

북한의 수력발전가능량 산정 및 평가에 대한 연구

박미리* · 안재현**

Park, Miri*, Ahn, Jaehyun**

A Study on the Evaluation of Potential Hydro-electric Power in North Korea

ABSTRACT

This study is to analyze and evaluate water resource development potential in North Korea. The study was conducted to analyze selected potential hydropower as an indicator to evaluate water resource development potential. Potential hydropower means theoretical value about the potential capacity of river. It is used to evaluate the amount of development through the hydropower generation. For calculating potential hydropower, monthly average and annual average of rainfall for each river basin were calculated by using the data of 27 rainfall stations in North Korea. As a result of the calculation of theoretical potential hydropower by rainfall in the seven major basins in North Korea, the Aproz River basin was analyzed to be the largest with $7,562.2 \times 10^3 \text{ kW}$. The efficiency and utilization rate of theoretical potential hydraulic power in South Korea and North Korea was 42.3% and 36.2%, respectively. The Daedong River basin's potential hydropower utilization rate is 12.3%, which is the lowest in North Korea. In the case of Daedong River basin, more than 40% of the total population is inhabited, so demand for water and electricity is expected to be the largest. Therefore, the Daedong River basin is considered as a priority area for water resource development. The results of this study are expected to be used as basic data for future water resource development projects and research activities in North Korea.

Key words : Potential hydropower, Water resources, North Korea, Daedong river basin

초 록

본 연구에서는 북한의 수자원 개발 가능량을 분석 및 평가하였다. 이를 위해 포장수력을 수자원 개발 가능량을 평가하는 지표로 선정해서 분석하였다. 포장수력이란 하천이 보유한 잠재적인 발전 능력에 대한 이론값을 의미하며 수력발전을 통해 개발이 가능한 양을 평가하는 데 활용된다. 포장수력을 계산하기 위해, 북한의 27개 강우 관측소의 강우 데이터를 활용하여 유역별 월평균 및 연평균 강우량을 산정하였다. 이를 활용하여 북한 내 주요 7개 유역에 대해 강우에 의한 이론 포장수력을 산정한 결과, 압록강 유역이 7,562.2천kW로 가장 큰 값을 가지는 것으로 분석되었다. 남한과 북한의 이론 포장수력의 효율 및 이용률의 경우 북한의 최대 효율이 42.3%, 이용률은 36.2%로 남한보다 큰 것으로 나타났다. 북한의 포장수력 이용률은 대동강 유역이 12.3%로 가장 낮았는데, 이곳은 전체인구의 40% 이상이 거주하는 지역으로 장래 용수와 전력에 대한 수요가 가장 클 것으로 기대된다. 따라서 대동강유역이 수자원개발사업의 우선순위가 높은 지역일 것으로 추정되었다. 본 연구의 성과는 추후 북한 수자원 개발사업의 추진 및 관련된 연구수행에 있어 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 포장수력, 수자원, 북한, 대동강유역

* (주)법과기술 전임연구원 (Law&Tech. Co. · miri@kodipa.or.kr)

** 종신회원 · 교신저자 · 서경대학교 공과대학 토목건축공학과 부교수 (Corresponding Author · Seokyeong University · wrr21@naver.com)

Received December 8, 2017/ revised December 22, 2017/ accepted December 27, 2017

1. 서론

북한과의 통일을 고려한, 혹은 통일이 되지 않은 상태라도 협력을 고려한 북한 수자원 개발사업의 참여방안에 대한 연구는 여러 차례 수행된 바 있다(K-water, 1994; 2003; 2005). 이들 연구들은 주로 북한 지역의 댐과 저수지를 중심으로 용수공급, 수력발전 관련 시설물들의 현황을 조사하고, 이와 연관된 강우, 유출, 저수량 등의 수문학적 인자들을 추정했다. 또한 임진강 등 남북한 공유하천에 대한 활용방안들을 주로 연구하였다.

북한 수자원과 관련된 국내에서의 연구는 1990년대 초반부터 시작되었는데 1994년 북한 수자원의 현황 및 개발 동향과 수자원의 관리기구 및 제도에 대한 조사를 통해, 남북한의 수자원 기술의 교류방안과 접경지역 하천의 공동개발방안에 대해 수행된 연구(Kwater, 1994)가 본격적인 출발이라 할 수 있다. 하지만 북한과 관련된 자료의 입수가 제한적인 상황에서 정도 높은 성과물을 제시하기 어려운 한계를 가지고 있었다.

이후 북한에서 1990년에 공식 발간한 조선지리전서가 입수되면서 북한 내 유역과 수자원의 현황을 제대로 파악할 수 있는 계기가 되었다. 이 내용을 토대로 북한의 용수 공급과 수급에 대해 전망이 가능해졌으며, 북한 수자원사업의 특징과 문제점 파악 및 사업 수행의 우선순위를 설정, 참여방안 및 추진전략 수립이 이루어진 바 있다(K-water, 2003). 여기에 추가해서 북한의 수력발전사업에 진출방안을 연구하기 위해 북한의 전력분야의 법령 및 조직을 조사하고, 북한의 수력발전소의 현황 평가와 수력발전사업의 진출을 위한 자금조달 및 전략에 대해 분석이 이루어졌다(K-water, 2005).

이외에도 북한 27개 기상관측소의 기온과 강수량을 통계분석하고, 기온과 강수량, 유출고를 토대로 추세분석을 실시해서 2020년의 북한 수자원을 전망한 사례도 있다(Seoul National University, 2005).

그러나 이들 연구들은 현재 상태의 수자원 시설 현황을 조사하고 용량을 추정하는 수준의 성과만 제시하였으며, 앞으로 추가적으로 이용가능한 수자원 개발량을 파악하지는 못했다. 북한 기존 시설들이 가지는 용량에 더불어 추가 활용량을 파악할 수 있다면 추후 북한에서 다양한 수자원 관련 사업을 추진할 때 많은 도움이 될 수 있다.

여러 경로를 통해 전해지는 북한의 실상 중 가장 심각한 것 중 하나가 불안정한 전력 공급이다. 원유 수급이 원활하지 못한 상황에서 수력발전을 이용한 전력공급을 주로 하고 있지만, 수목 등의 자연훼손으로 인한 유출량의 감소와 노후화된 수력발전설비 등은 여전히 문제점이 되고 있다. 하지만 북한에는 상대적으로 수력발전이 가능한 지점들이 상당한 많은 것으로 알려져 있으며,

이를 종합적으로 평가하는 것은 매우 중요한 사항으로 평가된다.

대상 지역에서 수력발전을 통해 개발가능한 양을 평가하는 지표로 포장수력이 주로 활용된다. 포장수력은 하천이 보유한 잠재적 발전 능력을 의미하는데, 하천을 개발해서 얻을 수 있는 잠재적인 에너지의 이론적인 값이라 할 수 있다. 포장수력의 산정을 통해 대상 지역의 개략적인 발전 가능량을 파악할 수 있으며, 이를 토대로 사업계획의 수립이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 북한 전 지역에 대한 유역별 포장수력을 산정함으로써 추후 북한에서의 수자원 개발 가능량을 분석 및 평가하였다. 북한에서 입수할 수 있는 자료의 한계를 감안할 때 본 연구에서 수행한 포장수력 산정절차는 추후 이와 유사한 국내의 지역에서 다양한 활용이 가능할 것으로 기대한다.

2. 본론

2.1 포장수력 산정 이론

우리나라에서 체계적으로 포장수력을 조사한 성과는 1974년에 산업기지개발공사에서 수행된 사례가 유일하다(Industrial Sites and Water Resources Development Corporation, 1974). 당시에는 남한의 발전 수자원 가능량을 파악하기 위해 포장수력조사를 수행하였으며, 개발가능한 잠재에너지를 평가했다. 이를 위해 남한의 25개 수계와 60개의 지류하천의 주요 85개 지점에서 이론포장수력을 조사하였으며, 이 결과를 바탕으로 기술적 포장수력, 경제적 포장수력을 산정해서 건설 가능한 댐 지점을 설정하였다.

당시에도 여러 가용한 지형, 수문 자료들의 한계로 인해 많은 어려움과 오랜 시간이 소요되었으나, 현재 북한에서 입수할 수 있는 자료의 한계는 그때보다 더 많은 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 기존에 적용했던 방법들을 최대한 북한의 상황에 맞게 활용하면서 포장수력을 계산하였다.

일반적으로 포장수력은 이론포장수력, 기술적 포장수력, 경제적 포장수력 등으로 분류된다. 이론포장수력을 제외한 기술적 포장수력과 경제적 포장수력은 구체적인 댐 개발지점이 결정된 후에 산정하는 기술적, 경제적 포장수력으로 본 연구에서 언급자하는 유역 전체가 지니고 있는 개발가능한 포장수력과는 차이가 있다. 따라서 이들 방법을 제외한 이론포장수력만을 검토하였다.

이론포장수력은 높은 곳에서 강한 강수가 유역을 따라 해면까지 유하하는 데서 얻을 수 있다고 보는 유수의 잠재적 에너지로서 총 낙차와 강수량 혹은 유출량의 상승적에 비례한다. 여기서 총 낙차는 지형적 요소로서 유역의 표고가 되며 강수량 혹은 유출량을 안다면 잠재적 에너지의 총량을 알 수 있다. 따라서 이론포장수력은 다음과 같이 강수량에 의한 이론포장수력과 유출량에 의한 이론포장수력으로 나눌 수 있다.

2.1.1 강수에 의한 이론포장수력

표고 H이상의 지역에 내린 강수량이 증발, 침투 등의 손실이 없이 해수면 표고까지 유하하면서 발생할 수 있는 에너지를 그 유역의 총 포장수력으로 나타낸다. 이를 강수에 의한 이론포장수력 E(I)이라 하며, Eq. (1)을 이용해서 산정한다.

$$E(I) = \int_0^H g(PS)dh = \begin{cases} \int_0^H 0.31(PS)dh \text{ (kW)} \\ \int_0^H 2.72 \times 10^3(PS)dh \text{ (kWh)} \end{cases} \quad (1)$$

여기서, E(I):강수에 의한 이론포장수력, P:연평균 강수량(m), S:표고 H이상의 유역면적(km²), H:유역 내 최고표고(m), g:중력가속도 (9.8m/s²)이다.

또한, 유역의 표고 H지점에 충분히 큰 저수지를 축조할 수 있다고 가정하고, 유역의 H이상 지점에 내린 강수량이 증발 및 침투 등의 손실이 없이 저수지로 유입된 강우의 총량이 H지점에서부터 해수면까지 유하할 경우의 위치에너지 E(II)를 강수에 의한 이용가능 이론포장수력이라 한다. 이때, 지역의 낙차는 이용되지 않는 것으로 가정하고 이는 표고 H지점 이용가능수력의 상한치를 나타낸다(Eq. (2) 참조).

$$E(II) = g(P \times s)H \quad (2)$$

2.1.2 하천에 의한 이론포장수력

하천의 수원지점으로부터 해수면 표고까지 증발 및 침투 등의 손실이 없이 하천을 따라 유하하면서 유출량에 의해 발생할 수 있는 에너지는 그 하천의 총 포장수력이며, 이는 하천에 대한 이론포장수력 E(III)로 정의된다(Eq. (3) 참조).

또한, 유역의 하상표고 H지점에 충분히 큰 저수지를 축조할 수 있다고 가정하고, 유역 H지점의 연 유출량이 증발 및 침투 등의 손실이 없이 저수지로 유입되어 하구 해면까지 유하하였을 경우의 위치에너지를 하천에 대한 이용가능 이론포장수력 E(IV)라 한다. 이때, 지역의 낙차는 이용되지 않는 것으로 가정하고 이는 하상표고 H지점의 이용가능수력의 상한치를 나타낸다(Eq. (4) 참조).

$$E(III) = \int_0^H g(QA)dh = \begin{cases} \int_0^H 0.31 \times 10^{-6}(QA)dh \text{ (kW)} \\ \int_0^H 2.72 \times 10^{-3}(QA)dh \text{ (kWh)} \end{cases} \quad (3)$$

여기서, E(III):하천에 대한 이론포장수력, Q:하상표고 H이상 유역 면적에 대한 평균적 비유출량(m³/yr/km²), A:하상표고 H지점에 유입되는 유역면적(km²), H:하천기점의 표고(m), g:중력가속도 (9.8m/s²)이다.

$$E(IV) = g(Q \times A)H \quad (4)$$

여기서, E(IV):하천에 대한 이론포장수력이다.

본 연구에서는 포장수력 조사를 위한 여러 가지 방법 중 북한지역이라는 연구대상으로 인해 위치선정 및 손실을 계산할 수 있는 지질 및 지형적 요소의 자료 수집에 한계가 있음을 감안해야 한다. 또한 북한의 공식적인 유출량 자료 또한 공개되어 있지 않은 상황이기에 하천에 의한 이론포장수력의 산정도 어려움이 있다. 이런 이유로 인해 현실적으로 적용가능한 방법은 북한의 강수량 자료를 이용하는 것이며, 따라서 강우에 의한 이론포장수력을 산정하였다.

2.2 포장수력 산정을 위한 자료 수집

2.2.1 지형 자료

고도 간 연평균 면적강수량을 산정하기 위해서 북한의 지형자료가 필요하며, 이를 위해 MODIS 자료를 이용하였다. 이 자료를 본 연구에 적합하게 100m×100m 크기의 격자로 변환하여 DEM (Digital Elevation Model)을 구축하였다. Fig. 1에는 북한 지역에 구축된 DEM을 도시하였다.

2.2.2 강수량 자료

현재 북한에서 운영하고 있는 강수량 관련 관측소 현황 및 자료는 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)에서

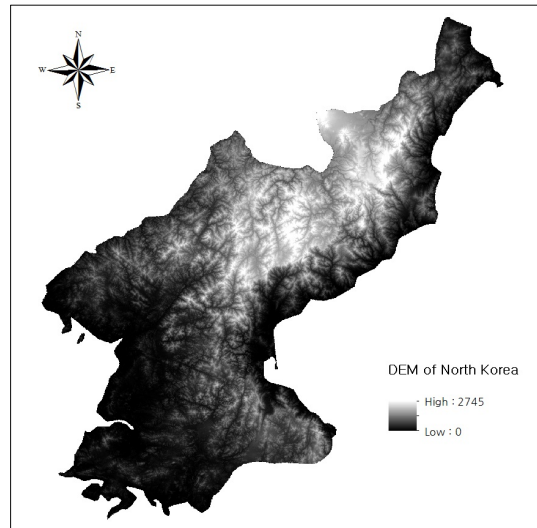


Fig. 1. DEM of North Korea

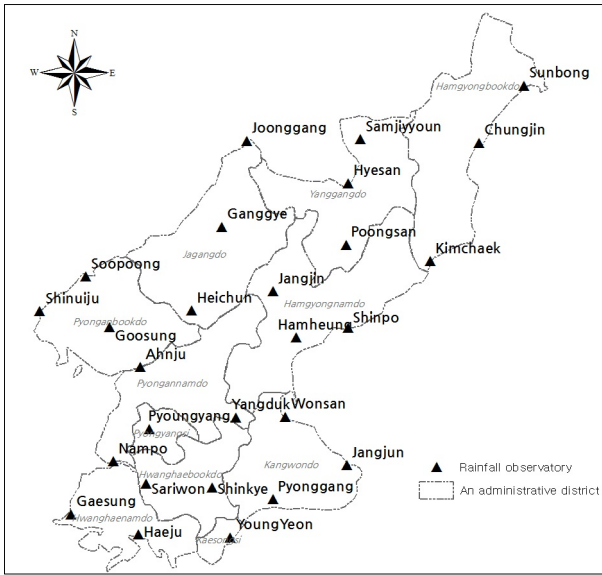


Fig. 2. Meteorological Stations of North Korea

수집하고 있으며, 이를 우리나라의 기상청에서 받아 제공하고 있다. 본 연구에서는 기상청을 통해 북한의 기상관측소 현황을 파악하였으며, 현재 강수량이 제공되고 있는 관측소는 총 27개 지점이다. 기상관측소의 현황 및 위치를 Fig. 2에 나타내었다.

이론포장수력을 산정하기 위해 북한의 27개 기상관측소의 1981년부터 2010년까지의 연평균 강수량 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 북한 내 대표적인 7개 유역을 대상으로 하였으며, 여기에는 금야강, 대동강, 두만강, 압록강, 예성강, 임진강, 청천강 등이 포함된다.

유역별 강수에 의한 이론포장수력 산정을 위해서는 각 유역별 면적강수량이 필요하며, 이를 위해 27개 지점의 자료를 티센다각형에 의해 면적평균 하였으며, 이를 Table 1에 정리하였다. Table 1의 유역면적 중 압록강, 두만강, 임진강은 북한지역 내에 위치한 면적만을 수록하였다. 유역별 연평균 강수량은 위도가 높을수록 작았는데, 두만강이 748.1mm, 압록강이 801.4mm로 나타났다. 가장 큰 유역은 임진강이며 1,121.4mm로 조사되었다.

Table 1. Precipitation of River Basins in North Korea (mm)

Basin	Area (km ²)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Dooman	10,290.7	11.9	14.0	24.1	46.5	74.8	112.2	177.7	132.2	76.1	34.9	27.1	16.6	748.1
Aprok	33,367.2	8.6	11.0	19.4	44.3	69.7	110.0	206.0	171.2	73.9	39.2	28.6	13.7	801.4
Daedong	19,371.8	11.4	13.6	25.7	47.3	76.4	97.8	258.7	212.4	99.6	41.8	36.2	16.9	937.5
Yesung	3,932.3	13.2	15.1	27.9	47.7	92.9	104.7	296.1	255.3	115.5	33.1	41.2	18.3	1,059.5
Keumya	3,365.7	15.8	18.7	28.3	50.5	83.6	116.8	263.9	242.6	129.5	49.7	43.3	21.7	1,064.4
Chungchun	9,368.2	11.6	22.5	25.2	52.4	75.2	112.9	310.1	252.6	94.0	47.7	40.6	17.4	1,064.5
Imjin	5,182.5	15.5	45.3	26.9	44.6	76.8	101.0	282.2	228.4	107.6	35.6	37.3	18.4	1,121.4

Table 2. Potential Hydropower in Aprok River Basin

Elev. (m)	Cum. Area S (km ²)	Areal Preci. SP (10 ⁶ m ³)	Preci. P (mm)	Ratio (%)		Poten. Hydropower (1000kW)		Ratio of Poten. Hydropower (%)	
				E(I)	(I)	E(I)	E(II)	(I)	(II)
0	33,367.2	26,740.3	801.4	100.0	100.0	7,562.2	0.0	100.0	0.0
100	30,856.5	24,335.4	788.7	92.5	91.0	6,657.0	754.4	88.0	10.0
200	28,854.8	22,397.0	776.2	86.5	83.8	5,833.4	1,388.6	77.1	18.4
300	25,720.2	19,473.5	757.1	77.1	72.8	5,049.6	1,811.0	66.8	24.0
500	22,191.2	16,318.6	735.4	66.5	61.0	3,812.3	2,529.4	50.4	33.5
1000	16,674.2	11,862.9	711.5	50.0	44.4	1,545.4	3,677.5	20.4	48.6
1200	12,218.7	8,610.3	704.7	36.6	32.2	899.5	3,203.1	11.9	42.4
1500	5,197.9	3,587.0	690.1	15.6	13.4	322.0	1,668.0	4.3	22.1
2000	365.4	245.7	672.5	1.1	0.9	23.8	152.3	0.3	2.0
2625	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ave. Elev.		912.3m	Ave. Prec.	801.4mm		Potential Hydropower (1000kW)		7,562.2	

2.3 북한의 유역별 포장수력 산정

본 연구에서는 압록강, 두만강, 대동강, 금야강, 청천강, 예성강, 임진강 등 북한 내 주요 7개 유역에 대해서 강우에 의한 이론포장수력을 산정하였으며, 유역별 산정 결과는 Tables 2~8에 제시하였다. 또한 그림 Figs. 3~9에는 지세곡선(S/So), 면적강수량곡선(P/Po), 강수에 의한 이론포장수력곡선(I)과 강수에 의한 이용가능 이론포장수력곡선(II) 등을 유역별로 도시하였다.

각 곡선에 대한 설명은 다음과 같다. 첫째, 지세곡선이란 유역의 전 면적을 So, 표고 H이상의 면적을 S라 할 때 S/So인 면적비와 표고 H와의 상관곡선을 뜻한다. 둘째, 면적강수량 곡선은 유역의 전 면적에 대한 강우량을 SPo, 표고 H이상의 면적 강우량을 SPo라 할 때 SP/SPo인 면적비와 표고 H와의 상관곡선을 뜻한다. 셋째, 강수에 의한 이론포장수력곡선(I)은 유역의 해수면 이상 총 강우에 의한 이론포장수력과 표고 H이상에서의 강우에 의한 이론포장

수력과의 상관곡선이다. 넷째, 강수에 의한 이용가능 이론포장수력곡선(II)은 유역별 표고와 Eq. (5)에 의해 구한 강수에 의한 이용가능 포장수력비와의 상관곡선을 뜻한다. 따라서, 강수에 의한 이용가능 이론포장수력곡선(II)의 극대치는 이론포장수력의 최대 이용률을 표시하는 표고점이 된다.

$$\text{이론포장수력곡선(II)} = \frac{g(P \cdot S)h}{\int_0^H g(P \cdot S)dh} = \frac{E(II)}{E(I)} \quad (5)$$

강우에 의한 이론포장수력을 계산한 결과, 압록강유역이 7,562.2 천kW로 가장 크게 산정되었고, 다음은 두만강 > 대동강 > 청천강 > 임진강 > 금야강 > 예성강유역 순으로 나타났다. 또한 단위면적당 강우에 의한 이론포장수력에 따른 크기는 두만강 > 압록강 >

Table 3. Potential Hydropower in Dooman River Basin

Elev. (m)	Cum. Area S (km ²)	Areal Preci. SP (10 ⁶ m ³)	Preci. P (mm)	Ratio (%)		Poten. Hydropower (1000kW)		Ratio of Poten. Hydropower (%)	
				E(I)	(I)	E(I)	E(II)	(I)	(II)
0	10,290.7	7,698.5	748.1	100.0	100.0	2,457.1	0.0	100.0	0.0
100	9,744.1	7,308.1	750.0	94.7	94.9	2,230.5	226.6	90.8	9.2
300	8,598.9	6,495.3	755.4	83.6	84.4	1,816.9	604.1	73.9	24.6
500	7,184.3	5,508.7	766.8	69.8	71.6	1,469.2	853.9	59.8	34.8
700	6,091.7	4,768.5	782.8	59.2	61.9	1,177.7	1,034.8	47.9	42.1
1000	4,588.3	3,701.1	806.6	44.6	48.1	813.0	1,147.3	33.1	46.7
1200	3,352.2	2,696.8	804.5	32.6	35.0	612.8	1,003.2	24.9	40.8
1500	1,715.4	1,335.0	778.3	16.7	17.3	409.4	620.8	16.7	25.3
1700	770.9	584.3	758.0	7.5	7.6	109.4	307.9	4.5	12.5
2000	156.5	117.0	747.7	1.5	1.5	8.5	72.6	0.4	3.0
2469	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ave. Elev.		1,029.6m	Ave. Prec.	748.1mm		Potential Hydropower (1000kW)			2,457.1

Table 4. Potential Hydropower in Daedong River Basin

Elev. (m)	Cum. Area S (km ²)	Areal Preci. SP (10 ⁶ m ³)	Preci. P (mm)	Ratio (%)		Poten. Hydropower (1000kW)		Ratio of Poten. Hydropower (%)	
				E(I)	(I)	E(I)	E(II)	(I)	(II)
0	19,371.8	18,161.7	937.5	100.0	100.0	1,927.2	0.0	100.0	0.0
100	13,261.2	12,794.9	964.8	68.5	70.5	1,495.3	396.6	77.6	20.6
200	10,083.5	9,790.4	970.9	52.1	53.9	1,153.4	607.0	59.9	31.5
300	7,798.4	7,529.1	965.5	40.3	41.5	879.3	700.2	45.6	36.3
500	4,581.2	4,293.6	937.2	23.7	23.6	494.0	665.5	25.6	34.5
700	2,656.2	2,367.9	891.5	13.7	13.0	269.8	513.8	14.0	26.7
1000	1,172.6	956.4	815.6	6.1	5.3	101.7	296.5	5.3	15.4
1500	193.8	142.0	732.6	1.0	0.8	13.7	66.0	0.7	3.4
2124	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ave. Elev.		342.3m	Ave. Prec.	937.5mm		Potential Hydropower (1000kW)			1,927.2

Table 5. Potential Hydropower in Keumya River Basin

Elev. (m)	Cum. Area S (km ²)	Areal Preci. SP (10 ⁶ m ³)	Preci. P (mm)	Ratio (%)		Poten. Hydropower (1000kW)		Ratio of Poten. Hydropower (%)	
				E(I)	(I)	E(II)	E(II)	(I)	(II)
0	3,365.7	3,582.4	1,064.4	100.0	100.0	545.5	0.0	7.2	0.0
100	2,793.5	2,825.9	1,011.6	83.0	78.9	421.9	87.6	5.6	1.2
200	2,536.3	2,527.7	996.6	75.4	70.6	333.3	156.7	4.4	2.1
300	2,231.2	2,200.3	986.2	66.3	61.4	256.9	204.6	3.4	2.7
500	1,514.7	1,474.0	973.2	45.0	41.2	140.6	228.5	1.9	3.0
700	815.0	774.7	950.6	24.2	21.6	68.6	168.1	0.9	2.2
1000	258.5	231.0	893.8	7.7	6.5	19.9	71.6	0.3	1.0
1500	17.6	14.8	836.5	0.5	0.4	0.8	6.9	0.0	0.1
1827	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ave. Elev.	491.2m	Ave. Prec.	1,064.4mm	Potential Hydropower (1000kW)				545.5	

Table 6. Potential Hydropower in Chungchun River Basin

Elev. (m)	Cum. Area S (km ²)	Areal Preci. SP (10 ⁶ m ³)	Preci. P (mm)	Ratio (%)		Poten. Hydropower (1000kW)		Ratio of Poten. Hydropower (%)	
				E(I)	(I)	E(II)	E(II)	(I)	(II)
0	9,368.2	9,972.7	1,064.5	100.0	100.0	1,114.3	0.0	100.0	0.0
100	7,308.6	7,887.6	1,079.2	78.0	79.1	850.7	244.5	76.3	21.9
200	5,588.7	6,044.2	1,081.5	59.7	60.6	636.3	374.7	57.1	33.6
300	4,303.0	4,636.8	1,077.6	45.9	46.5	468.8	431.2	42.1	38.7
500	2,341.4	2,486.9	1,062.2	25.0	24.9	243.3	385.5	21.8	34.6
700	1,160.5	1,199.7	1,033.7	12.4	12.0	124.6	260.3	11.2	23.4
1000	409.7	400.2	976.9	4.4	4.0	46.4	124.1	4.2	11.1
1200	191.7	180.2	939.9	2.1	1.8	27.1	67.0	2.4	6.0
1500	36.7	32.8	895.4	0.4	0.3	2.6	15.3	0.2	1.4
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ave. Elev.	360.4m	Ave. Elev.	1,064.5mm	Potential Hydropower (1000kW)				1,114.3	

Table 7. Potential Hydropower in Yesung River Basin

Elev. (m)	Cum. Area S (km ²)	Areal Preci. SP (10 ⁶ m ³)	Preci. P (mm)	Ratio (%)		Poten. Hydropower (1000kW)		Ratio of Poten. Hydropower (%)	
				E(I)	(I)	E(II)	E(II)	(I)	(II)
0	3,932.5	4,166.4	1,059.5	100.0	100.0	216.9	0.0	100.0	0.0
100	2,389.0	2,555.1	1,069.6	60.8	61.3	114.1	79.2	52.6	36.5
200	1,188.5	1,272.2	1,070.5	30.2	30.5	54.9	78.9	25.3	36.4
300	528.8	565.2	1,068.8	13.5	13.6	26.3	52.6	12.1	24.2
500	108.1	116.1	1,073.4	2.8	2.8	5.2	18.0	2.4	8.3
700	18.3	20.0	1,091.5	0.5	0.5	1.1	4.3	0.5	2.0
1000	1.3	1.4	1,095.4	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.2
1253	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ave. Elev.	167.9m	Ave. Prec.	1,054.5mm	Potential Hydropower (1000kW)				216.9	

Table 8. Potential Hydropower in Imjin River Basin

Elev. (m)	Cum. Area S (km ²)	Areal Preci. SP (10 ⁶ m ³)	Preci. P (mm)	Ratio (%)		Poten. Hydropower (1000kW)		Ratio of Poten. Hydropower (%)	
				E(I)	(I)	E(I)	E(II)	(I)	(II)
0	5,170.0	5,797.4	1,121.4	100.0	100.0	752.6	0.0	100.0	0.0
100	4,665.0	5,361.8	1,149.4	90.2	92.5	596.2	166.2	79.2	22.1
200	3,878.3	4,589.4	1,183.4	75.0	79.2	457.2	284.5	60.7	37.8
300	3,187.9	3,814.8	1,196.7	61.7	65.8	331.2	354.8	44.0	47.1
500	1,629.0	1,968.6	1,208.5	31.5	34.0	154.0	305.1	20.5	40.5
700	749.2	921.6	1,230.1	14.5	15.9	66.1	200.0	8.8	26.6
1000	152.1	191.4	1,258.6	2.9	3.3	14.9	59.3	2.0	7.9
1500	0.6	0.7	1,266.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
1566	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ave. Elev.		418.8m	Ave. Prec.	1,121.4mm		Potential Hydropower (1000kW)		752.6	

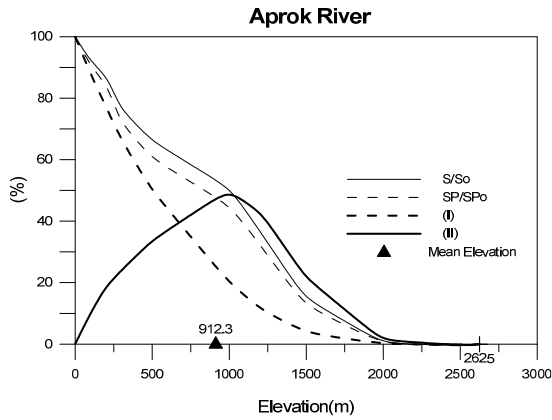


Fig. 3. Ratio of Potential Hydropower in Aprok River Basin

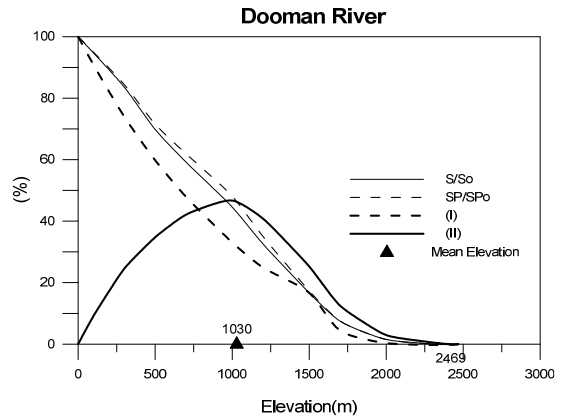


Fig. 4. Ratio of Potential Hydropower in Dooman River Basin

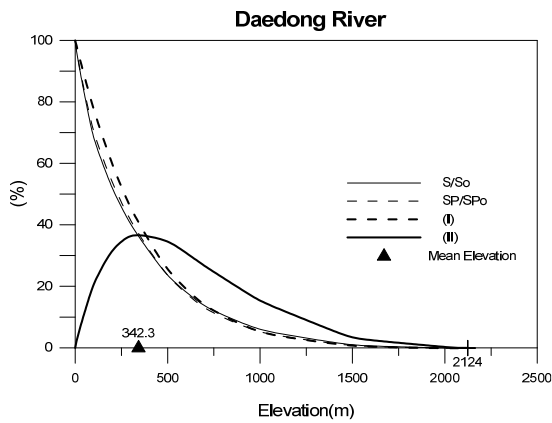


Fig. 5. Ratio of Potential Hydropower in Daedong River Basin

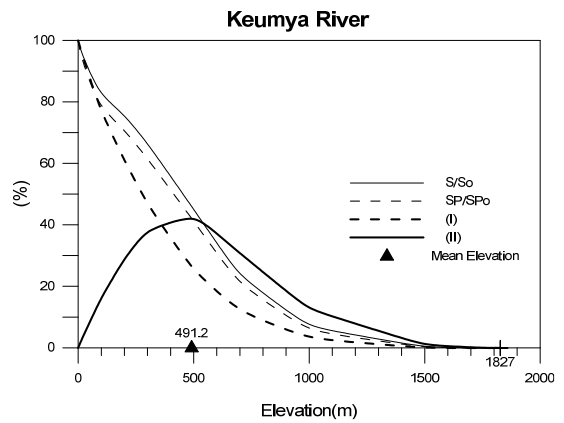


Fig. 6. Ratio of Potential Hydropower in Keumya River Basin

금야강 > 임진강 > 청천강 > 대동강 > 예성강유역 순으로 계산되었다. 이론포장수력은 강수량과 표고의 상승적 관계에 있으므로 다른 유역보다 상대적으로 높은 표고에 있는 압록강과 두만강이 잠재

에너지 즉, 이론포장수력이 높은 유역으로 산정되었으며, 예성강 유역의 단위면적당 포장수력은 55.1kW/km²로 가장 작았다. 한편, 대동강 유역은 면적은 비교적 넓은 유역에 비해 단위면적당 포장수

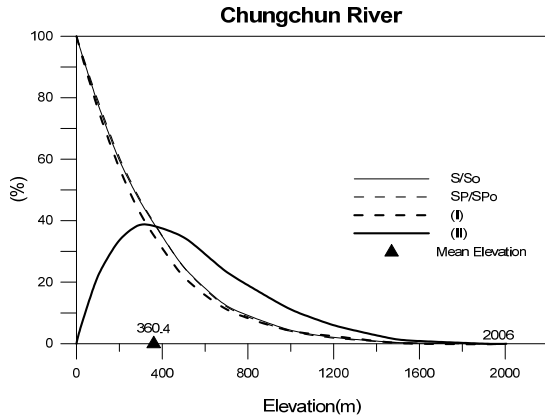


Fig. 7. Ratio of Potential Hydropower in Chungchun River Basin

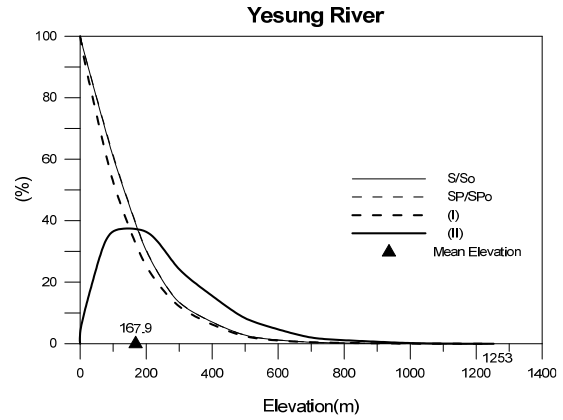


Fig. 8. Ratio of Potential Hydropower in Yesung River Basin

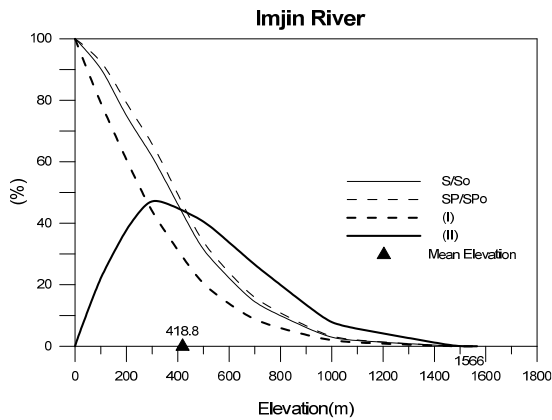


Fig. 9. Ratio of Potential Hydropower in Imjin River Basin

력은 99.5kW/km²로 적게 산정되었다(Table 9 참조).

강우에 의한 이용가능 이론포장수력은 H지점에 큰 저수지가 축조 가능하다고 판단하고 그 저수지에 유입될 수 있는 강수량이 모여 저수량 전체가 유하하였을 때의 포장수력이다. 따라서 이론포장수력 비(比)의 최대치 지점의 효율을 이론포장수력의 최대 효율

이라 할 수 있다. 각 유역별 이론포장수력의 최대효율은 Table 9와 같으며, 압록강유역이 48.6%로 해면표고 1000m이상에서 가장 큰 효율을 나타냈으며, 유역의 평균 최대효율은 42.3%로 추정되었다.

Park(2015)은 1974년 산업기지개발공사에서 산정한 남한 지역의 포장수력 자료를 토대로 남한 포장수력의 최대효율이 39.7%임을 분석한 바 있다. 이를 토대로 비교한다면 북한 포장수력의 최대효율이 남한에 비해 2.6%정도 크다는 것을 알 수 있다.

2.4 북한의 포장수력 현재 이용량 평가

현재 북한의 전력 중 많은 부분을 수력발전이 담당하고 있다. 앞에서 조사한 북한 유역별 포장수력 이용량 중에서 실제 수력발전소를 건설해서 이용하고 있는 양을 평가하였다. 이 자료는 추후 북한의 추가 수력발전소 건설을 계획할 때 참고할 수 있는 중요한 자료로 판단된다.

Park(2015)은 북한 수력발전소 현황 자료를 수집하여 각 유역별 수력발전량을 조사 및 정리하였다. 이를 유역별로 살펴보면 압록강 3256.4천kW, 청천강 705천kW, 두만강 542천kW, 대동강 237천kW,

Table 9. Potential Hydropower and Max. Efficiency in North Korea

Basin	Area (km ²)	Potential Hydropower (1000kW)	Poten. Hydropower per Area (kW/km ²)	Max. Effic. Elevation (m)	Poten. Hydropower at Max. Effic. Elev. (1000kW)	Max. Efficiency (%)
Aprok	33,367.2	7,562.2	226.6	1000	3677.5	48.6
Dooman	10,290.7	2,457.1	238.8	1000	1147.3	46.7
Daedong	19,371.8	1,927.2	99.5	300	700.2	36.3
Keumya	3,365.7	545.5	162.1	500	228.5	41.9
Chungchun	9,368.2	1,114.3	119.0	300	431.2	38.7
Yesung	3,932.5	216.9	55.1	100	79.2	36.5
Imjin	5,170.0	752.6	145.6	300	354.8	47.1
Average Maximum Efficiency						42.3

Table 10. Utilization Ratio of Hydropower in North Korea

Basin	Hydropower Capacity (1000kW)	Potential Hydropower (1000kW)	Utilization Ratio (%)
Aprok	3,256.4	7,562.2	43.1
Dooman	542.0	2,457.1	22.2
Daedong	237.0	1,927.2	12.3
Chungchun	705.0	1,114.3	63.3
Keumya	180.0	545.5	33.0
Sum	5,740.4	14,060.8	36.2

금야강 180천kW 순으로 나타났으며, 예성강과 임진강유역에도 중소규모의 유역변경식 수력발전소가 있는 것으로 알려져 있으나 정확한 자료가 부족하여 분석에서 제외하였다.

이를 앞에서 분석한 유역별 포장수력과 비교해서 Table 10에 나타내었다. 북한에서 이론포장수력 중 실제 이용하는 비율은 평균 36.2%이며, 청천강 유역의 이용률이 63.3%로 가장 크게 나타났다. 이는 청천강 유역에 최근 건설된 희천발전소가 큰 시설규모(30천 kW)를 가졌기 때문인 것으로 판단된다. 대동강의 경우 가장 낮은 12.3%의 이용률을 보여주고 있는데, 이를 통해 추후 개발성이 높은 지역일 수 있음을 추정가능하다.

특히 대동강유역은 북한의 수도인 평양이 위치한 곳으로 평양을 포함한 평안남북도에 전체인구의 40%이상이 거주한다. 따라서 대동강유역에서의 용수와 전력 수요가 클 것으로 판단되며, 추후 수자원개발사업을 고려할 때 우선순위가 높을 것으로 기대된다.

남한의 경우 Park(2015)의 분석에 따르면 포장수력 대비 현재 평균 이용률은 12.2%밖에 되지 않으며, 가장 높은 한강유역도 28.8%에 불과한 것으로 나타났다. 이는 남한에서 수력발전이 가지는 위상, 환경문제와 민원 등으로 인한 댐 개발의 어려움 등으로 인해 북한에 비해 상대적으로 수력발전 이용이 낮기 때문일 것으로 판단되었다.

3. 결론

본 연구에서는 북한의 포장수력을 산정했으며, 이를 토대로 북한의 수력발전가능량을 평가하였다. 또한 현재 이용되는 시설용량을 토대로 이용률을 분석하였으며, 북한의 수자원개발사업 추진을 위한 기초자료를 제공하였다. 이러한 연구결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

첫째, 북한의 관측소 27개 지점의 강수량을 면적평균해서 압록강 등 주요 7개의 유역에 대해 유역별 월평균 및 연평균 강수량을 산정하였다. 위도가 높은 두만강유역의 연평균 강수량이 748.4mm로 가장 적었으며, 위도가 낮은 임진강유역이 1,121.4mm로 가장

큰 값을 나타냈다.

둘째, 북한의 수력발전가능량을 조사하기 위해 유역별 포장수력을 산정했다. 여러 방법 중 북한에서 입수할 수 있는 자료의 한계를 고려해서 강우에 의한 이론포장수력 방법을 이용했다. 주요 7개 유역의 포장수력을 계산한 결과 압록강유역이 7,562.2천kW로 가장 큰 값을 가졌으며, 두만강 > 대동강 > 청천강 > 임진강 > 금야강 > 예성강 순으로 나타났다. 이론포장수력은 상대적으로 높은 표고에 위치한 압록강과 두만강에서 높게 산정된 것으로 판단되었다.

셋째, 북한의 수력발전가능량을 평가하기 위해 남한과 북한의 이론포장수력의 효율 및 이용률에 대해 비교 분석하였다. 그 결과 북한의 유역의 최대 효율 평균은 42.3%로 남한의 39.7%보다 높았으며, 이용률 또한 36.2%로 남한의 12.2%와 큰 차이가 있었다.

넷째, 북한의 포장수력 이용률은 청천강유역이 63.3%로 가장 크게 나타났으며, 대동강유역이 12.3%로 제일 작았다. 대동강유역은 북한 전체인구의 40%이상이 거주하는 지역으로 추후 용수와 전력에 대한 수요가 클 것으로 기대되며, 추후 수자원개발사업을 고려할 때 우선순위가 제일 높을 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 이론포장수력의 산정을 통해 북한의 수력발전가능량을 평가했으며, 이를 통해 다양한 시사점을 도출하였다. 이러한 성과는 추후 북한의 수자원 개발과 관련된 연구수행, 사업추진 등에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 17AWMP-B083066-04). 지원에 감사드립니다.

References

- Industrial Sites and Water Resources Development Corporation (1974). *Work report : survey of potential hydropower* (in Korean).
- K-water (1994). *Research report : Current status and development trend of water resource in North Korea* (in Korean).
- K-water (2003). *Research report : A study on the future prospect of water industry in North Korea and the participation strategy* (in Korean).
- K-water (2005). *Research report : A Study on the advancement of hydropower generation project in North Korea* (in Korean).
- Park, M. (2015). *An analysis of water resources condition and potential hydropower in North Korea*, Master Thesis, Seokyeong University, Seoul, Korea (in Korean).
- Seoul National University (2005). *Research report : Prospect of water resources on the Korean Peninsula* (in Korean).