



농업용저수지를 이용한 소수력의 연간발전량 추정

Estimation of Annual Capacity of Small Hydro Power Using Agricultural Reservoirs

우재열* · 김진수**†

Woo, Jae Yeoul · Kim, Jin Soo

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of hydro power factors (e.g., irrigation area, watershed area, active storage, gross head) on annual generation capacity and operation ratio for agricultural reservoirs in Chungbuk Province with active storage of over 1 million m³. The annual generation capacity and operation ratio were estimated using HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System) from last 10-year daily hydrological data. The correlation coefficients between annual generation capacity and the hydro power factors except gross head were high (over 0.87), but the correlation coefficients between operational rate and the factors were low (below 0.28). The optimum multiple regression equations of the annual generation capacity were expressed as the functions of watershed area, active storage, and gross head. Also, the simple regression equation of annual generation capacity was expressed as a function of watershed area. The average relative root-mean-square-error (RRMSE) between observed and estimated values by the optimum multiple regression equations was smaller than that by the simple regression equation, suggesting that the former has more accuracy than the latter

Keywords: Annual generation capacity; operation ratio; multiple regression equation; watershed area

1. 서 론

최근 화석연료의 고갈로 인한 에너지 시장의 불확실성과 온실가스 감축의무의 본격화로 인하여 저탄소 녹색사업의 재생에너지 부분인 소수력에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라의 소규모 수력 개발은 저수지나 소하천을 이용한 발전방식이나, 판매단가가 낮으며 수량의 계절적 편중에 따른 낮은 가동률(30~40%)과 낮은 경제성으로 원활하게 이루어 지지 않았다. 그러나 최근 소수력은 지구 온난화의 주범인 이산화탄소 배출량이 거의 없는 환경친화적이고 재생가능한 자원이라는 점에서 개발할 가치가 있는 것으로 평가되고 있다.

소수력 자원조사 및 활용기술 관련연구로는 소수력 발전 입지조사 (KAERI, 1974), 국내 소수력 자원조사 및 평가 (KIER, 1982-1984), 소수력 자원의 정밀조사 및 최적개발 분석연구

(KIER, 1989-1992) 등이 있다. Park et al. (1994)은 소수력 발전소의 수문학적 성능 특성 등 수문자료와 지형자료를 이용한 설계제원 등 성능특성 분석 기법을 제시하였고, Moon (2002)은 전국 농업용저수지의 소수력 잠재량 현황을 조사하였고, Song (2004)은 저수지 모의조작모형을 이용하여 추정한 발전량과 소수력 부존량에 영향을 미치는 저수지 특성인자들 사이의 관계를 분석하고 발전량을 추정하는 공식을 제안하였다. Kim et al. (2007, 2009)은 유향곡선을 통하여 최적 설계유량을 결정하여 소수력 개발의 최적규모 결정방안과 소수력 개발의 우선순위 결정방법을 제시하였다.

우리나라에서 유효저수량 100만 m³ 이상인 농업용 저수지는 2008년 현재 전국 17,611개중 440개로 전체의 약 2.5%에 불과한 실정이다 (MIFAFF, 2009). 저탄소 녹색사업을 위하여 최근 일정규모 이상의 농업용 저수지에 소수력 발전 개발이 시도되고 있으나, 경제성이 있는 지구선정에 어려움이 있는 실정이다. 경제성 있는 지구를 선정하기 위해서는 소수력의 발전량과 가동률에 대한 정확한 예측이 필요하다.

이에 본 연구에서는 저수지의 발전인자 (관개면적, 유역면적, 유효저수량, 총낙차)가 소수력의 발전량과 가동률에 미치는 영향을 파악하고, 발전인자로부터 소수력의 발전량을 예측할 수 있는 회귀식을 제시하고자 한다.

* 한국농어촌공사 사업계획실

** 충북대학교 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +81-043-261-2753

Fax: +81-043-271-5922

E-mail: jskim@cbnu.ac.kr

2010년 7월 23일 투고

2010년 9월 13일 심사완료

2010년 9월 16일 게재확정

II. 대상 저수지

농업용 저수지의 발전인자가 소수력 발전량 및 가동율에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 한국농어촌공사 (이하 농어촌공사)에서 관할하고 있는 충청북도 내 186개 저수지중 일정규모 (유효저수량 1백만 m³, 총낙차 5 m)이상의 저수지 21개를 대상으로 하였다. 소수력 발전량 및 가동률은 물리적 특성인 낙차와 유량에 의해서 결정되어, 발전인자로는 총낙차와 유입량에 영향을 미치는 유역면적, 필요수량에 영향을 미치는 관개면적 및 발전에 사용 가능한 유량인 유효저수량을 선정하였다 (Song, 2004).

대상저수지 중 최대 규모는 유효저수량 21,504천 m³인 진천군 백곡저수지이었으며, 최소 규모는 유효저수량 1,011천 m³

인 괴산군 신흥저수지이었다. 기상대 (관측소)의 최근 30개년 (1979년~2008년)의 연평균강수량은 약 1,274 mm이었으며 (Table 1), 대상저수지의 발전인자는 Table 2와 같다.

III. 연구방법

최근 10년간 (1999~2008년)의 수문자료를 이용하여 저수지 모의 운영식에 의하여 일별 방류량을 얻었다. 일별 방류량을 큰 순서로 나열하여 설계유량을 결정하고, 설계유량을 이용하여 발전량과 가동률을 산정하였다. 발전량과 발전인자와의 연관성을 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였고, 발전인자로부터 유도된 회귀식을 적용하여 발전량을 예측하였다. 발전인자에 관한 자료는 농어촌공사의 농업기반시설등록부를 이용하였다 (KRC, 2010).

1. 설계유량의 결정

농업용저수지의 발전량 및 가동률을 산정하기 위해서는 먼저 저수지의 방류량 유향곡선을 얻어야 한다. 방류량은 식 (1)과 같은 저수지 모의 운영식을 통해 얻었다.

Table 1 Annual precipitation

Meteorological. observatory	Annual precipitation (mm)	Error percent (%)
Chungju	1,258.9	1.16
Cheongju	1,237.5	2.84
Boeun	1,324.6	4.00
Average	1,273.7	2.67

Table 2 Hydro power factors of study reservoirs

No	Reservoir	Si-Gun	Meteoro. office	Irrigation area (ha)	Watershed area (km ²)	Active storage (10 ³ m ³)	Gross head (m)
1	Baekgok	Jincheon	Cheongju	2,613.5	84.79	21,504	17.10
2	Miho	Jincheon	Cheongju	2,499.8	133.30	13,853	15.00
3	Wonnam	Jincheon	Cheongju	852.1	36.55	8,690	18.70
4	Biryong	Boeun	Boeun	707.6	38.52	5,902	18.26
5	Yongdam	Chungju	Chungju	927	28.73	4,423	11.00
6	Bocheong	Boeun	Boeun	985.6	22.71	4,333	28.60
7	Chupyeong	Chungju	Chungju	488.0	16.10	3,808	15.00
8	Gwanghye	Anseong	Cheongju	303.9	10.40	2,995	13.80
9	Jungsan	Chungju	Chungju	215.0	7.98	2,270	25.00
10	Gung	Boeun	Boeun	360.1	11.43	1,934	10.50
11	Hwasan	Jincheon	Cheongju	519.5	9.80	1,549	12.50
12	Mojeom	Chungju	Chungju	179.0	8.57	1,492	13.00
13	Samgi	Jeungpyeon	Cheongju	410.0	10.50	1,400	13.50
14	Songmyeon	Goesan	Boeun	179.0	6.90	1,366	16.00
15	Musu	Jincheon	Cheongju	239.0	8.57	1,273	9.00
16	Chungdo	Eumseog	Chungju	122.2	7.70	1,141	14.00
17	Sosu	Goesan	Chungju	188.0	6.52	1,137	9.50
18	Sinhang	Goesan	Chungju	85.0	3.95	1,134	13.00
19	Soam	Goesan	Chungju	92.3	3.38	1,051	15.50
20	Hoam	Chungju	Chungju	194.0	10.06	1,030	7.10
21	Sinheung	Goesan	Chungju	166.1	2.70	1,011	15.00

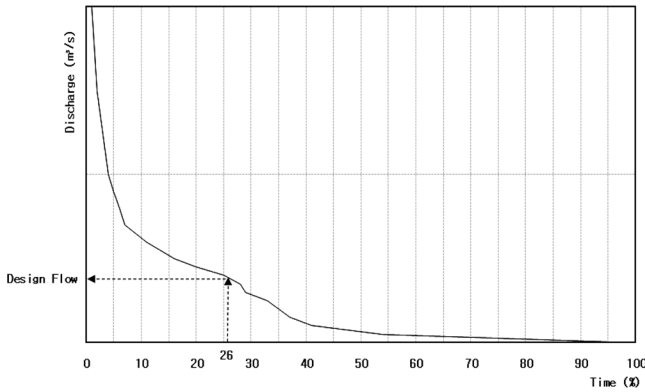


Fig. 1 Determination of design flow in the Baekgok reservoir

$$R_t + Q_t = S_{t-1} - S_t + I_t + P_t - E_t \quad (1)$$

여기서, R_t : 통관 방류량, O_t : 여수로 방류량, S_t, S_{t-1} : $t, t-1$ 일의 저수량, I_t : 유입량, P_t : 수면강수량, E_t : 수면증발량

저수지 모의운영 프로그램은 농어촌공사에서 농촌용수개발사업 등에 보편적으로 사용하고 있는 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System, 2001)을 사용하였다.

HOMWRS에서 유입량은 DIROM (Daily Irrigation Reservoir Operation Model)모형을 이용하여 산정하였고, 통관방류량은 논에서의 필요수량에 의해 결정되며, 필요수량 산정에는 Penman 식을 적용하였다. 식 (1)에 의하면 농업용 저수지에서는 전체방류량 중 통관방류량은 약 20~40%, 여수로 방류량은 약 60~80%를 차지하고 있으나, 소수력이 설치된 저수지에서는 여수로 방류량의 상당부분이 통관 방류량이 되어 발전에 이용되므로 발전수량은 전체방류량의 약 50~60% 정도가 된다. 설계유량 (Design flow)은 유황곡선 상에서 25% 근처에서 결정하는 것이 일반적이어서 국내 소수력 설계에서 많이 사용되는 풍수량 (방류량 유황곡선 상에서 26%에 해당되는 유량 값)을 기준으로 하여 선정하였다 (Moon, 2002; Kim et al. 2007).

Fig. 1은 백곡저수지의 10년간 일유량 자료 (3,652 개)로 구성된 방류량 유황곡선으로 여기서 26%에 해당되는 유량을 설계유량으로 정했다.

2. 발전량 산정

저수지의 단위시간 발전량은 식 (2)와 같이 설계유량을 이용하여 결정한다.

$$P_h = 9.8 \times Q_d \times H_e \times n_s \quad (2)$$

여기서, P_h : 단위시간 발전량 (KWh), Q_d : 설계유량 (m^3/s), H_e : 유효낙차 (m), n_s : 시스템효율 (%)

유효낙차는 총낙차 (만수위-사수위)에서 손실수두를 뺀 값으로 총낙차의 90%로, 시스템효율은 85%로 가정하였다. 저수지별 연발전량은 단위시간 발전량에서 일발전량을 산정한 후 365일 자료를 합산하여 산정하였다.

식 (2)의 단위시간 발전량을 이용하여 계산된 일발전량은 식 (3), 일별발전량을 합산한 연발전량은 식 (4), 10년간의 연평균발전량은 식 (5)로 표현할 수 있다.

$$P_d = 24 \times P_h \quad (3)$$

$$P_a = \sum_{d=1}^{365} P_d \quad (4)$$

$$\bar{P} = \sum_{a=1}^{10} P_a / 10 \quad (5)$$

여기서, P_d : 일발전량 (KWh), P_h : 단위시간 발전량 (KWh), P_a : 연발전량 (KWh), \bar{P} : 연평균발전량 (KWh)

3. 가동률 산정

가동률은 최대 출력으로 발전했을 경우에 산정된 연최대발전량에 대한 연평균발전량의 비를 말하며, 저수지에서 발전할 수 있는 연최대발전량은 식 (6)과 같다.

$$P_{max} = 365 \times 24 \times 9.8 \times Q_d \times H_m \times n_s \quad (6)$$

여기서, P_{max} : 연최대발전량 (KWh), Q_d : 설계유량 (m^3/s), H_m : 평균유효낙차 (m), n_s : 시스템효율 (%)

따라서, 가동률 K는 식 (7)로 표시할 수 있다

$$K = \bar{P} / P_{max} \times 100 \quad (7)$$

여기서, \bar{P} : 연평균발전량 (KWh)

IV. 결과 및 고찰

1. 방류량 유황곡선

식 (1)에 의하여 Fig. 1과 같이 산정된 백곡, 비룡 및 추평 저수지에서의 10년간 방류량 유황곡선은 Fig. 2와 같다.

유황곡선 중 시간백분율 26 %에서 풍수량을, 50 %에서 평수량을, 75 %에서 저수량을, 97 %에서 갈수량을 산정할 수 있다. 설계유량인 풍수량은 유역면적 84.8 km²인 백곡저수지에서는 3.8 m³/s, 유역면적 38.5 km²인 비룡저수지에서는 1.3 m³/s, 유역면적 16.1 km²인 추평저수지에서는 0.5 m³/s를 보

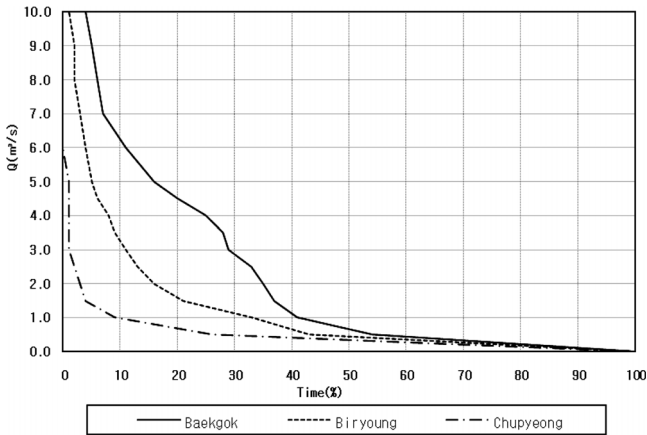


Fig. 2 Flow duration curve of study reservoirs

여 설계유량은 유역면적이 클수록 크게 나타났다. 이에 반하여, 갈수량은 유역면적에 관계없이 비슷하게 나타났다.

2. 발전량과 가동률

식 (5), (6) 및 (7)에 의하여 산정된 연평균발전량, 연최대발전량 및 가동률은 Table 3과 같다.

설계유량 1.0 m³/s 이상인 저수지는 4개로 연평균발전량은 600~2,000 MWh이었으며, 0.5~1.0 m³/s인 저수지는 3개로 연평균발전량은 100~200 MWh이었고, 0.5 m³/s 이하인 저수지는 14개로 연평균발전량은 대부분 (9지구) 30~100 MWh로 나타났다. 가동률은 30~44 %의 범위로, 비룡저수지에서 최댓값 (44 %), 신흥저수지에서 최솟값 (30 %)을 나타냈다.

3. 상관분석

가. 발전량

저수지의 발전량에 대한 발전인자 (관계면적, 유역면적, 유효저수량, 총낙차)의 상관계수 (R)는 Table 4와 같다. 발전량, 관

Table 3 Annual generation capacity and operational ratio of study reservoirs

No.	Reservoir	Design flow (m ³ /s)	Annual generation capacity (MWh)											Max. annual generation capacity (MWh) ②	Operational ratio (%) ③=①/②
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Average ①		
1	Baekgok	3.80	1,852.7	1,584.3	1,172.3	1,543.2	2,001.5	1,788.1	1,775.7	1,332.3	1,841.6	1,291.5	1,618.3	4,104.1	39.4
2	Miho	5.50	2,323.9	1,986.0	1,471.0	2,025.2	2,516.4	2,289.4	2,227.9	1,798.4	2,464.7	1,596.5	2,069.9	5,305.9	39.0
3	Wonnam	1.26	697.8	593.2	457.0	615.0	738.5	662.2	652.1	528.2	720.7	498.2	616.3	1,520.7	40.5
4	Biryong	1.30	779.9	620.6	510.8	712.4	839.1	701.2	688.7	662.2	763.5	514.2	679.3	1,543.5	44.0
5	Yongdam	0.90	268.4	234.1	156.6	208.6	306.6	247.6	262.8	189.1	239.5	156.3	227.0	602.7	37.7
6	Bocheong	0.95	763.9	621.9	448.7	523.6	867.8	654.6	676.4	549.6	752.8	477.8	633.7	1,679.3	37.7
7	Chupyeong	0.50	194.7	171.7	131.6	151.6	222.5	183.2	193.8	151.9	173.6	127.5	170.2	466.0	36.5
8	Gwanghye	0.35	132.1	110.6	86.0	108.5	141.7	125.5	124.9	98.5	127.0	91.8	114.6	306.6	37.4
9	Jungsan	0.27	184.6	156.0	124.7	151.3	207.0	173.2	179.3	140.0	177.1	122.1	161.5	432.7	37.3
10	Gung	0.42	125.8	103.6	80.8	105.4	142.8	113.7	113.3	103.5	124.0	84.1	109.7	278.6	39.4
11	Hwasan	0.30	67.5	68.4	41.3	53.6	98.3	72.1	79.6	54.5	71.4	42.1	64.9	200.6	32.4
12	Mojeom	0.23	85.9	73.0	55.4	72.8	97.5	79.7	83.1	64.9	86.8	58.4	75.8	191.8	39.5
13	Singi	0.40	114.2	106.2	78.5	88.7	145.2	125.4	123.1	89.3	120.2	80.2	107.1	311.0	34.4
14	Songmyeon	0.27	123.5	101.8	83.1	110.8	137.9	113.5	111.4	105.9	121.6	86.3	109.6	275.9	39.7
15	Musu	0.32	72.3	61.5	45.9	53.4	80.6	69.6	70.1	51.9	68.7	48.7	62.3	173.4	35.9
16	Chungdo	0.19	80.0	70.1	50.5	75.7	91.0	75.5	78.1	68.7	82.0	56.5	72.6	171.7	42.4
17	Sosu	0.22	51.8	45.2	33.8	41.3	60.0	48.8	51.2	39.7	49.2	33.0	45.4	129.6	35.0
18	Sinhang	0.12	42.9	35.9	28.5	36.0	47.8	39.3	41.4	33.6	42.4	29.7	37.7	99.0	38.1
19	Soam	0.12	50.6	42.3	34.0	41.5	56.3	46.9	48.9	39.6	48.9	34.6	44.4	119.1	37.3
20	Hoam	0.29	60.8	53.0	36.6	53.8	68.5	56.4	57.5	46.6	60.7	39.3	53.3	130.5	40.8
21	Sinheung	0.10	29.2	28.0	20.5	19.4	39.2	27.4	31.2	27.9	21.6	19.0	26.3	85.8	30.7

Table 4 Correlation coefficient between annual generation capacity and hydro power factor

Division	Annual generation capacity	Irrigation area	Watershed area	Active storage	Gross head
Annual generation capacity	1				
Irrigation area	0.96	1			
Watershed area	0.98	0.95	1		
Active storage	0.91	0.95	0.87	1	
Gross head	0.30	0.24	0.16	0.26	1

Table 5 Correlation coefficient between operational rate and hydro power factor

Division	Operational rate
Operational rate	1
Irrigation area	0.18
Watershed area	0.28
Active storage	0.28
Gross head	0.12

개면적, 유역면적, 유효저수량과의 상관계수는 0.87 이상으로 높게 나타났나, 총낙차와 발전량 및 다른 발전인자와의 상관계수는 0.30 이하로 낮게 나타났다. 저수지 발전량은 유량에 밀접하게 관련이 되어 있어 관개면적, 유역면적, 유효저수량과의 상관관계가 높으나, 농업용 저수지의 특성상 일정규모의 제방 높이의 확보를 위한 최적의 저수지 입지보다는 수해면적을 충족시킬 수 있는 저수량 확보가 우선되기 때문에 상대적으로 발전량과 총낙차의 상관관계가 낮게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

나. 가동률

저수지의 가동률과 발전인자 (관개면적, 유역면적, 유효저수량, 총낙차)의 상관계수 (R)는 0.12-0.28의 범위로 낮은 값을 보였다 (Table 5). 우리나라 저수지의 가동률은 발전인자 보다는 여름철에 강우가 집중되어 가동률이 저하되는 특성을 가지고 있어, 강우 분포형태에 의해서 좌우되어 발전인자와 가동율의 상관관계가 매우 낮게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

4. 중회귀분석

본 연구에서는 연간발전량 (Y) 을 종속변수, 발전인자, 즉 관개면적 (X₁), 유역면적 (X₂), 유효저수량 (X₃), 총낙차 (X₄)를 독립변수로 하여 이 들의 관계를 중회귀식으로 표현하였다. Song (2004)도 연간발전량을 저수지 특성인자들을 이용하여 중회귀식으로 표현하였다. 분석분석표 (ANOVA)에 의하면 유의한 F 값이 < 0.001을 보여, 회귀식이 유의성이 인정되는 것으로 나타났다 (Table 6). 그러나, 독립변수 사이에 상관관계가 클 경

Table 6 Regression equations induced by stepwise regression method

Step	Multiple regression equations	P value of predictor		R _u
		X _i		
Step 1	Y = 0.02X ₁ + 13.60X ₂ + 0.02X ₃ + 13.63X ₄ - 251.18	X ₁	0.86	0.982
		X ₂	< 0.001	
		X ₃	0.06	
		X ₄	< 0.01	
Step 2	Y = 13.79X ₂ + 0.02X ₃ + 13.69X ₄ - 251.15	X ₂	< 0.001	0.984
		X ₃	0.003	
		X ₄	< 0.001	
Step 3	Y = 16.53X ₂ + 16.12X ₄ - 269.93	X ₂	< 0.001	0.975
		X ₄	< 0.001	
Step 4	Y = 16.94X ₂ - 40.36	X ₂	< 0.001	0.952

X₁: Irrigation area, X₂: Watershed area, X₃:Active storage, X₄: Gross head

우에 중회귀식에서는 다중공선성 (multicollinearity)이 발생하여 오류가 있을 수 있다. 독립변수의 P값 (위험률)이 높은 경우는 다중공선성으로 독립변수에 포함된 오차가 클 가능성이 높으므로 독립변수의 P값이 0.05 이상인 경우에는 P값이 높은 독립변수부터 독립변수를 제거하여 단계별 회귀식을 유도하였다.

여러 회귀식 중 최적의 회귀식을 판단하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 식 (8)과 같은 독립함수 선택기준 (R_u) (Ueda et al., 2004)을 판별식으로 선정하여 이 값이 최대인 경우를 최적의 식으로 판단하였다.

$$R_u = 1 - (1 - R^2) \frac{n+k+1}{n-k-1} \tag{8}$$

단 여기서 R²는 결정계수, n은 샘플수, k는 자유도를 나타낸다.

Table 6에서는 Step 2의 식에서 R_u가 최댓값을 보여 이를 최적의 회귀식으로 판별하였다. 이때, 각 독립함수의 영향도를 나타내는 t값은 유역면적 (X₂)이 15.1, 유효저수량 (X₃)이 3.4, 총낙차 (X₄)가 4.7를 보여 연간발전량에 대한 영향도는 유역면적이 유효저수량 및 총낙차보다 큰 것으로 나타났다. 또한, Step

4 식은 유역면적만으로 연간 발전량을 간편하게 산정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

5. 검토

Table 6의 최적판별식인 Step 2와 간편식인 Step 4 식을 적용하여 추정된 연발전량과 실제 운영중인 소수력발전 지구의 연발전량과 비교하였다. 자료의 신뢰성을 위하여 현재 운영 중인 농업용저수지의 소수력발전 지구 중 가동실적이 4개년 이상 되는 6지구를 선정하였다 (Table 7).

연발전량의 실측치와 추정치를 비교하기 위하여 상대평균제곱근오차 (RRMSE)와 추정치가 실측치보다 크거나 작은 값을 갖는지를 나타내는 누가오차인 상대편의 (RBLAS)를 이용하였다. 상대평균제곱오차와 상대편의의 일반식은 식 (9)와 (10)과 같고, Step 2와 Step 4에 의한 검토결과는 Table 8과 같다.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left(\frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right)^2} \quad (9)$$

Table 7 Factors of reservoirs of hydro power generation in operation

No	Reservoir	Si-Gun	Watershed area (km ²)	Active storage (10 ³ m ³)	Gross head (m)
1	Seongju	Seongju	149.6	28,150	22.5
2	Gyeongcheon	Mungyeong	91.5	27,200	37.0
3	Daea	Wanju	120.0	54,646	40.0
4	Donghwa	Jangsu	58.8	32,242	42.6
5	Hadong	Hadong	58.5	30,221	37.6
6	Damyang	Damyang	65.6	64,800	33.5

$$RBLAS = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left(\frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right) \quad (10)$$

여기서, Q_j 는 연발전량의 추정치, Q_j^m 은 연발전량의 실측치를 나타낸다.

연발전량은 발전소 운영 및 관리상황, 농업용수 급수상황 등에 영향을 받고 있어 지역별, 연도별로 차이를 나타나고 있다. 연발전량의 추정치와 실측치의 상대평균제곱근오차는 최적 추정식인 Step 2식이 0.27~0.87 (평균 0.51)로 간편식인 Step 4식에서의 0.49~1.81 (평균 0.97)보다 작게 나타나 Step 2식이 Step 4식보다 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 상대편의는 Step 2식에서 -0.41~0.76 (평균 0.17), Step 4식에서 0.34~1.68 (평균 0.82)로 나타나 상대평균제곱근오차와 마찬가지로 Step 2식이 Step 4식보다 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 실측치가 추정치보다 크게 나타난 대아 저수지를 제외한 경우에는 Step 2식에서 RRMSE는 0.43으로 RBLAS는 0.06으로 크게 저하하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 농업용저수지에서 발전인자 (관개면적, 유역면적, 유효저수량, 총낙차)가 소수력의 발전량 및 가동율에 미치는 영향을 파악하고 대상 저수지에 대한 발전량 및 가동률을 산정하였다. 여기서 얻은 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 발전량, 가동률과 발전인자들과의 상관분석 결과, 발전량은 관개면적, 유역면적, 유효저수량에 대하여 상관계수가 $R > 0.87$ 이상으로 높은 관련성이 있는 것으로 나타났으나, 총낙차

Table 8 RRMSE and RBLAS between observed and estimated values of annual generation capacity

No.	Reservoir	Observed value (MWh)										Estimated value (MWh)						Remark
												Step 2			Step 4			
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Annual generation capacity (MWh)	RRMSE	RBLAS	Annual generation capacity (MWh)	RRMSE	RBLAS	
1	Seongju		3,547	3,938	7,001	4,109	3,732	-	-	-	1,294	2,683	0.78	0.47	2,494	0.88	0.58	Not operated during 2006-2008
2	Gyeongcheon	2,641	1,816	2,275	3,837	3,076	3,211	1,997	2,231	2,438	1,858	2,061	0.38	0.23	1,510	0.80	0.68	
3	Daea					6,032	6,616	4,994	6,958	4,198	3,272	3,044	0.87	0.76	1,992	1.81	1.68	
4	Donghwa						2,399	2,434	2,481	1,853	1,461	1,788	0.29	0.19	956	1.29	1.22	
5	Hadong							1,293	1,832	996	1,234	1,675	0.27	-0.20	951	0.52	0.41	
6	Damyang							1,872	1,760	1,064	1,025	2,408	0.44	-0.41	1,071	0.49	0.34	
	Average												0.51	0.17		0.97	0.82	

와는 관련성이 낮게 나타났다 ($R < 0.30$). 한편, 가동률은 모든 발전인자와 상관성이 낮은 것 ($R < 0.28$)으로 나타났다.

2. 발전인자로 연간 발전량을 추정할 수 있는 다수의 중회귀식이 유도되었고, 이중 최적의 추정식은 유역면적, 유효저수량 및 총낙차의 함수로 표현되었다. 한편, 간편식은 유역면적만으로 연간 발전량을 간편하게 산정할 수가 있는 장점을 가지고 있다.

3. 연발전량의 추정치와 실측치의 상대평균제곱근오차 (RRMSE)는 최적판별식인 Step 2식이 평균 0.51로 간편식인 Step 4식에서의 평균 0.97보다 상대적으로 작아 최적판별식이 간편식보다 정확도가 높은 것으로 나타났다.

본 연구는 차세대 홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다 (과제번호 2-1-3).

REFERENCES

1. KARICO (Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation), 2001, *Hydrological Operation Model for Water Resources System*, Korea (in Korean).
2. KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute), 1974. *Small Hydro Power Generation Position Investigation*, Korea (in Korean)
3. KIER (Korea Institute of Energy Research), 1982~1984. *Korea Small Hydro Power Resources Investigation & Assesment*, Korea (in Korean).
4. KIER (Korea Institute of Energy Research), 1989~1992. *Small Hydro Power Resources's Detailed Investigation & Analysis Research*, Korea (in Korean).
5. Kim, K. H., C. S. Yi, J. H. Lee, and M. P. Shim, 2007. Framework for optimum scale determination for small hydro power development using economic analysis. *J. of Korea Water Resources Association* 40(12): 995-1007 (in Korean).
6. Kim, K. H., C. S. Yi, K. D. Yeo, and M. P. Shim, 2009. Priority decision of small hydro power development using spatial multi-criteria decision making. *J. of Korea Water Resources Association* 42(12): 1029-1038 (in Korean).
7. KRC (Korea Rural Community Corporation), Title of article. [Http://ep.ekr.or.kr](http://ep.ekr.or.kr) Accessed 5 Jan. 2010.
8. MIFAFF (Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries), 2009. *Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture*, Korea (in Korean).
9. Moon, Y. K., 2002. Potential presence of small hydro development using agricultural reservoirs. *Rural Community & Environment* 12(2): 7-13 (in Korean).
10. Park, S. W., and C. H. Lee, 1994. The Analysis of hydrologic performance characteristics for small hydro power plant. *Korea Society of Civil Engineers* 1159-1166 (in Korean).
11. Song, K. S., 2004. Estimating Small-Scale Hydro Power Potential of Agricultural-Purpose Reservoirs. M. S. Thesis., Anseong, Gyeonggi: Hankyong National University (in Korean).
12. Ueda, T., M. Kobayashi, and M. Fuchigami, 2004. *Introduction to Regression Analysis Using Excel* 115-124 (in Japanese).