

관측 유량 자료를 이용한 소수력 잠재량 평가에 대한 사례연구

정성은* · 김진영** · 강용혁*** · 김형수***

*인하대학교 토목공학과

**한국에너지기술연구원 신재생에너지 자원·정책센터

***인하대학교 토목공학과

Case Study : Assessment of Small Hydropower Potential Using Runoff Measurements

Jung Sung-Eun* · Kim Jin-Young** · Kang Yong-Heack*** · Kim Hung-Su***

*Department of Civil Engineering, Inha University

**New and Renewable Energy Resource & Policy Center, Korea Institute of Energy Research

***Department of Civil Engineering, Inha University

†Corresponding author: yhkang@kier.re.kr

Abstract

In this study, we assessed dependency of small hydropower potentials on the two different runoff such as the estimated runoff based on the rainfall amounts and measured runoff. The hydropower potentials were evaluated using actual power generations taken from Deoksong, Hanseok, and Socheon small hydropower plants over Han and Nakdong river basins, respectively. As a result of comparing the actual power generation amount with the potential amount based on the rainfall amount and the estimated amount based on the observed flow amount by each small hydroelectric power plant, the degree of latent small hydro energy by the observed flow was confirmed to be high. It is confirmed that the potential hydroelectric power generation rate is estimated to be about average 30%Point higher than the actual generation amount as a result of the measured flow rate rather than using the rainfall amount. Based on this, a method for improving the degree of the actual generation amount is proposed.

Keywords: 유량(Runoff), 소수력(Small Hydropower), 잠재량(Potential Energy), 발전량(Actual power generation value)

1. 서론

수백년의 역사를 갖는 수력발전은 탄소배출이나 오염문제가 없는 청정에너지원이며, 유량이 있는 하천 뿐 아니라 저수지, 상, 하수 처리장, 수도관로 등 다양한 이수, 치수 시설들에 적용이 가능하다. 실제 수력발전은 초기비용이 많이 들지만, 반영구적인 설비이고 아주 성숙한 기술을 확보하고 있다. 이런 수력에너지의 전략적인 보급계획을 마련하기 위해서는 정확한 수력 자원 자료를 분석하여 자원이 풍부한 입지의 타당성 분석이 선행되어야 한다^{1,2,3,4}.

OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.38, No.4, pp.43-54, August 2018
<https://doi.org/10.7836/kjes.2018.38.4.043>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 30 May 2018

Revised: 07 August 2018

Accepted: 17 August 2018

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Singh et al.은 균형 있는 재생에너지 개발을 위해서 수력발전이 반드시 고려되어야 한다고 하였으며⁵⁾, Manzano-Agugliaro et al.은 수력 발전은 설치 시 비용은 고가인 반면, 유지보수가 용이하며, 유량이 있는 한 항상 발전가능 한 에너지원이라고 하였다, 또한 개발도상국은 마을단위의 재생에너지 자원의 97%가 소수력이며, 2009년 기준으로 유럽은 수력 기술잠재량의 75%가 개발되어진 상태이나, 아프리카는 수력 잠재량의 단 7%만이 개발되어 있어, 그 개발 잠재력이 풍부하다고 논하였다⁶⁾.

소수력 잠재량은 소수력 자원량의 총합으로,¹⁾ 연간 최대 발전량에 상응한다. 이는 수량과 지형조건에 의해 결정되므로 주어진 조건하에 유량이 핵심변수이다⁴⁾. Adhau et al.⁷⁾에 따르면, 인도의 소수력 발전 타당 지역을 산정하는 연구에서, 최근 60년간의 수력 시계열 데이터를 사용하여, 소수력 발전 시설의 잠재량 및 발전 가능량을 산정하였으며,⁴⁾ Larentis et al.⁸⁾ 등의 연구에서는 GIS를 기반으로 수력잠재량을 산정하는 경우, 발전시설 후보지 잠재량을 구하는 산정식에서 유량값을 그 잠재량 산정 모듈의 입력 데이터로 산정하여 사용한다⁹⁾. 우리나라 수력 발전입지에서의 사용유량을 결정하는 최선의 방법은 해당 지점에서 장기간에 걸친 유량을 측정, 분석하여 사용 유량을 결정하는 것이라고 하였다^{2,3,9,10,11,12,13,14)}. Kim et al.은 지속 개발 가능성의 측면에서 소수력을 고려하려면 다기준 의사결정 분석을 바탕으로 한 경제성 분석이 필요하며, 기존의 연구들이 공간의사결정기법을 사용한 사례가 드문 경우를 들며, GIS(Geographic Information System)를 사용한 입지분석 기법을 도입하여 연구하고 검증하였다¹⁵⁾. Noyes와 Park et al.의 연구들에서는 우리나라 전역에 유량산정이 가능한 유량 및 수위관측소가 부족하다는 전제를 바탕으로 하여, 인근 강우관측소에서 측정된 강우 데이터를 분석하여 유량을 예측하고 있다^{9,16,17)}. Yu et al.은 소수력 발전소의 입지분석이 필요한 이유로 경제성 분석과 발전성능특성 분석을 들고 있으며, 환경영향평가와 입지분석에 GIS를 사용하는 다양한 국내외 사례들을 분석하였다¹⁸⁾. Yu et al.은 국내 소수력 시설의 증가 및 발전량 산정 연구의 증가에 따른 소수력 발전규모 산정을 전국적 잠재적 자원량 분석을 위하여 연평균 유량, 시설용량 그리고, 단위낙차별 연간 소수력 발전량을 산정하였다⁹⁾. 이와 같이 수력 잠재량을 산정하는 다수의 연구들에서는 소수력 발전 잠재량 산정을 위하여 강우 데이터를 분석하여 산정된 유량 데이터를 입력 데이터로 잠재량을 산정하는 기법을 사용하여 왔다^{10,11,12,13,14)}. 앞서 언급한 다양한 선행 연구들에서 공통적으로, 충분한 실측 유량 데이터가 있을 경우, 실측 유량데이터를 사용하는 것이 최적이라고 논의하면서도, 하천의 연평균 유량 산정을 위하여 수위관측소의 데이터가 아닌 기상관측소의 강수량 데이터를 통해 유량을 추정하는 방법을 사용하고 있다. 이는 국내에 실측유량데이터가 부족하기 때문이다^{19,20)}.

하지만 Roh et al.²⁰⁾에 따르면 기존의 수문조사 및 유량측정 분야에서 측정결과의 정확도와 측정 효율성을 향상시키기 위한 유량측정 기술 개발 즉 하천의 주요지점의 수위와 유량자료의 실시간 측정 및 유량, 유사량, 토양 수분량 등의 측정장비 등을 첨단화하고 유량측정 지점을 꾸준히 확대하고 자료의 품질을 높이고 있다²¹⁾. 2007년 국토교통부 산하 수문조사 전문기관인 유량조사사업단이 출범한 이후 2015년까지 유량관측소 총 204개소, 수위관측소 총 498개소를 설치, 운영하고 있으며,²²⁾ 환경부 또한 오염총량제 실시 이후 환경부 관할 총 253개소의 유량관측소와 2개소의 수위관측소를 설치 운영하는 중이며, 이 밖에 한국수자원공사의 유량관측소 31개소,

수위관측소 148개소 등이 운영되고 있어, 2015년 수문조사연보에 따르면 2015년 전국적으로 총 488개의 유량 관측소와 총 661개의 수위관측소(수력원자력 7개소, 농어촌공사 6개소 포함)가 설치, 운영되고 있는 실정이다^{23,24)}. 따라서 위의 연구에서 제시한 우리나라 총 기상관측소 427개소보다 오히려 수위, 유량관측소가 722개소가 더 많으며, 이는 총 기상관측소 설치개소수의 2.6배가 넘는 수를 보여주고 있다.

본 논문에서는 소수력에너지의 잠재량의 신뢰도를 높이기 위해서 새로운 기초자료의 활용성을 평가하였다. 현재 전국적으로 실측 유량 데이터를 수집할 수 있는 수위관측소 및 유량관측소의 설치가 확대어진 상태에서, 향후 축적되어질 유량 시계열 데이터의 사용을 반드시 고려하여야한다. 각 발전소의 강수량데이터를 바탕으로 한 예측 유량데이터와 유량측정소에서 측정된 실측 유량 데이터를 사용하여, 각각 소수력 잠재량을 산정하고, 산정된 잠재량 데이터를 검증 기준이 되는 발전소의 발전량과 비교함으로써, 소수력 자원 잠재량 산정 및 입력데이터의 신뢰성을 검증하고자 한다.

2. 대상 지역 및 분석 방법

2.1 대상지역 및 자료

본 연구에서는 현재 운영되고 있는 하천유역에서의 2015년 기준 총 61개의 소수력 발전소 가운데,²⁵⁾ 한강 유역의 덕송발전소(정선군 소재)와 한석발전소(단양군소재), 그리고, 낙동강 유역의 소천발전소(봉화군 소재)를 선정하였다. 선정 기준으로는 소수력 발전소와 동일 표준유역 내에 강우관측소와 유량관측소가 인접해 있으며, 설비용량이 2000 kW를 초과하고, 안정된 발전소 운영이 보장되는 민간 발전소 가운데^{23,25)}에서 제공하는 15년 이상 관측된 유량자료 또는 발전량을 그 기준으로 하였다. 발전소 인근의 정의는 우리나라 수문지도 3.0을 기준으로 한 850개 표준유역 가운데 동일한 또는 가장 근접한 표준유역권 내의 데이터를 의미한다^{23,24)}. 본 연구에서 사용되는 시계열 자료는 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 본 연구에서 잠재량 산정에 사용되는 실측 유량 시계열 자료를 들 수 있으며, 두 번째는 기존의 방법론들에서 사용한 비유량법에 의한 잠재량을 산정하는데 사용되는 강수량 시계열 자료, 그리고 마지막 세 번째 자료로는 발전소 세 지역의 실 발전량 시계열 자료들이다.

(1) 덕송 소수력 발전소

덕송 소수력 발전소는 용량 2,600 kW의 설비용량을 가지며 1993년 준공이후 현재까지 에너지발전을 하고 있는 소수력 발전소이다. 국토교통부의 국가수자원종합정보시스템 WAMIS(Water Resources Management Information System)에서 제공하는 정선군의 유량 및 강수량 관측소 관련 정보는 Table 1과 같으며, 이 가운데 표본 데이터로 사용하게 되는 유량관측소는 덕송 소수력발전소와 가장 근접한 위치의 정선 제1유량관측소((관측소 No. 1001655)로 지정하고, 강수량 데이터 또한 지역적으로 가장 가까운 정선군2청사 강우관측소의 데이터를 사용하였다.

Table 1 Rainfall and streamflow stations in Jeongseon

Station	Name	Management	Observation Start Date	Address
SmallHydro Power plant	Deoksong SmallHydro Power	Deoksong SmallHydro Power	1993-03	San25, Deoksongri, Jeongseonup, Jeongsongun, Gangwondo
Rainfall Station	JeongseonGun (2 Chungsa)	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	1916-07-01	Noksong4Gil 71, Jeongseonup, Jeongseongun, Gangwondo
Streamflow Station	JeongseonGun (Jeongseon 1 st Bridge)	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	1916-07-01	Jeongson Jaeilgyo, Bongyangri, Jeongseonup, Jeongseongun, Gangwondo

(2) 한석 소수력 발전소

한석 소수력 발전소는 용량 2,214 kW의 설비용량을 가지며 1989년 준공이후 현재까지 에너지발전을 하고 있는 소수력 발전소이다. WAMIS에서 제공하는 단양군의 유량 및 강수량 관측소 관련 정보는 Table 2와 같으며, 이 가운데 표본 데이터로 사용하게 되는 유량관측소는 단양군 내 유일한 덕천교 유량관측소(관측소 No. 1003642)로 지정하고, 강수량 데이터는 단양군 내의 소수력 발전소인 한석 소수력 발전소 및 덕천교 유량관측소와 가장 지역적으로 근접한 강우관측소인 단양군(영춘중교) 강우관측소의 데이터를 사용하였다.

Table 2 Rainfall and streamflow stations in Danyang

Station	Name	Management	Observation start date	Address
SmallHydro power plant	Hanseok SmallHydro Power	Hanseok SmallHydro Power	1989-04	Sajinwon3Gil 10, Youngchunmyun, Danyanggun, Chungcheongbukdo
Rainfall station	Danyang (Youngchun middle school)	Ministry of Land, infrastructure and transport	1962-07-01	105 Ondalpyunggangro, Youngchunmyun, Danyanggun, Chungcheongbukdo
Streamflow station	Youngchun	K-Water	1991	36 Osari, Youngchunmyun, Danyanggun, Chungcheongbukdo

(3) 소천 소수력 발전소

소천 소수력 발전소는 용량 2,400 kW의 설비용량을 가지며 1987년 준공이후 현재까지 에너지발전을 하고

있는 소수력 발전소이다. WAMIS에서 제공하는 관측소 관련 정보는 Table 3과 같으며, 이 가운데 표본 데이터로 사용하는 데이터를 가지는 유량관측소는 2009년까지의 유량측정데이터를 보유하고 있는 소천 유량관측소(관측소 No. 2001630)로 지정하고, 강수량 데이터는 1998년부터 2018년까지의 강수량 관측데이터를 보유하고 있는 봉화 강우관측소(관측소 No.20044110)의 데이터를 사용하였다.

Table 3 Rainfall and streamflow stations in Bongwha

Station	Name	Management	Observation Start Date	Address
SmallHydro power plant	Socheon SmallHydro Power	Hanyeoul Corp.	1987-07	78 Baenadeulgil, Socheonmyun, Bongwhagun, Geongsangbukdo
Rainfall station	Bongwha	Ministry of Land, infrastructure and transport	1998.03	506 Naesungri, Bongwhaup, Bongwhagun, Geongsangbukdo
Streamflow station	Socheon	Ministry of Land, infrastructure and transport	1985-08	Imgiri, Socheonmyun, Bongwhagun, Geongsangbukdo

Table 4는 국토교통부의 국가수자원종합정보시스템인 WAMIS의 수문기상데이터를 바탕으로 하여 작성한 내용이다. 각각의 표들은 정선, 단양, 봉화 세 관측소의 강수량데이터와 관측유량데이터를 바탕으로 작성하였으며, 세 군의 유량 및 강수량 총량의 축적된 데이터량, 각 발전소의 실발전량의 축적에 따라^{23,24)} 2002년부터 2010년까지의 시계열 데이터를 사용하였다.

Table 4 Streamflow station and runoff coefficient in each standard watershed

Streamflow station	Runoff coefficient (C)	River (code)	Standard watershed (Code)	Standard watershed area (km ²)	Cumulative watershed area (km ²)
Jeongseon	0.562	Han River (10)	Jeongseon (100112)	179.67	1,834.72
Danyang	0.562	Han River (10)	Saigokcheon merging point (100306)	128.97	4,898.00
Bongwha	0.568	Nakdong River (20)	Socheon water level table (200103)	140.79	547.17

(수자원단위지도 Ver3.0)

2.2 분석 방법

수력 잠재량을 산정하는 방법은 강수량, 유출계수, 유역면적을 기본 데이터로 하는 Park et al.^{10,11,13,19}이 제안한 유량지속특성 분석 방법을 사용하여 유량데이터를 계산해왔다. 이 방법은 관측소에서 측정된 월 강수량을 월평균 유입량으로 환산하고, 환산된 유량 데이터를 사용하여 소수력 잠재량을 산정한다. 즉, 유출계수(C)가 연중 일정한 데이터를 유지한다는 가정 하에 하천에서의 년 평균 유량(Q, km³)은 년 강수량(R, mm)과 유역면적(A, km²)으로부터 아래 식(1)과 같이 산정된다.

$$Q = \frac{R \times 10^{-3} \times A \times 10^6 \times C}{365 \times 24 \times 60 \times 60} [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1)$$

$$\approx 3.17 \times R \times A \times C \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}]$$

단, R : 연강수량 [mm], A : 유역 면적[km²], C : 유출 계수

다만 유출계수(k)는 수자원장기종합계획(2011~2020)에 따른 대권역별 유출계수를 사용하며,^{4,22} 정선, 단양, 봉화 강우관측소의 강수량 데이터를 입력 데이터로 하여 유량 데이터를 산정하고자 한다. Table 5에 나타난 강수량 데이터를 식(1)의 입력데이터로 사용하여 유량 데이터를 산정 한다. 식(1)에 사용되는 유역면적과 유출계수는 아래 Table 4에 따르며, 식(1)을 사용하여 강수량 데이터를 입력데이터로 산정된 유량 데이터는 Fig. 4와 같다.

소수력 발전 잠재량 산정식은 아래 식 (2)와 같으며, 그 입력 데이터는 유량, 유출계수, 시스템효율과 발전소 가동율을 그 입력데이터로 연간 잠재량을 산정한다.

$$\text{잠재량}(10^3\text{TOE}/\text{년}) = pgQH\eta \times 8,760 \times L_f \times 0.08598 \times 10^{-6} \quad (2)$$

국공립공원 유역 제외

유량 Q

유효낙차 H

시스템 효율 $\eta = 0.8$ 적용

가동율 $L_f = 0.4$ 적용

여기서 시스템 효율 $\eta = 0.8$ 로 적용하고, 가동율 $L_f = 0.4$ 의 상수 데이터를 사용하며, 유출계수는 수자원장기종합계획에 따라 한강과 낙동강의 유출계수를 별도로 적용하였다^{14,19}.

$$\text{발전소 출력} : P_g = 9.8QH \eta_t \eta_g [kW] \quad (3)$$

소수력 발전 잠재량은 식(2)를 사용하여 즉, 강우데이터를 사용한 예측 유량 데이터 및 실측 시계열데이터인 년유량 총량을 년 평균 유량으로 변환한 데이터들을 입력 데이터로 하고, 덕송, 한석, 소천 소수력 발전소에서 적용하는 유효낙차 데이터(Table 5)을 입력데이터로 식(3)을 사용하여 소수력 발전 잠재량을 산정한다. 강우데이터를 사용한 유량 산정 및 일평균유량 산정식 (1)과 (2)를 사용하여 실측 강수량 데이터를 사용하여 유량 데이터, 또는 실측 유량 데이터는 아래 식(2)의 소수력 잠재량 산정식의 입력 데이터로 사용되어 세 지점의 소수력 잠재량을 산정하게 된다.

Table 5는 정선군, 단양군, 봉화군에 소재하는 소수력발전소의 유효낙차와 발전유량, 발전기 용량을 나타낸다. 특히 발전효율은 실제 덕송, 한석, 소천 소수력 발전소의 설비용량대비 발전량을 감안하여 0.4로 고정하였다.

Table 5 SmallHydro Power Plant and Effective Head in each standard watershed

SmallHydro power plant	District	River	Effective Head (m)	Discharge for Power generation (m ³ /s)	Generator capacity (KW)
Deoksong	Jeongseon	Han River	12.5	25.0	2,600
Hanseok	Danyang	Han River	3.8	Avg.3.02/Max.12.7	2,214
Socheon	Bongwha	Nakdong River	22.53	12.51	2,400

3. 시계열 데이터 비교 분석 결과

Figs. 1~3은 2002년~2017년까지 15년 동안 각각 덕송, 한석, 소천소수력발전소가 위치한 정선, 단양, 봉화의 잠재량과 실 발전량의 비교한 결과이다. 각 그림의 파란색, 빨간색, 보라색 실선은 각각 계측 유량 잠재량, 산정유량 잠재량과 발전소의 실 발전량을 나타낸다. 덕송 소수력발전소의 설계용량, 즉 최대 발전량은 22,776 MW이며, 단양군에 위치한 한석 소수력 발전소의 최대 발전량은 19,395 MW이며, 봉화군에 위치한 소천 소수력 발전소의 최대 발전량은 21,024 MW이다. 각각의 실제 연평균 발전량은 6,282, 8,473, 8,761 MWh 정도가 된다. 하지만 덕송의 산정유량 잠재량이 3,841~10,993 MWh, 관측유량잠재량이 1,993~15,636 MWh이며, 한석의 산정유량 잠재량은 2,994~8,619 MWh, 관측유량 잠재량은 2,295~8,140 MWh, 그리고, 소천의 산정유량 잠재량은 1,543~5,084 MWh, 관측유량 잠재량은 2,311~12,748 MWh였고, 평균 산정유량 잠재량은 6,483 MWh, 5,535 MWh, 3,247 MWh, 평균 관측유량 잠재량은 7.042 MWh, 5,658 MWh, 5,988 MWh 정도였다. 정선은 정선 군의 덕송 소수력의 경우 유량데이터를 입력데이터로 한 잠재량은 평균 7% 과대 추정, 산정유량데이터를 입력데이터로 한 잠재량은 평균 21%의 과소 추정으로 나타난다(Table 6). 한석 소수력이 위치한 단양의 경우 유량 잠재량은 평균 33% 과소 추정, 예측 유량 잠재량은 평균 38%의 과소산정으로 나타나고 있다(Table 7). 그리고 봉화군의 소천 소수력의 경우는 예측 유량 잠재량이 평균 61%의 과소 추정을, 유량 잠재량이 평균 20%의 과소 추정됨을 알 수 있다(Table 8). 이는 덕송 소수력발전소의 경우(2005년~2010년), 관측유

량 데이터를 바탕으로 산정한 경우 약 3%포인트 정확하며, 단양 한석발전소는 유량 잠재량이 5%포인트의 적은 오차 범위가, 소천 발전소의 경우는 측정 유량데이터를 바탕으로 산정한 잠재량 데이터가 약 41%포인트 정확하다. 아울러 잠재량 산정을 위한 주요 입력데이터인 유효낙차와 유역면적이 정선군, 봉화군과는 다른 특성을 가진 단양군의 경우를 제외하고는 발전량과 관측유량 잠재량의 데이터의 형태도 유사함을 볼 수 있다.

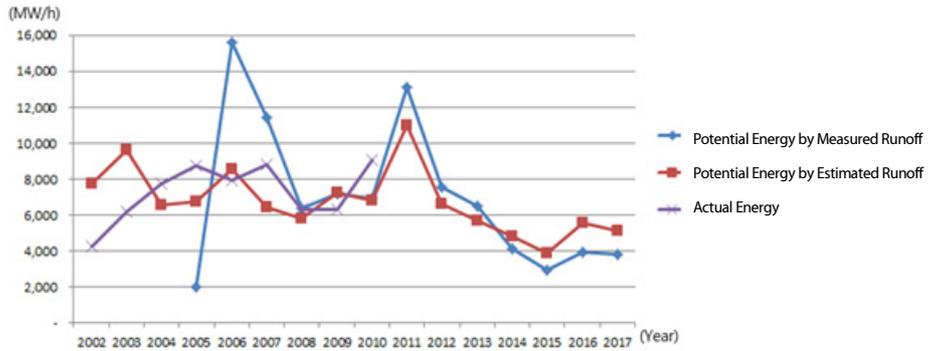


Fig. 1 Comparison of potential and actual generating capacity of Deoksong Power Plant

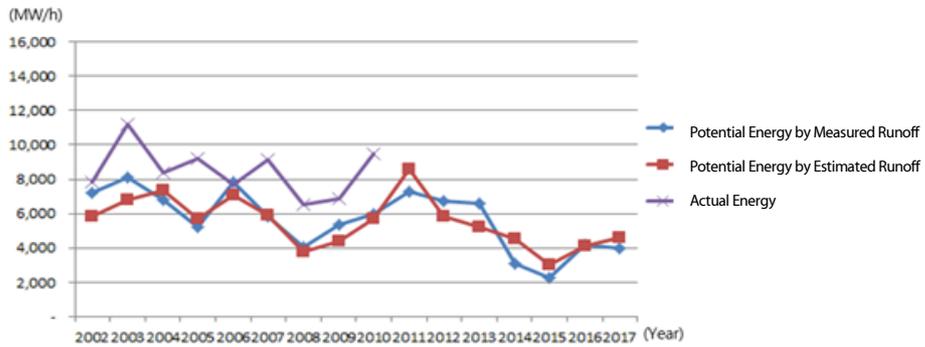


Fig. 2 Comparison of potential and actual generating capacity of Hanseok Power Plant

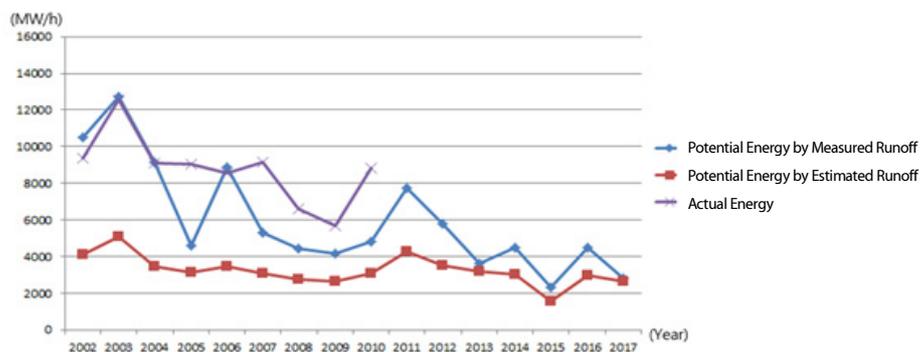


Fig. 3 Comparison of potential and actual generating capacity of Socheon Power Plant

Table 6 Actual and potential powers at Deoksong Power Plant

Year	Actual power (mwh)	Potential power by estimated discharge			Potential power by observed discharge		
		Potential (MWh)	Gap	Error (%)	Potential (MWh)	Gap	Error (%)
2002	4,265	7,726	3,461	(81)			
2003	6,184	9,611	3,427	(55)			
2004	7,742	6,555	1,187	(15)			
2005	8,765	6,756	2,009	(23)	1994	6,771	77
2006	7,905	8,546	641	8	15636	7,731	98
2007	8,826	6,435	2,391	(27)	11419	2,593	29
2008	6,288	5,812	476	(8)	6337	49	1
2009	6,295	7,252	957	15	7206	911	14
2010	9,032	6,809	2,223	25	6956	2,076	23
Total	-	-	-	(10)	-	-	7

Table 7 Actual and potential powers at hanseok power plant

Year	Actual power (MWh)	Potential power by estimated discharge			Potential power by observed discharge		
		Potential (MWh)	Gap	Error (%)	Potential (MWh)	Gap	Error (%)
2002	7,817	5,830	1,987	25	7,232	585	7
2003	11,217	6,831	4,386	39	8,140	3077	27
2004	8,353	7,337	1,016	12	6,816	1537	18
2005	9,199	5,710	3,489	38	5,207	3992	43
2006	7,671	7,096	575	7	7,811	140	2
2007	9,116	5,932	3,184	35	5,852	3264	36
2008	6,523	3,785	2,738	42	4,030	2493	38
2009	6,860	4,376	2,484	36	5,337	1523	22
2010	9,509	5,701	3,808	40	5,963	3546	37
Total	-	-	-	38	-	-	33

Table 8 Actual and potential powers at Socheon Power Plant

Year	Actual power (MWh)	Potential power by estimated discharge			Potential power by observed discharge		
		Potential (MWh)	Gap	Error (%)	Potential (MWh)	Gap	Error(%)
2002	9,385	4,102	5,283	56	10,491	1,106	12
2003	12,557	5,084	7,473	60	12,749	192	2
2004	9,120	3,457	5,663	62	9,142	22	0
2005	9,029	3,144	5,885	65	4,599	4,430	49
2006	8,544	3,448	5,096	60	8,853	309	4
2007	9,159	3,072	6,087	66	5,320	3,839	42
2008	6,599	2,750	3,849	58	4,414	2,185	33
2009	5,656	2,669	2,987	53	4,139	1,517	27
2010	8,804	3,097	5,707	65	4,828	3,976	45
Total	-	-	-	61	-	-	20

Fig. 4에서는 정선, 단양, 봉화 유량 관측소의 경우 시계열로 산정된 산정유량과 실제측 유량을, Figs. 1, 2, 3에서는 각각의 유량값을 바탕으로 하는 잠재량의 차이에 대한 시계열의 형태를 볼 수 있다. 각 시계열 데이터에서 보여주는 기간은 [15][16]에서 제공하는 시계열 데이터에 따라 그 기간이 상이하며, 이는 비록 소수력 발전소의

실 발전량 자료가 2010년까지 제공되어 그 이후 년도를 비교하기는 어려우나, 세 지점의 년 평균 유량과 강우 시계열의 형태를 비교하여보면, 유량과 강수량의 형태가 유사하나, 지표수로 흘러가는 강우 시계열의 형태가 유량 시계열의 형태에 비해 경사각을 갖는 것으로 보여진다. 이는 하천에 머무는 유량의 형태와 지표수를 포함하는 강우량의 자연스러운 형태의 변이를 보여주는 것이며, 그에 따른 잠재량의 형태에도 영향이 미침을 알 수 있다. 덕송 소수력의 경우에는 2006년의 경우, 실제 관측유량이 산정유량보다 19포인트 높아 실발전량과의 차이가 심한 형태를 보여주고 있으나, 평균 정확도는 3포인트 높다. 한석의 경우는 유량시계열의 비교 형태와 잠

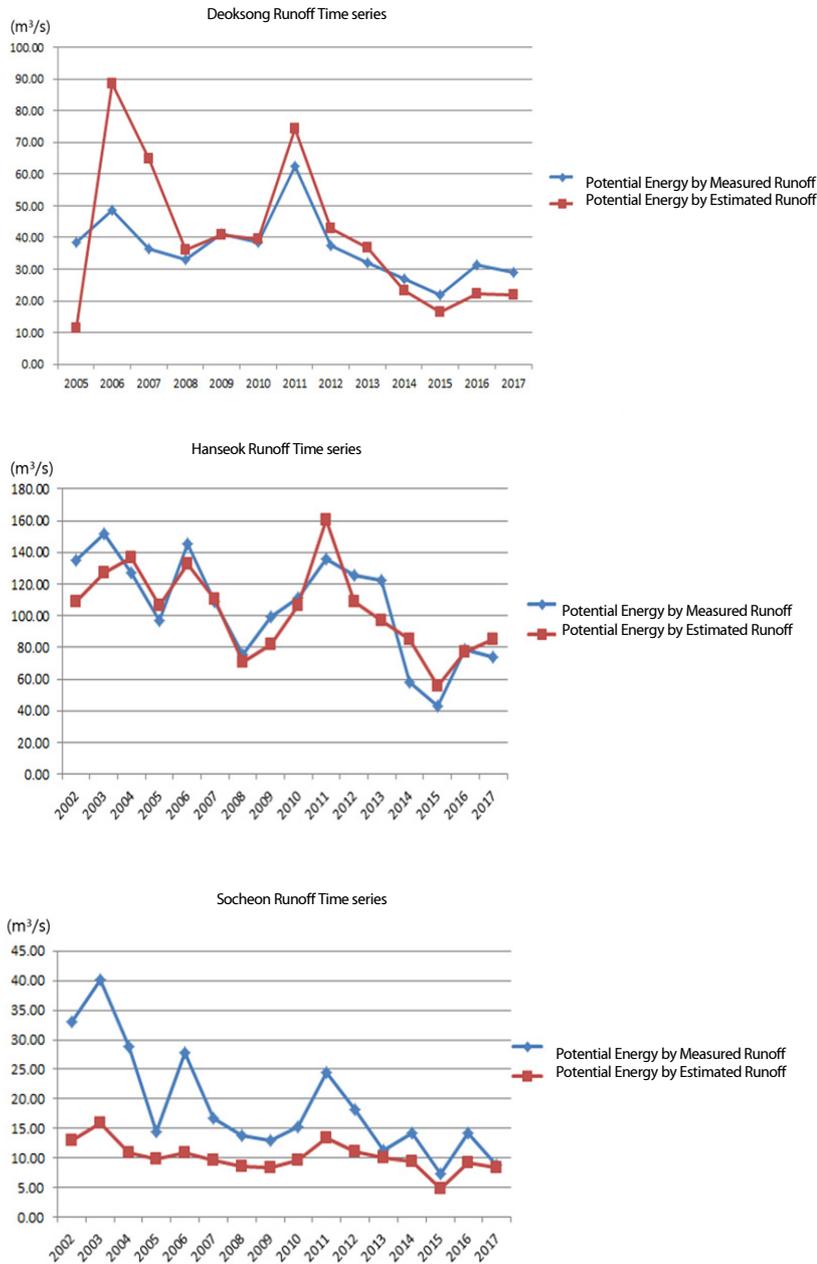


Fig. 4 Observed and estimated discharges at each station

재량 발전량의 형태가 매우 유사하여 산정유량이 관측유량에 비해 1포인트 낮음을 보여준다. 그러나, 한석의 경우도 관측유량을 사용하여 산정된 잠재량이 5포인트 높은 정확도를 보인다. 소천의 경우 강우량을 바탕으로 한 예측 유량이 실 관측유량 값에 비하여 평균 39%나 과소 산정됨을 보여준다. 이는 Table 4에서 보여지듯 소천의 유역면적이 다른 두 지역에 비해 현저히 적은 지역으로, 지표수를 포함하는 강우량과 하천 유지유량 간의 차이를 포함하는 것으로 보여진다. 소천소수력의 경우는 덕송, 한석 발전소와는 달리 관측유량을 사용한 잠재량 값이 산정유량에 비해 무려 40%포인트나 정확성을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 연구들에서 사용하는 강수량 계측 데이터를 사용하여, 유입유량을 산정해 내는 예측 유량 데이터를 사용하여, 유출량 특성을 분석하고, 예측 유량데이터를 입력데이터로 하여 잠재 발전량을 산정하였다. 그리고 실측 유량 데이터를 활용한 장기 유출량 특성을 분석하고, 유량 데이터를 입력 데이터로 하여 잠재 발전량의 산정 결과를 비교 분석하였다. 강수량과 유량, 두 가지 입력 데이터로 각각 산정된 잠재량과 덕송, 한석, 소천 소수력 발전소의 발전량을 도식화하여 그 형태를 비교하고, 각 잠재량과 발전량의 오차범위를 계산하여 입력 데이터에 따른 정확도를 비교 분석한 결과, 측정 유량 데이터를 입력데이터로 하여 잠재량을 산정하는 경우가 강수량 데이터를 입력 데이터로 산정한 소수력 에너지 잠재량에 비하여 평균 30%포인트 발전량에 가까운 편차를 보였다. 잠재 소수력 에너지 발전량은 강수량을 활용한 것보다 관측유량의 결과보다 상대적으로 발전량에 최고 약 40%포인트 근접 추정함을 확인하였다. 이에 본 연구 결과를 토대로 표준유역별 측정 유량 시계열 데이터 기반의 소수력에너지 잠재량을 산정함으로써 지형적 특성을 고려한 청정에너지인 수력 자원의 활용 가능성 분석에 매우 중요성이 높다고 할 수 있다. 또한 아직까지는 관측유량의 시계열 데이터가 풍족하지 않으나, 유량데이터가 축적되어지는 향후에는 보다 정확한 발전량 산정이 가능할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 2018년도 한국에너지기술연구원이 주요사업(B8-2424-02)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

REFERENCES

1. Ministry of Trade, Industry and Energy and Korea EnergyAgency, 2016, New & Renewable Energy White Paper, pp. 777, 2016.
2. Park, W., and Lee, C., Estimation Method of Small Hydro Power Potential Using a Resource Map, Proceeding of the Korean Solar Energy Society, pp. 322-326, 2008.
3. Park, N., Park, S., Choi, D., Kim, H., and Kang, Y., Business Model of Renewable Energy Resource Energy Resource Map, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 36, No. 1, pp. 39-47, 2016.

4. Razan, J. I. , Islam, R. S., Hasan, R., Hasan, S., and Islam, F., A Comprehensive Study of Micro-Hydropower Plant and Its Potential in Bangladesh, *ISRN Renewable Energy*, 2012.10.5402/2012/635396.
5. Singh, V. K., and Singal, S. K., Operation of Hydropower Plants-A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp. 610-619, 2017.
6. Manzano-Agualiaro, F., Taher, M., Zapata-Sierra, A., Juaidi, A., and Montoya, F. G., An Overview of Research and Energy Evolution for Small Hydropower in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 75, pp. 476-486, 2017.
7. Adhau, S. P., Moharil, R. M., and Adhau, P. G., Mini-hydropower Generation on Existing Irrigation Projects: Case Study of Indian States, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 7, pp. 4785-4795, 2012.
8. Larentis, D. G., Collischonn, W., Olivera, F., and Tucci, C. E. M., Gis-based Procedures for Hydropower Potential Spotting, *Energy*, Vol. 35, No. 10, pp. 4237-4243, 2010.
9. Yu., I. S., Kim, H. Y., and Jeong, S. M., Estimation of Annual Small Hydro-power of Standard Basin in Korea, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 6, pp. 473-481, 2017.
10. Park, W., and Lee, C., Analysis of Small Hydropower Resource Characteristics for Nakdong River System, *Journal of Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No. 6, pp. 68-75, 2012.
11. Park, W., and Lee, C., Analysis on Design Parameters of Small Hydropower Sites with Rainfall Conditions, *Journal of Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No. 4, pp. 59-64, 2012.
12. Kim, K., Yi, C., Lee, J., and Shim, M., Framework for Optimum Scale Determination for Small Hydropower Development Using Economic Analysis, *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 2007, No. 10, pp. 3367-3370, 2007.
13. Park, J., Park, C., Lee, W., and Kim, J., A Study on Analyzing Efficiency of Small Hydropower Plant, *Proceeding of Korean Society of Civil engineering*, pp. 1989-1992, 2010.
14. Cho, T., Kim, and Y., Lee, K., Improving Low Flow Estimation for Ungauged Basins in Korea, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 36, No. 1, pp. 39-47, 2016.
15. Kim, G. H., Yi, C. S., Yeo, G. D., and Shim, M. P., Priority Decision of Small Hydropower Development using Spatial Multi-Criteria Decision Making, *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 12, pp. 1029-1038, 2009.
16. Noyes, R., *Small and Micro Hydro Electric Power Plants; Technology and Feasibility*, *Energy Technology Review* No. 60, Noyes Data Corporation, U.S.A., 1980.
17. Park, W., and Lee, C., The Effects of Design Parameters for Small Scale Hydro Power Plant with Rainfall Condition, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 28, No. 1, pp. 43-49, 2008.
18. Yi, C. S., Kim, G. H., Lee, J. H., and Shim, M. P., Location Analysis for Developing Small Hydropower Using Geo-Spatial Information System, *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 12, pp. 985-994, 2007.
19. Huh, C., Hydrological Survey Advancement Five-Year Plan, *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 5, pp. 16-22, 2005.
20. Roh, Y., Kim, C., and Cha, J., Hydrological Survey Advancement through Construction and Operation of Automatic Flow Measurement Facility, *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 8, pp. 37-45, 2008.
21. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Report on Establishment of Hydrological Basic Plan(2010~2019).
22. International Renewable Energy Agency(IRENA), <http://www.irena.org/>
23. Water Resources Management Information System, <http://wamis.go.kr/eng/main.aspx#>
24. Korea Power Exchange, <http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/>
25. Han River Flood Control Office, http://www.hrfco.go.kr/eng/eng_main.do