	502	489	
	기본계획량	353	502	436	



실적방류량 적용시                      기본계획량 적용시  
Fig. 15. 5년 평균유입량에 따른 발전량 모의운영 그래프

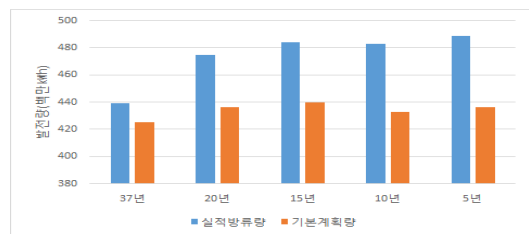


Fig. 16. 기간 유형별 재산정 결과 그래프

량을 적용하여 산정한 483백만kWh가 가장 적합한 것으로 분석되었으며, 향후 전력수급계획에 반영하여 수급계획의 신뢰도를 제고해야 할 것이다.

본 논문에서는 소양강수력발전소의 연간발전량에 대하여 강수량, 유입량 등의 자료를 분석하여 재산정 하였다. 향후 충주댐, 안동댐 등의 다른 수력발전소에 대해서도 연구의 확장이 이루어지면 더욱 의미 있는 연구가 될 것이다.

## 후 기

이 논문은 K-water 연간발전량 재산정 연구과제 및 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원(2016, 특화전문대학원 연계 학연협력지원사업)으로 수행하였습니다.

## References

- [1] Ralph A. Wurbs, 2005, "Texas Water Availability Modeling System", J. Water Resour. Plann. Manage., 2005, 131(4): 270-279
- [2] Ralph A. Wurbs, 1993, "Reservoir-System Simulation and Optimization Models", J. Water Resour. Plann. Manage., 10.1061/(ASCE)0733-9496 (1993)119:4(455), 455-472.
- [3] Martinez, Ramiro, and Ralph Wurbs, 2011, "Monthly Time Step WRAP Modeling Using Environmental Instream Flow Requirements", JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT © ASCE (2011).
- [4] Wurbs, R. A., 2003a, "Water Right Analysis Package (WRAP) model-ing system reference manual", Tech Rep. 255, Texas Water Resources Institute, College Station, Tex.
- [5] Wurbs, R. A., 2003b, "Water Right Analysis Package (WRAP) model-ing system users manual", Tech Rep. 256, Texas Water Resources Institute, College Station, Tex.
- [6] Wurbs, R. A., 2010a, "Application of Expanded WRAP Modeling Capabilities to the Brazos WAM", Tech Rep. 389, Texas Water Resources Institute, College Station, Tex.
- [7] Wurbs, R. A., 2010b, "Fundamentals of Water Availability Modeling with WRAP", Tech Rep. 283, Texas Water Resources Institute, College Station, Tex.
- [8] Goplan, H. ~2003!. "WRAP hydro data model: Finding input parameters for the Water Rights Analysis Package", Tech Rep. 233, Texas Water Resources Institute, College Station, Tex.
- [9] Brazos River Authority, 2004, "Water Permit Application: No. 5814", Texas Commission on Environmental Quality.
- [10] Matrosov, Evgenii S., and Julien J. Harou., 2010, "Simulating the Thames water resource system using IRAS-2010", International Environmental Modelling and Software Society.
- [11] Environment Agency., 2009, "More about the Thames River Basin District", Retrieved October 15th, 2009, from <http://www.environmentagency.gov.uk/research/planning/33130.aspx>.
- [12] Klipsch, J. D. and M. B. Hurst, 2007, "HEC-ResSim reservoir system simulation user's manual version 3.0", USACE, Davis, CA (2007): 512.
- [13] Basson, M.S., Allen, R.B., Pegram, G.G.S., and van Rooyen, J.A., 1999, "Probabilistic management of water resource and hydropower systems", Water Resources Publications.
- [14] Ministry of Construction, 1964, "Soyang hydroelectric project".
- [15] K-water, 2011, "2010년 발전사업통계".
- [16] K-water, 2011, "댐운영실무편람".
- [17] 건설교통부, 한국수자원공사, 1997, "기존댐 용수공급능력조사(한강수계) 보고서".
- [18] K-water, 2011, "소양강다목적댐 관리연보".
- [19] 이상호, 강태욱, and 정의택, 2006, "보장 공급량 분석에 의한 댐의 물 공급 안전도 평가기법 연구", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회 39.5 (2006): 467-478.
- [20] US Army COE, 1997, "Hydrologic engineering requirements for reservoirs", EM 1110-2-1420, pp. 12-12 ~ 12-13.
- [21] 건설부, 1993, "댐시설기준".
- [22] 박경원, et al., 2014, "기후변화에 따른 소양강댐 유입량 산정 비교 연구", 제 40 회 대한토목학회 정기 학술대회 (2014): 985-986.