



[2018-9-HP-002]

격자형 지표유출모형을 이용한 전국 중권역 단위 소수력잠재량 산정

김진겸¹⁾ · 손호영¹⁾ · 김진영²⁾ · 윤창열²⁾ · 김현구²⁾ · 강용혁²⁾ · 강부식^{1)*}

Estimation of Nationwide Mid-sized Basin Unit Small Hydropower Potential Using Grid-based Surface Runoff Model

Jin-gyeom Kim¹⁾ · Hoyoung Sun¹⁾ · Jinyoung Kim²⁾ · Changyeol Yun²⁾ · Hyun-goo Kim²⁾ ·
Yongheack Kang²⁾ · Boosik Kang^{1)*}

Received 5 June 2018 Revised 26 July 2018 Accepted 31 July 2018

ABSTRACT The nationwide mid-sized basin unit technical small hydropower potential is estimated using the gridded flow accumulative model using the digital elevation model has 30 m resolution and the areal rainfall in the basins. The rainfall data was reconstructed to the same resolution of the digital elevation model using 10 years averaged rainfall data of mid-sized basins. The effective head, which is considered to be the main factor of the small hydropower potential, was estimated from virtual reservoir ($V=100,000 \text{ m}^3$, $A=150 \text{ m} \times 150 \text{ m}$) concept based on the digital elevation model. The distribution of small hydropower potentials in mid-sized basins was derived considering the maximum value at the basin outlet for each grid. As a result, the small hydropower potential is largely effected by the surface runoff compared to the differential head by the topography. It shows that a sufficient and stable supply of river discharge is required for the site selection of small hydroelectric power plants.

Key words Hydropower estimation(수력에너지 산정), Small hydropower potential(수력잠재량), Grid-based runoff model(격자 기반 유출모형), Flow accumulation model(흐름누적모형)

Nomenclature

P_{geo} : Geographical small hydropower potential, W
 P_{tech} : Technical small hydropower potential, W
 γ : Unit weight of water, N/m^3
 Q : Surface runoff, m^3/s

ΔH : Effective head of virtual reservoir, m

η_T : Generator efficiency, %

η_O : Operation efficiency, %

subscript

DEM : digital elevation model

PRMS : precipitation runoff modeling system

1) Department of Civil and Environmental Engineering, Dankook University

2) Korea Institute of Energy Research

*Corresponding author: bskang@dankook.ac.kr

Tel: +82-31-8005-3471 Fax: +82-31-8021-7213

1. 서론

화석연료의 고갈과 지구온난화로 인하여 온실가스 감축을 위한 신재생에너지의 중요성이 커지고 있다. 특히 대한민국의 에너지 생산은 해외 의존도가 높아 부존에너지를 활용하여 안정적인 에너지 수급과 온실가스 감축을 위한 노력을 기울여야한다(경남호 등, 2003^[1]; 박완순과 이철형, 2004^[2]; 이재승, 2009^[3]; 황병용 등, 2010^[4]). 화석연료와 같은 다른 신재생 에너지에 비해 수력에너지는 지구온난화의 주요 원인인 이산화탄소의 발생량이 매우 적다는 장점이 있으며(Edenhofer et al., 2011)^[5], Bartle(2002)^[6]은 미래 에너지를 제공할 수 있는 가장 큰 능력을 가진 자원으로 수력발전을 지목한 바 있다. 그러나 대규모의 수력발전은 댐 건설로 인한 환경문제가 발생할 가능성이 있어, 이에 대한 현실적인 대안으로 소수력발전이 대두되고 있다(Paish, 2002)^[7]. 한국에너지공단에서는 10,000kW 이하의 수력발전을 소수력발전으로 정의하고 있으며, 대한민국은 산간 지형이 많은 지리적 이점이 있어 수력발전 개발 여건이 우수한 편이다(이경배 등, 2017)^[8].

수력잠재량은 수력발전량의 최대치를 나타내는 것으로 이론적, 지리적, 기술적, 시장 잠재량으로 나눌 수 있다(신재생에너지백서, 2016)^[9]. 이론적 잠재량은 유역에 내린 강우가 발생할 수 있는 에너지 총량을 말하며, 지리적 잠재량은 지리적 특성에 따른 유출로부터 생산할 수 있는 에너지이다. 기술적 잠재량은 지리적 잠재량에 발전기 터빈 효율과 운영률을 고려한 잠재량이며, 마지막으로 시장 잠재량은 기술적 잠재량에서 4대강 본류 유역, 해안 인근 및 도시 유역 등 지리적 제외요인을 포함한 환경적, 경제적 제약요인을 제외한 잠재량이다.

이충성 등(2007)^[10]은 수력 자원조사를 위한 낙차, 저류용량, 보상면적, 환경을 대상으로 평가점수를 부여함으로써 입지요인들에 대해 정량화, 지수화하여 입지분석에 대한 새로운 기준을 제시하였다. 김길호 등(2007)^[11]은 적지 분석 과정에서 경제성분석을 통해 소수력발전소의 최적규모를 산정하여 소수력잠재량의 부존량을 확인하였다. 표민태 등(2013)^[12]은 댐 운영방안을 검토하여 무효방류량을 줄여 발전용량을 증가시킬 수 있는 수력잠재량에 부합하는 적정수위를 제시하였다. 신재생에너지백서(2016)^[9]에서는 국

내외 수력발전의 현황을 조사하고, 대한민국의 표준유역별 수력잠재량을 산정하였다. 국외의 경우, 기후변화 시나리오를 활용하여 유량의 변화에 따른 미래 수력발전량의 변화를 나타낸 결과가 활발하게 이루어졌다(Lehner et al., 2005^[13]; Graham et al., 2007^[14]; Vicuna et al., 2008^[15]; Hamududu and Kilingtveit, 2012)^[16]. Kusre(2010)^[17]는 SWAT모형을 활용하여 수력잠재량을 산정하고 이산화탄소 배출의 감소량을 확인하였다. Kosnik(2010)^[18]은 에너지 공급에 큰 영향을 주진 않지만, 비용 측면에서 효율적인 수력발전소의 지점을 결정하였다. Fitzgerald et al. (2012)^[19]은 수력발전이 이뤄지지 않는 기존 댐 중 발전가능성을 판단하여 이론적 수력잠재량을 산정하였다. Feizizadeh and Haslauer(2012)^[20]는 중심격자와 주변격자와의 표고차이로 유효낙차를 결정하고, 흐름방향에 따른 유량을 산정하여 격자단위의 지리적 수력잠재량을 산정하였다.

수력에너지 잠재량을 산정하는데 있어 위치에너지가 중요한 인자로서 작용하는데 단순히 지형의 절대 표고만을 고려할 경우 계산과정은 단순하지만 에너지의 과다산정으로 이어질 우려가 있으며, 인접지형의 표고차이를 이용할 경우 소규모 저수지에 대한 규모가 반영되지 않아 에너지의 과다산정이 우려된다. 이에 본 연구에서는 대한민국 전역을 대상으로 가상저수지를 설정하여 댐식 소수력잠재량을 제시하였다. 가상저수지는 30m 해상도의 수치표고모형(DEM; Digital Elevation Model)을 활용하여 격자별 유효낙차를 산정하고, 강우와 유출률을 이용한 지표유출량으로부터 격자기반 기술적 소수력잠재량을 산정하였다. 또한, 격자형태의 결과를 중권역 단위로 환산하여 대한민국의 기술적 소수력잠재량의 공간분포를 확인하였다.

2. 연구방법 및 이론

소수력잠재량은 총강우 또는 지표유출량과 유효낙차를 주요인자로 계산된다. 본 연구에서는 지표유출량을 활용한 지리적 소수력잠재량에 발전기 터빈 효율과 운영률을 적용하여 기술적 소수력잠재량을 산정하였으며, 자세한 산정절차는 Fig. 1과 같다.

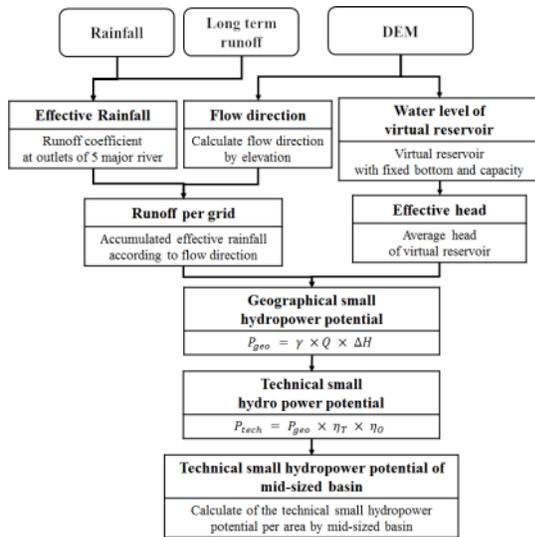


Fig. 1. Flow chart for estimation of small hydropower potential

2.1 가상저수지를 통한 격자기반 유효낙차

유효낙차는 소수력잠재량 산정에 절대적인 영향을 미치는 주요인자로서 이를 산정하는 과정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 지리적 특성을 반영한 댐식 소수력발전 잠재량을 산정하고자 30m 해상도의 수치표고모형을 활용하였다. 여기서 일정규모의 수표면적과 저수지용적을 갖는 육면체의 가상저수지를 통해 각 격자의 유효낙차를 산정하였다 (Fig. 2).

유효낙차를 산정하기 위해 수치표고모형에서 저수지 설치 격자를 중심으로 지정된 수표면적 내에서 미리 지정된 가상저수지의 용량을 만족할 때의 수위를 가상저수지의 최대수위로 결정하였다. 이렇게 산정된 최대수위와 바닥면적

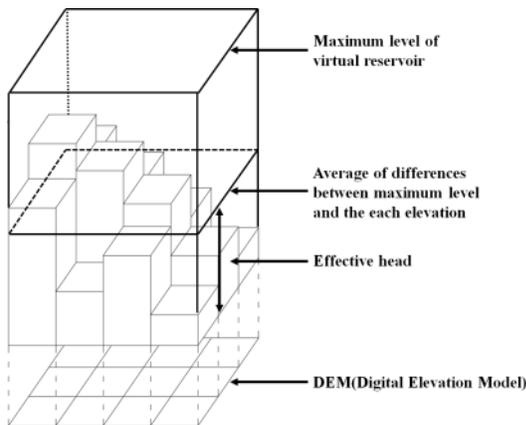


Fig. 2. Conceptual diagram for grid-based effective head

으로 분류된 표고들과의 차이를 산정하고 평균하여 유효낙차로 결정하였다.

2.2 유출율을 통한 지표유출량

국내 용수공급 특성상, 농업 및 공업용수 등의 수량은 유역 내 하천에서 복잡하게 산정되기 때문에 사용 및 회귀수량 등 정량적 물 수지 요소를 고려한 자연유출량을 추정하는 것은 실질적으로 불가능하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 증발, 침투 등의 수문학적 손실을 추정하기 위해 총강우량 대비 총유출량의 비율인 유출률을 권역별로 산정하고, 권역 내 격자에 동일하게 적용하여 유효강우량을 산정하였다.

강우는 지표면으로 낙하한 뒤, 고지대에서 저지대로 흐르는 방향에 따라 누적되는 물리적 특성을 지니고 있다. 이러한 강우의 물리적 특성을 반영하기 위하여 특정격자와 인접한 8개의 격자의 표고차이를 고려하여 가장 높은 표고차이를 가지는 방향으로 흐름방향을 결정하고 격자별 흐름방향을 누적한 흐름누적도를 산정하였다(Fig. 3). 이후 격자별 유효강우량을 이용하여 인접격자로부터의 유입량과 해당격자의 유출량을 더하여 격자별 누적 지표유출량을 산정하였다.

2.3 소수력잠재량

소수력잠재량을 구성하는 주요인자인 유효낙차는 가상저수지로부터 산정할 수 있으며 격자별 지표유출량은 유효강우를 흐름방향으로 누적하여 산정할 수 있다. 지리적 소수력잠재량의 계산 Eq. (1)과 같으며, 기술적 소수력잠재량은 지리적잠재량에 발전기의 터빈 효율과 운영률을 적용하여 Eq. (2)와 같이 산정할 수 있다.

$$P_{geo} = \gamma \times Q \times \Delta H \tag{1}$$

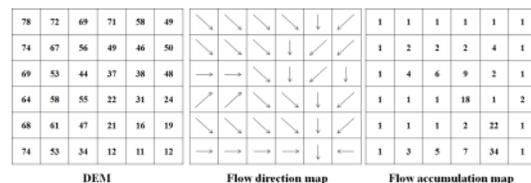


Fig. 3. Flow direction using grid based elevation

$$P_{tech} = P_{geo} \times \eta_T \times \eta_O \quad (2)$$

여기서 P_{geo} 는 지리적 소수력잠재량(W), P_{tech} 는 기술적 소수력잠재량, γ 는 물의 단위중량(=9800N/m³), Q 는 지표면 유출량(m³/s), ΔH = 가상저수지의 유효낙차(m), η_T = 발전기 터빈 효율(%), η_O = 운영률(%).이다.

3. 대상지역 및 자료

본 연구에서는 대부분이 투수성 지반으로 이루어진 제주도를 제외한 대한민국 전체를 대상으로 하였다. 유효낙차 산정을 위한 지형자료는 국토지리정보원에서 제공하는 30m 해상도의, 10,667 × 16,001개의 격자로 구성되어있는 수치표고모형을 활용하였다. 강우 및 지표유출량자료는 국가수자원 관리 종합시스템에서 제공하는 10개년의(2005~2014년) 중권역 단위 면적강우량 및 장기유출량자료를 수집하여 활용하였다. 장기유출량자료는 Precipitation Runoff

Modeling System(PRMS) 모형의 결과로서 배후지가 제외된 해당 중권역 출구에서의 유출량이다. 중권역별 장기 유출량은 유출율을 이용해 산정된 중권역의 유효강우량을 검증하는데 활용되었다. 강우 및 장기유출량자료는 격자단위 계산을 위해 수치표고모형과 같은 30m 해상도의 격자로 변환하였다. Fig. 4는 가용자료의 전국적 분포를 나타내며, Table 1은 DEM과 중권역 단위의 10년 평균 강우량 및 장기유출 자료의 기본통계이다.

4. 소수력잠재량 산정 결과

4.1 유효낙차 산정

유효낙차 산정을 위해 가상저수지는 수표면적을 이루는 격자의 범위는 150m×150m, 저수용량은 100,000m³으로 지정하였다. Fig. 5는 가상저수지로부터 산정된 격자기반의 유효낙차 히스토그램이다.

수치표고모형을 이용한 유효낙차 산정법은 저수지를 이루는 격자 중 이상 표고값이 포함되어 있을 경우, 비정상적인 유효낙차 결과를 얻을 가능성이 있다. 한국에너지공단은 소수력발전 낙차범위를 2~20m로 제시하고 있다(김지동, 2003)^[21]. 20m를 초과하는 유효낙차는 20m로 보정하였으며, 전체 격자대비 약 0.07%의 유효낙차가 보정되었다. 이와 같은 방법으로 산정된 격자기반 유효낙차의 전국적인 분포는 Fig. 6과 같으며, 산간지역에서는 상대적으로 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Basic Statistics for data distribution in mid-watershed

	Average	Max.	Min.
DEM(m)	256	1,897	0
Averaged Rainfall (mm/year)	1,292	1,823	955
Averaged Runoff (MCM*/year)	701	2,767	48

* MCM: Million cubic meter

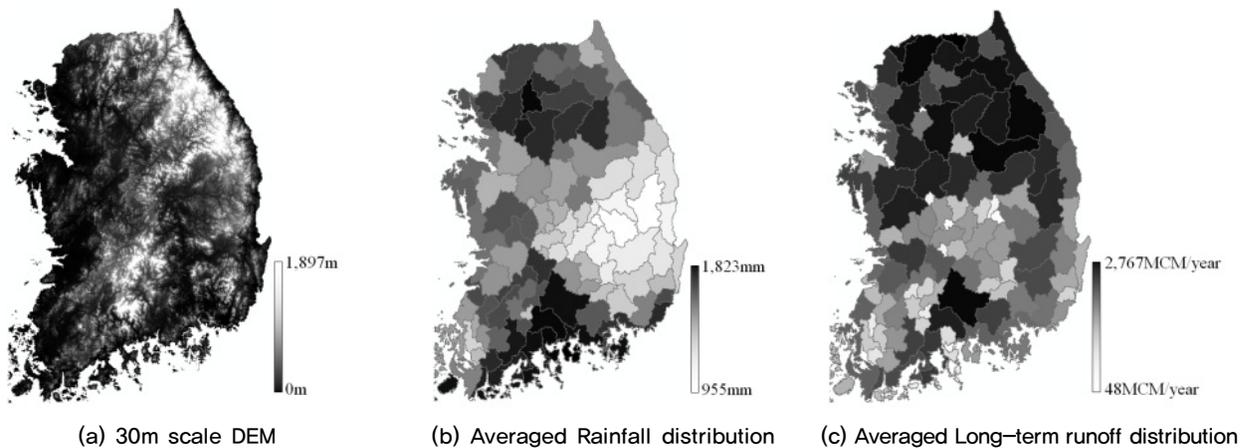


Fig. 4. Study area and data distribution in mid-watershed

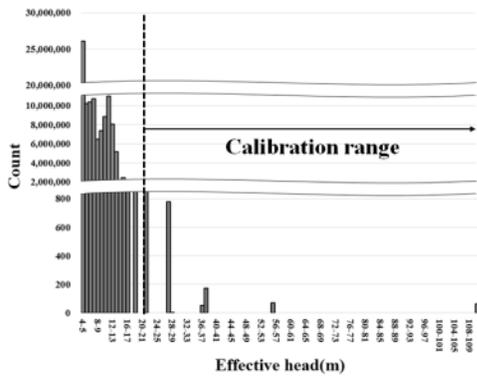


Fig. 5. Histogram of effective head

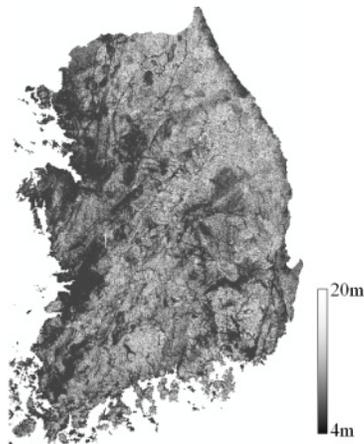


Fig. 6. Result of effective head in South Korea

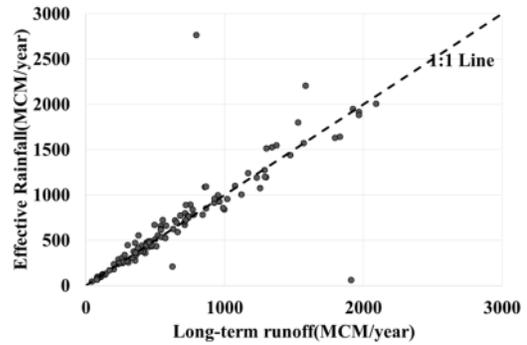


Fig. 7. Scatter plot of effective rainfall and long-term runoff in mid-sized watershed

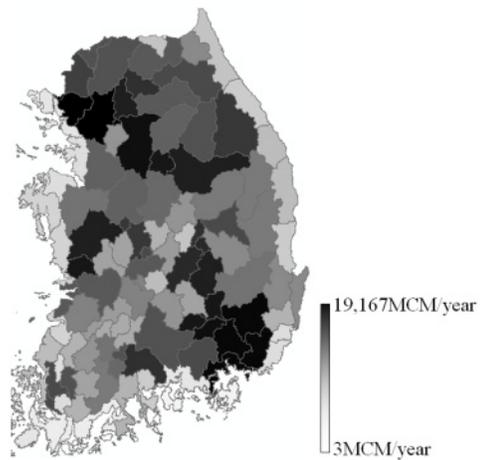


Fig. 8. Distribution of effective surface runoff in mid-sized watershed

4.2 지표유출량 산정

격자단위 지표유출량은 5개 대권역별 유출률을 통해 산정된 유효강우량 격자형태로 재구성하고 흐름방향으로 누적하여 산정하였다. 대권역별 유출률은 Table 2와 같다.

5대 대권역에서의 유출률은 평균적으로 55%, 섬진강 권역에서 최대 63.9%, 낙동강 권역에서 최소 51.9%로 나타났다. 대권역별 유출률을 통해 산정된 중권역별 유효강우량은 해당지역의 장기유출량과의 산포도와 통계적 평가지수를 통해 검증하였다. 중권역별 유효강우량과 장기유출량

Table 2. Runoff coefficient of large-sized watershed

Watershed	Runoff coefficient	Watershed	Runoff coefficient
Han River	0.624	Geum River	0.524
Nakdong River	0.458	Seomjin River	0.629
		Nakdong River	0.458

Table 3. Evaluation index of effective rainfall and long-term runoff

R ²	RMSE (MCM/year)	PBIAS (%)
0.73	276.80	2.78

의 산포도는 Fig. 7에 나타내었으며, 중권역별 유효강우량과 장기유출량의 관계가 1:1 관계에 근접하는 것을 확인할 수 있다. 통계적 평가지수는 R², RMSE, PBIAS을 이용하여 Table 3에 제시하였으며, 중권역별 유효강우량 산정 결과가 타당하다고 판단된다. 또한 중권역 출구에서의 지표유출량의 전국적인 분포를 나타내었다(Fig. 8).

4.3 기술적 소수력잠재량 산정

지표유출량과 유효낙차로부터 지리적 소수력잠재량을 산정하고, 발전기 터빈 효율과 운영률을 적용하여 기술적 소

수력잠재량을 산정하였다. 본 연구에서는 발전기 터빈 효율은 80%, 운영률은 40%로 가정하였다.

기술적 소수력잠재량은 전국단위의 수많은 격자로 산출되므로 공간적인 분포를 한눈에 알아보기 어렵다. 소수력잠재량의 공간적 분포를 파악하기 위해 중권역 단위의 기술적 소수력잠재량의 대푯값을 산정하였다. 중권역 내 격자단위의 결과를 단순 합산하는 것은 기 누적된 지표유출량을 한번 더 합산하게 되므로 과대산정의 우려가 있다. 이러한 이유로 중권역 내 기술적 소수력잠재량의 대푯값은 중권역 출구에서 발생하는 최대 누적유량에 의한 발전량으로 결정하였다(Fig. 9, Table 4).

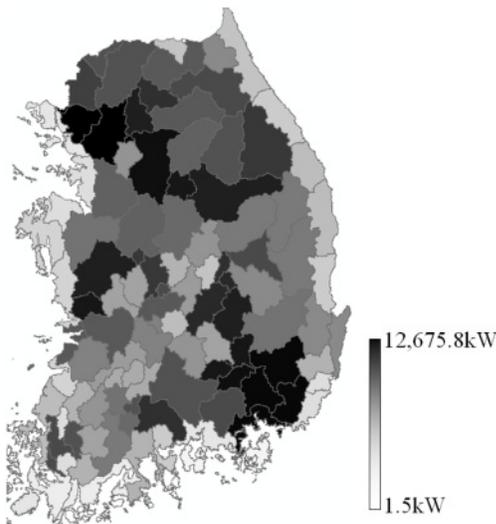


Fig. 9. Distribution of technical small hydropower potential in mid-sized watershed

중권역 단위 기술적 소수력잠재량은 평균 1,412.2kW, 최댓값은 12,675.8kW(한강서울유역), 최솟값은 1.5kW(신안군유역)로 나타났다. 중권역별 기술적 소수력잠재량의 전국 분포도(Fig. 9)를 보면, 우리나라의 주요 5개 권역인 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강의 본류에 위치한 중권역에서 높은 값이 나타나며, 하류로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있다. 중권역별 지표유출량(Fig. 8)의 분포와 기술적 소수력잠재량의 분포가 유사하게 나타났다.

강원도와 같이 행정구역의 대부분이 산지로 이루어진 지역은 유효낙차가 크더라도 지표유출량이 작기 때문에 기술적 소수력잠재량 또한 작게 산정된다. 이를 통해 기술적 소수력잠재량은 지형인자인 유효낙차에 비해 지표유출량의 영향이 지배적으로 작용한다고 판단할 수 있다.

5. 결론

탄소배출 감소를 위해 신재생에너지가 각광받는 시점에서 투자 우선순위를 결정하기 위하여 수력, 풍력, 바이오매스 등의 신재생에너지원 전력 잠재량 예측이 필요하다. 신재생에너지 중에서도 소수력은 설치비용과 환경문제의 영향이 저조하며 다른 신재생에너지에 비하여 기저부하 발전에 이점이 있다.

본 연구에서는 소수력발전 방식을 댐식으로 가정하여 우리나라의 기술적 소수력잠재량을 산정하고 공간적 분포를 확인하고자 하였다. 산정된 기술적 소수력잠재량은 지표유

Table 4. Statistics of technical small hydropower potential in mid-sized watershed

Category (Counts)	Small hydropower Potential (kW)	Max (kW)	Min (kW)
Total watershed (112)	1,412.2 ±446.6	12,675.8 (Han River-seoul)	1.5 (Sinan-gun)
Watersheds in Han River (29)	2,761.6 ±1370.2	12,675.8 (Han River-seoul)	7.1 (Geumgangsan dam)
Watersheds in Nakdong River (33)	1,532.1 ±689.3	7,256.6 (Nakdong River-Milyang)	11.0 (Namhae island)
Watersheds in Geum River (21)	815.0 ±411.2	3,310.0 (Geum river-estuary weir)	59.0 (Daeho Tide Embankment)
Watersheds in Seomjin River (15)	423.7 ±293.7	2,188.1 (Seomjin river-downstream)	4.1 (Geumsan-myeon)
Watersheds in Yeongsan River (14)	289.0 ±189.7	1,059.1 (Yeongsan River-estuary)	1.5 (Sinan-gun)

출량과 유사한 분포를 보였다. 소수력잠재량의 주요인자로 유효낙차와 지표유출량 두 가지로 꼽을 수 있지만, 유효낙차는 최대 20m로 제한되어 있기 때문에 지표유출량에 비하여 소수력잠재량에 기여하는 영향이 덜하다고 판단할 수 있다. 이 결과는 소수력잠재량의 부지선정 과정에서 높은 유효낙차를 보이는 지리적요건 보다는 지속가능하며 풍부한 지표유출량이 발생하는 지점이 우선시 되어야 한다는 것을 알 수 있다.

하지만 본 연구에서는 과거 10년의 평균 강우자료를 사용했기 때문에 지역별 편차가 큰 국지적 특성의 기후가 나타나는 현재의 문제점이 반영되지 않았다. 유효강우 산정을 위한 유출률 산정 과정에서도 권역별 최하단 출구에 위치한 수위관측소의 관측 신뢰도가 떨어져 차선택으로 PRMS모델 결과를 사용하였다. 현재 기후추세의 반영 및 관측자료의 신뢰성 확보를 통해 소수력잠재량의 현실적인 값을 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 소수력의 방식은 댐식, 수로식, 터널식으로 나뉘는데, 본 연구에서는 댐식 발전으로만 가정하였기 때문에 발전방식 별 소수력 잠재량 산정 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 산정된 기술적 소수력잠재량 결과는 도심지 등 개발제한 및 불가지역을 배제하지 않았기 때문에 실제 발전량 및 잠재량과 다소 차이가 나타날 수 있다. 향후, 제한지역을 제외한 시장 소수력잠재량 산정에 관한 연구가 이루어진다면 현실적인 소수력 잠재량과 개발가능 지역 선정에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

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

References

[1] Kyong, N.H., Yoon, J.E., Jang, M.S., Jang, D.S., 2003, "An Assessment of Offshore Wind Energy Resources

around Korean Peninsula", Journal of the Korean Solar Energy Society, 23(2), 35-41.

- [2] Park, W.S., Lee, C.H., 2004, "[집중기획: 대체 에너지] 소수력 기술개발 및 보급 추진 현황", The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 33(10), 50-58.
- [3] Lee, J.S., 2009, "A Review of Korea's Energy Paradigm : Overseas Resource Development and Green Growth", Journal of international Politics, 14(1), 5-31.
- [4] Hwang, B.Y., Choi, H.L., Ahn, N.S., 2010, "A Research on the Prospect for the Future Energy Society in Korea: Focused on the Complementary Analysis of AHP and Causal Loop Diagram", Korean System Dynamics Society, 11(3), 61-86.
- [5] Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlöme S., Stechow C., 2011, "IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation", Prepared By Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- [6] Bartle, A., 2002, "Hydropower potential and development activities", Energy policy, 30(14), 1231-1239.
- [7] Paish, O., 2002, "Small hydro power: technology and current status", Renewable and sustainable energy reviews, 6(6), 537-556.
- [8] Lee, G.B., Lee, N.G., Hong, J.J., Kim, H.G., Byun, D.G., 2017, "A Study for Vitalization Alternative to Develop Small Scale Hydropower", 2017 The Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 1067-1068.
- [9] New-Renewable Energy Center in the Korea Energy Management Corporation, 2016, "2016 NEW & RENEWABLE ENERGY WHITE PAPER", Ministry of Trade, Industry and Energy
- [10] Yi, C.S., Kim, K.H., Lee, J.H., Shim, M.P., 2007, "Location Analysis for Developing Small Hydropower Using Geo-Spatial Information System", Journal of Korea Water Resources Association, 40(12), 985-994.
- [11] Kim, K.H., Yi, C.S., Lee, J.H., Shim, M.P., 2007, "Framework for Optimum Scale Determination for Small Hydropower Development Using Economic Analysis", Journal of Korea Water Resource Association, 40(12),

- 995-1005.
- [12] Pyo, M.T., Min, H.J., Cho, H.J., Cho, S.K., Lee, S.N., Kim, H.J., Park, H.J., 2013, “Analysis about the ideal operating water level and small hydroelectric power capacity using hydrologic analysis of Hapcheon reservoir dam”, 2013 The Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 1175-1176.
- [13] Lehner, B., Czisch, G., Vassolo, S., 2005, “The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis”, *Energy Policy*, 33(7), 839-855.
- [14] Graham, L. P., Andréasson, J., Carlsson, B., 2007, “Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods—a case study on the Lule River basin”, *Climatic Change*, 81(1), 293-307.
- [15] Vicuña, S., Leonardson, R., Hanemann, M. W., Dale, L. L., Dracup, J. A., 2008, “Climate change impacts on high elevation hydropower generation in California’s Sierra Nevada: a case study in the Upper American River”, *Climatic Change*, 87(1), 123-137.
- [16] Hamududu, B., Killingtveit, A., 2012, “Assessing climate change impacts on global hydropower”, *Energies*, 5(2), 305-322.
- [17] Kusre, B. C., Baruah, D. C., Bordoloi, P. K., Patra, S. C., 2010, “Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India)”, *Applied Energy*, 87(1), 298-309.
- [18] KOSNIK, L., 2010, “The potential for small scale hydropower development in the US”, *Energy Policy*, 38(10), 5512-5519.
- [19] Fitzgerald, N., Arántegui, R. L., McKeogh, E., Leahy, P., 2012, “A GIS-based model to calculate the potential for transforming conventional hydropower schemes and non-hydro reservoirs to pumped hydropower schemes”, *Energy*, 41(1), 483-490.
- [20] Feizizadeh, B., Haslauer, E. M., 2012, “GIS-based procedures of hydropower potential for Tabriz basin”, *Iran. International Journal*, 495-502.
- [21] Kim, J.D., 2003, “Trend Report of Small Hydropower”, Korea Institute of Science and Technology Information