



Priority assessment and estimation of annual power generation for potential development site of hydroelectric dam in North Korea

Kwon, Minsung^a · Kim, Tae-Woong^b · Ahn, Jaehyun^{c*}

^aUrban Risk Management Research Center, Seokyeong University

^bDepartment of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University (ERICA)

^cDepartment of Civil & Architectural Engineering, Seokyeong University

Paper number: 18-064

Received: 08 August 2018; Revised: 7 September 2018 / 10 September 2018; Accepted: 10 September 2018

Abstract

In North Korea, hydropower which occupies about 63% of power generation is a major electric power source, and North Korea has many advantages in the geographical for developing hydroelectric power. In this study, Information on the basin and dam capacity for 33 potential development site of hydroelectric dam was analyzed using DEM, and potential annual power generation was estimated by applying results of long-term runoff simulation with MWSWAT model for recent 30-year. The potential annual power generation at 33 dam was estimated to be about 28% of the current hydroelectric power in North Korea. In addition, a priority of dam development in each province was assessed by estimating the scale of an industry and prospecting the population change in the future. And a priority for dam development within the province was estimated based on the dam capacity and the potential annual power generation. The priority of each province was ranked in order of Pyeongannamdo, Hamgyungnamdo, Hamgyungbukdo, Hwanghaebukdo, Pyeonganbukdo, Jagangdo, Ryanggangdo, Hwanghaenamdo, and Gangwondo. The results of this study can be used as an initial review data for advancing to hydropower development project in North Korea.

Keywords: Dam, North Korea, Potential annual power generation, Priority, Long-term runoff

북한지역 수력발전댐 개발가능지점에 대한 연간가능발생전력량 분석 및 개발 우선순위 평가

권민성^a · 김태웅^b · 안재현^{c*}

^a서경대학교 도시안전연구센터, ^b한양대학교 공학대학 건설환경공학과, ^c서경대학교 토목건축공학과

요지

북한은 수력발전이 전체 발전량의 약 63%를 차지할 만큼 비중이 높고, 지리적으로 수력발전 개발에 많은 이점을 가지고 있다. 본 연구에서는 33개의 북한 댐개발 가능지점에 대해 DEM자료를 이용하여 유역분석 및 저수량을 산정하고, MWSWAT 모델을 이용한 30년간의 장기유출 분석 결과를 적용하여 연간가능발생전력량을 추정하였다. 33개 지점의 연간가능발생전력량은 현재 북한 수력발전량의 약 28% 수준으로 평가되었다. 또한 도별 공업지구 규모를 추정하고, 장래 인구 변동을 전망하여 도별 댐개발 우선순위를 선정하고, 저수량과 연간가능발생전력량을 기초로 도내 댐개발 우선순위를 선정하였다. 도별 우선순위는 평안남도, 함경남도, 함경북도, 황해북도, 평안북도, 자강도, 량강도, 황해남도, 강원도 순으로 나타났다. 본 연구의 결과는 북한지역의 수력발전댐 개발사업의 진출을 위한 초기 검토 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어: 댐, 북한, 연간가능발생전력량, 우선순위, 장기유출

*Corresponding Author. Tel: +82-2-940-7770
E-mail: wrr21@naver.com (J. Ahn)

1. 서론

최근 남북 간의 화해분위기가 조성되면서 남북 간 경제협력에 대한 기대가 높아지고 있으며, 이러한 기대 속에서 경제발전의 초석이 되는 철도, 도로, 수자원 등 사회기반시설 개발 분야에 대한 진출에 관심이 커지고 있다.

특히 에너지산업은 산업 원동력에 해당하는 기간 인프라 산업으로, 타 산업에 선행하는 경제적인 특성을 가지고 있다 (Yoon, 2016). Kim (2015a)는 2013년 기준으로 북한의 발전 실적은 총 221억 kWh로, 이중 62.9%는 수력발전을 통해, 37.1%는 화력발전을 통해 발전한 것으로 추정하였다. 북한에도 없는 에너지 통계를 추정한다는 것은 원천적인 한계를 가지고 있으나, 한국은행이 추정하는 경제성장률, 산업별 성장률 등과 같은 북한 경제 전반에 대한 분석과 연동되어 있다는 점에서 그나마 신뢰할 만한 추정결과로 인식되고 있다(Kim, 2015a). 2013년 북한의 발전량은 1990년의 79.8% 수준으로 감소한 것이며, 우리나라의 2013년 발전량 5,171억 kWh에 비해 약 4.3% 불과한 수준이다.

북한이 개혁개방정책을 실행하게 되면, 중국, 베트남 등과 같은 공산주의 국가의 경제성장 추이를 따라갈 수 있다. 경제 성장과 더불어 전력에 대한 수요도 급격히 증가하게 되면 지리적으로 수력발전엔 큰 이점을 가지고 있는 북한으로써는 수력발전개발에 상당한 관심을 보일 것으로 판단된다. 현재 북한과의 화해분위기가 조성되고는 있으나, 경제·산업분야의 긴밀한 협력이 실행되기까지 어느 정도의 시간이 소요될지는 알 수가 없다. 하지만, 북한의 수력발전사업에 진출할 기회가 발생할 경우를 대비해 사전 준비를 지속적으로 수행할 필요가 있다.

그간의 북한 수자원과 관련된 연구는 한국수자원공사(K-water)를 중심으로 수행되어 왔다. K-water (1994)는 북한 관련 도서, 보고서, 보도자료 등 산재되어 있는 북한의 수자원 관련 자료들을 수집하고 정리하고, 남북한간 수자원 기술 교류 방안과 접경지역 하천 공동개발 방안을 제시하였다. K-water (1998)은 기존 연구와 달리 현황조사에 그치지 않고, 원격탐사 기술을 이용하여 북한의 잠재적 수자원 부존량과 북한의 댐 개발가능지점에 대해 조사 분석하였다. K-water (2003)은 북한 수자원 산업을 전망하고, 북한 수자원 산업 참여 방안에 대한 연구를 수행하였다. 앞서 수자원에 국한된 연구와 달리 K-water (2005)는 북한의 주력 에너지원인 수력발전사업 진출방안에 대한 연구를 수행하였고, 다양한 정책 방안을 제시하였다. 최근의 북한의 수력발전과 관련된 연구로 Park and Ahn (2018)은 북한의 7개 유역에 대해 포장수력의

효율 및 이용률에 대한 연구를 수행하였고, 대동강 유역의 포장수력 이용률이 가장 낮았으나, 인구의 40% 이상이 거주하는 지역으로 장래 용수와 전력에 대한 수요가 가장 클 것으로 전망하였다. Eo *et al.* (2018)은 기존 댐과 K-water (1998)에서 제시한 38개 신규댐 가능지점 중 36개에 대한 연평균 발전량과 기후변화에 따른 발전량 변화를 분석하였다.

기존 연구에서 신규 수력발전댐의 발전량을 산정한 것은 Eo *et al.* (2018)에서 처음 시도되었다. 하지만, K-water (1998)에서 제시한 38개 지점 중 5개 지점은 이미 건설된 것으로 파악되었으며, 전력량 산정에서 사용수량에 대한 명확한 설명이 없는 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 신규댐 건설 가능지점에 대한 위치적 정확도 향상과 더불어 연간가능발전 전력량 산정에 사용되는 사용수량을 MWSWAT 모형을 이용한 장기유출 모의를 통해 적용하였다. 또한 전력수요가 많은 지역을 추정하여 도별 개발우선순위를 선정하였으며, 연간발전가능전력량과 저수량을 토대로 도내 우선순위를 선정하여 북한 수력발전개발을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구방법

K-water (1998)는 북한지역에 대한 댐 개발 가능지점에 대해 분석하고 38개의 댐 적지를 선정하였다. Eo *et al.* (2018)은 38개 중 36개 지점에 대한 분석을 수행하였지만, 위성영상을 통해 확인한 결과 38개 지점 중 5개 지점에서는 댐 개발이 완료된 것으로 분석되었다. 이에 본 연구에서는 기 개발된 지점을 제외한 33개 지점에 대해 분석을 수행하였다. 해당 33개 지점에 대해 재검토를 수행하여 위치정보의 정확도 향상, 저수량 재산정 및 연간가능발전전력량을 산정하였다. 연간가능발전전력량을 산정하기 위해 대상유역에 대해 MWSWAT모형을 이용하여 장기유출분석을 수행하였다. 댐 개발 우선순위는 농업용수 이용량을 토대로 도별 농업지구의 규모를 상대적으로 평가하고, 우리나라의 인구변화 추이를 적용한 북한의 도별 인구변화 시나리오를 적용하여 도별 우선순위를 평가하였으며, 저수량과 연간가능발전전력량을 이용하여 도내 우선순위를 평가하였다.

2.1 댐 개발 가능지점 현황

Fig. 1 and Table 1은 본 연구의 대상 댐 지점의 위치와 정보를 나타내고 있다. 함경북도가 13개 지점으로 가장 많았으며, 다음으로 강원도와 평안북도가 각각 5개 지점, 평안남도 4개 지점, 황해북도와 함경남도가 각각 2개 지점, 량강도와 자강

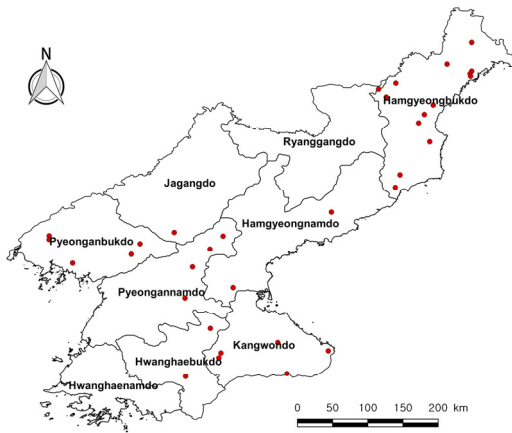


Fig. 1. Potential dam development site

도가 각각 1개 지점이다.

우선적으로 댐 개발 위치의 재검토를 수행하였다. 이를 위해 일본우주항공연구개발기구(JAXA)에서 제공하는 최신의 30 m Digital Elevation Model (DEM)과 위성영상을 결합하여 댐 개발지점의 3D 위성영상을 구축하였다(Fig. 2). 구축된 3D 위성영상은 지형의 높낮이뿐만 아니라, 고도에 따른 수몰지역 확인이 용이하여 댐 개발 가능지점의 정확도를 높일 수 있다. Fig. 2의 별표는 K-water (1998)에서 제시된 덕지댐의 개발 위치이나, 해당 위치의 산지 지형이 낮아 저수효과가 매우 낮은 것으로 확인되어 상류로 댐 개발 가능 위치를 수정하였다. 신규댐 개발 지점의 위치, 즉 유역출구를 결정한 후 GIS tool을 이용하여 유역면적, 만수위, 저수량을 산정하였다.

Table 1. Location of potential dam development site

No	Name	Latitude	Longitude	Administrative district
1	Sipil	41°58'36"	128°55'34"	Ryanggangdo Daehongdangun
2	Guyang	41°52'32"	129°1'30"	Hamgyeongbukdo Yeonsagun
3	Bakcheon	42°3'11"	129°8'49"	Hamgyeongbukdo Musangun
4	Yeongsan	42°18'17"	129°48'2"	Hamgyeongbukdo Hoeryeongsi
5	Bongo	42°34'32"	130°6'55"	Hamgyeongbukdo Eundeokgun
6	Sanggo	40°6'37"	124°43'27"	Pyeonganbukdo Cheonmagun
7	Jangmu	40°3'19"	124°43'32"	Pyeonganbukdo Pihyeongun
8	Yongdu	39°45'27"	125°1'17"	Pyeonganbukdo Gwaksangun
9	Sopyeongchang	40°9'1"	126°19'6"	Jagangdo Dongsingun
10	Tapgol	40°0'17"	125°52'54"	Pyeonganbukdo Unsangun
11	Seogojeo	39°52'8"	125°46'14"	Pyeonganbukdo Yeongbyeongun
12	Sachang	40°6'10"	126°56'30"	Pyeongannamdo Daeheunggun
13	Bakgolryeong	39°56'12"	126°46'28"	Pyeongannamdo Yeongwolgun
14	Songpyeong	39°42'36"	126°33'6"	Pyeongannamdo Maengsangun
15	Simtan	39°19'6"	126°27'21"	Pyeongannamdo Sinyanggun
16	Wolam	38°55'42"	126°46'47"	Hwanghaebukdo Sinpyeonggun
17	Jikhae	38°18'43"	126°27'48"	Hwanghaebukdo Geumcheongun
18	Myeonghak	38°36'48"	126°54'52"	Gangwondo Pangyogun
19	Jangmi	38°33'23"	126°53'8"	Gangwondo Icheongun
20	Muchang	42°12'21"	130°6'56"	Hamgyeongbukdo Cheongjinsi
21	Wolsan	42°10'15"	130°5'39"	Hamgyeongbukdo Cheongjinsi
22	Socheong	42°8'29"	130°6'21"	Hamgyeongbukdo Cheongjinsi
23	Ayang	41°46'38"	129°37'31"	Hamgyeongbukdo Cheongjinsi
24	Bosang	41°32'42"	129°26'17"	Hamgyeongbukdo Gyeongseonggun
25	Jueulon	41°39'13"	129°30'40"	Hamgyeongbukdo Gyeongseonggun
26	Yongyang	41°18'25"	129°34'44"	Hamgyeongbukdo Eoranggun
27	Ipeak	40°53'22"	129°11'35"	Hamgyeongbukdo Giljugun
28	Jadong	40°43'44"	129°8'24"	Hamgyeongbukdo Gimchaeksi
29	Goyang	40°24'38"	128°19'29"	Hamgyeongnamdo Deoksunggun
30	Deokji	39°28'8"	127°10'12"	Hamgyeongnamdo Guwongun
31	Gosung	38°35'44"	128°17'20"	Gangwondo Gosunggun
32	Hoeyang	38°44'51"	127°38'25"	Gangwondo Hoeyanggun
33	Geumgangsan	38°25'18"	127°47'42"	Gangwondo Gimhwagun

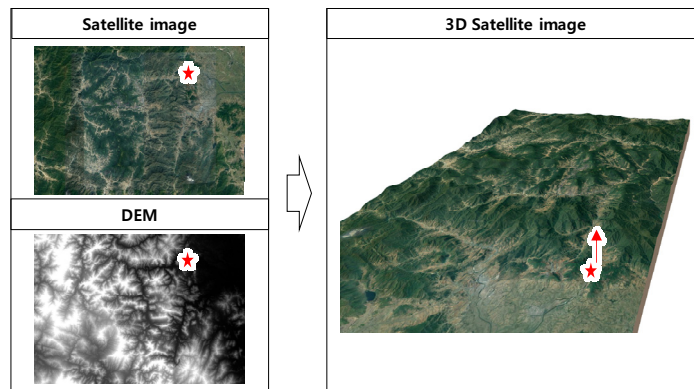


Fig. 2. 3D spatial data construction for improvement of accuracy in location information

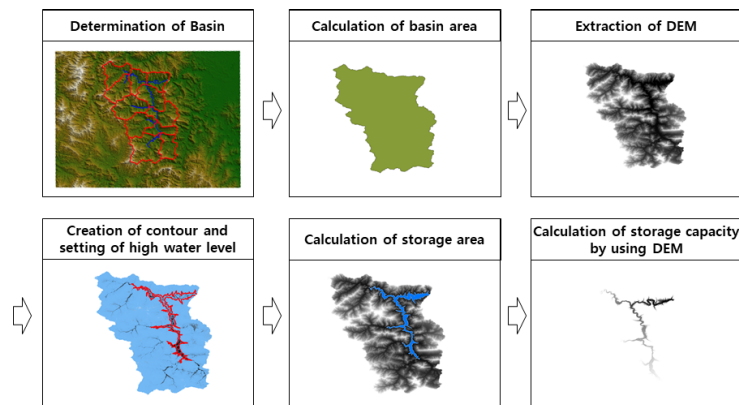


Fig. 3. Generation procedure of basin characteristics

Fig. 3은 댐 개발 가능 지점에 대한 정보를 생성하는 절차를 나타내고 있다.

2.2 연간가능발전전력량 산정

연간가능발전전력량을 산정하기 위해 수력발전댐 개발 계획단계에 적용하는 발전량 산정 방법을 적용하였다. 연간 가능발전전력량은 Eq. (1)을 이용하여 산정할 수 있다.

$$W = 7860\zeta P_G \tag{1}$$

여기서, ζ 는 발전능률이며, P_G 는 발전기 출력이다. 발전능률은 풍수량을 사용할 경우 66%를 적용할 수 있으며(Chiaki, 1994), 발전기 출력은 Eq. (2)와 같이 산정하다.

$$P_G = 9.8\eta_t\eta_gQH_c \tag{2}$$

여기서, η_t 와 η_g 는 각각 수차효율과 발전기효율이며, Q 는 사용수량을 H_c 는 유효낙차를 나타낸다.

수차 및 발전기 효율의 값은 기기의 설계를 하지 않으면 정확한 값을 구할 수 없기 때문에 계획단계에서는 수차 및 발전기 효율의 곱인 합성효율을 0.85의 값으로 적용할 수 있다(MLTM, 2011). 또한 계획단계에서 유효낙차는 총낙차의 91~93%를 적용하는 것이 일반적이며, 사용수량은 풍수량을 사용할 수 있다(K-water, 2006). 본 연구에서 유효낙차는 제시된 값의 중간 값인 92%를 사용하였으며, 풍수량을 산정하기 위해 33개 댐 유역에 대한 장기유출분석을 수행하였다.

2.3 MWSWAT 모형을 이용한 장기유출 분석

장기유출분석을 위해 MWSWAT (MapWindow Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용하여 33개 댐 유역에 대해 1988년부터 2017년 까지 30년간의 유출량을 모의하였다. MWSWAT은 SWAT 모형과 Geographic Information System (GIS) tool인 MapWindow를 연계하여 유역생성 및 유역특성 계산, 하천망도 생성과 Curve Number, 집중시간 등의 매개변수를 DEM, 토양도, 토지이용도를 통해 산정한다.

SWAT 모형은 물리적 기반의 준분포형 모델로서 유역내

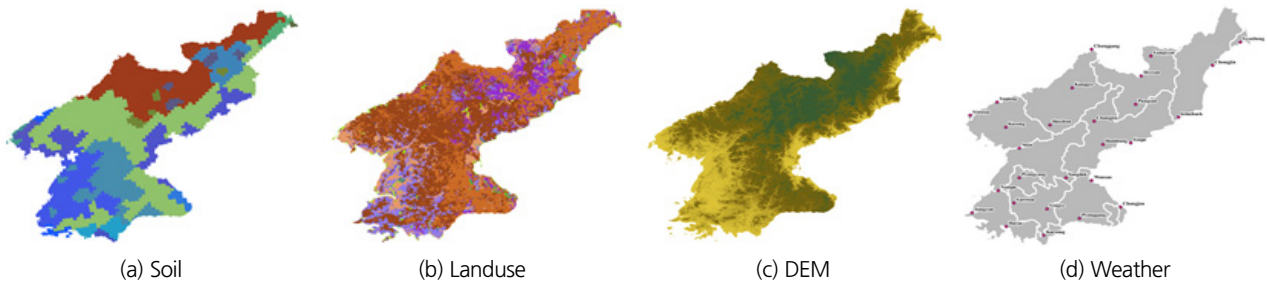


Fig. 4. Global data for runoff simulation using SWAT model

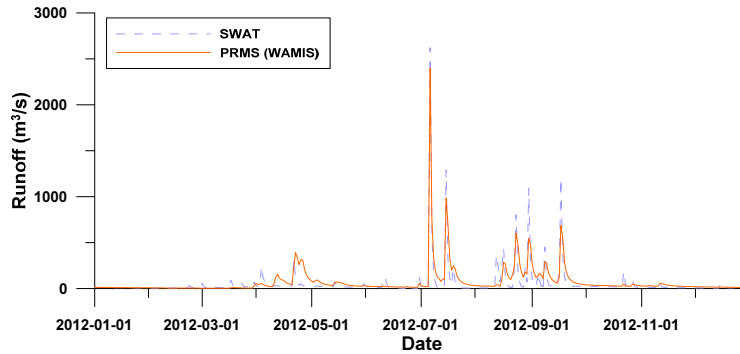


Fig. 5. Comparison of runoff simulation between SWAT using global data and PRMS provided by WAMIS

의 유출과 유사 및 농업화학물질의 영향을 예측하는데 사용된다(Park *et al.*, 2017). SWAT 모형에서 수문순환 예측을 위해 물수지 방정식에 근거를 두고 강수, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 등에 대한 모의를 각 수문반응단위 별로 계산할 수 있다(Jeong *et al.*, 2013). SWAT 모형에서 사용하는 물수지 방정식은 Eq. (3)과 같다.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=0}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (3)$$

여기서, SW_t 는 최종 토양수분량(mm), SW_0 는 i 일의 초기 토양수분량(mm), t 는 시간(day), R_{day} 는 강수량(mm), Q_{surf} 는 지표유출량(mm), E_a 는 증발산량(mm), W_{seep} 는 토양면으로부터 투수층으로의 투수되는 총량(mm), 그리고 Q_{gw} 는 회귀수량(mm)이다.

MWSWAT 모형의 입력자료 구축을 위해 기상자료는 WMO에서 제공하는 북한 일 기상자료를 활용하였고, DEM은 JAXA에서 제공하는 30 m 해상도 자료, 토양 및 토지이용 자료는 Waterbase에서 제공하는 전지구 자료를 이용하였다(Fig. 4).

유출량 모의를 수행하고 관측자료를 이용하여 최종적으로 매개변수의 검보정이 필요하나, 북한지역의 유출량 관측자

료의 구득이 불가능한 것이 현실이다. 따라서 우리나라의 남한강 상류유역에 기상자료를 제외한 모든자료는 북한에 적용한 동일한 자료인 JAXA의 DEM, 전지구 토양도 및 토지이용도를 활용하여 유출량을 모의하고, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 장기유출량 자료와 비교하였다. Fig. 5에서와 같이 매개변수 보정 없이 GIS 자료를 이용하여 추정된 매수변수를 적용한 MWSWAT 모형의 유출량 결과와 WAMIS의 장기유출량을 비교한 결과, 결정계수는 0.71로 연간가능발생전력량을 산정하기 위한 풍수량을 결정하기 위해 전지구 자료를 이용한 북한지역 장기유출 분석이 가능할 것으로 판단된다.

유출모의를 통한 일 유출량 자료를 이용하여 유행분석을 수행하고, 연도별 풍수량을 산정한 후 30년간의 평균 풍수량을 연간가능발생전력량을 산정하기 위한 수량으로 사용하였다.

2.4 댐 개발 우선순위 평가

신규댐 개발의 우선순위를 평가하기 위해서는 해당 위치의 댐 개발에 따른 경제성 분석, 환경영향평가 등 매우 복잡하고 세부적인 분석과 평가가 필요하다. 하지만, 북한에 대한 정보는 매우 제한적이며, 필요에 의한 자료 획득이 불가능한 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 공업용수 이용량을 토대로 도별 공업지구의 규모를 상대적으로 평가하고, 우리나라의 인

구변화 추이를 적용한 북한의 도별 인구변화 시나리오를 적용하여 도별 우선순위를 평가하고, 개발 가능댐의 저수량과 연간가능발전전력량을 토대로 도내 우선순위를 평가하였다.

현재 북한의 정확한 전력통계는 전무한 실정이다. 북한 전력통계 자료와 관련하여 가장 신뢰할 수 있는 자료는 우리나라에서 매년 제공하는 북한 에너지 통계자료이다. 하지만, 이 또한 생산량에 대한 추정치이며, 도별 사용량과 같은 세부적인 정보는 제공되고 있지 않다.

전력 사용량과 관련해서 우리나라의 통계를 살펴보면, 우리나라의 1인당 전력소비량은 1981년 915 kWh에서 2016년 9,699 kWh로 약 10배 이상 증가하였으나, 이는 산업부분의 전력소비가 많기 때문이다. 1인당 전력소비량은 국제적으로 상위권에 속하나, 가정부분은 전력소비는 오히려 OECD 평균보다 낮은 수준이다(KEPCO, 2017). 산업용 전력의 사용량이 전체의 53%로 사용비중이 가장 높게 나타났다.

경제가 발전함에 따라 산업용 전력 사용량이 크게 증가하기 때문에 북한의 경제가 발전한다고 가정했을 때, 현재의 공업단지를 중심으로 전력수요가 증가할 것으로 예상할 수 있다. 산업용 전력뿐만 아니라, 산업 중심지로 인구의 이동으로 일반용, 가정용 전력의 사용 또한 공업단지, 대도시 중심으로 급증할 것으로 예상된다. 북한의 공업단지에 대한 정보는 KRIHS (2013), KINU (2001) 등에서 확인할 수 있으나, 도별 산업시설의 규모 또는 전력사용량에 대한 정보는 확인하기가 어려운 실정이다. 본 연구에서는 도별 산업규모를 추정할 수 있는 방법으로 도별 공업용수 사용량의 상대적 크기를 활용하였다. 도별 공업용수 사용량은 1990년 북한에서 발간된 조선지리전서의 수문지리편에서 확인할 수 있으며, 이는 북한의 물이용과 관련된 가장 신뢰도 높은 자료이다. 해당 자료가 발간된 시기는 오래 되었지만 그간 북한의 정체된 발전 상황을 고려했을 때 기초자료로 활용할 충분한 가치가 있다고 판단된다. Table 2에는 도별 공업용수 이용량을 나타내었으며, 평안남도, 함경북도, 함경남도에서 이용량이 매우 많은 것을 알 수 있다. KINU (2001)에 의하면 평안남도 내의 평양, 남포 등이 포함된 평양공업지구는 북한 최대의 종합공업지구이며, 함경남도에 위치한 함흥공업지구는 북한 최대의 화학공업지구이며, 함경북도에 위치한 청진공업지구는 동부 최대의 종합공업지구로 설명하고 있어 공업용수 사용량이 도별 공업지구의 규모를 상대적으로 파악할 수 있는 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 특히 UN에서 제공하는 통계자료에 따르면 북한의 국내총생산은 2010년 가치 기준 1990년 163억 달러에서 2016년 149억 달러로 약 8.5% 하락한 것으로 확인되어, 1990년 공업용수의 자료는 현재 시점에서 적용이 가능

Table 2. Industrial water use in each province

Province	Industrial water use (10 ⁶ m ³)
Pyeongannamdo	326.0
Pyeonganbukdo	115.4
Hwanghaenamdo	31.4
Hwanghaebukdo	237.3
Ryganggangdo	60.8
Jagangdo	67.4
Gangwondo	28.9
Hamgyeongbukdo	317.0
Hamgyeongnamdo	358.3

Source: NKST (1990)

하리라 판단되며, 향후 경제발전 시 해당지역을 중심으로 발전이 가속화 될 것으로 전망할 수 있다.

산업화가 진행됨에 따라 일자리를 찾아 공업도시 중심으로 인구의 이동이 많아지게 될 것이므로 공업용 전력뿐만 아니라, 일반 및 가정용 전력의 수요도 증가할 것으로 전망된다. 북한은 United Nations Population Fund (UNFPA)의 지원을 받아 1993년 제1차 인구센서스를 실시하였으며, 15년 후인 2008년 한국 정부의 남북협력기금과 UNFPA의 지원을 받아 제2차 인구센서스를 실시하였다. Kim (2010)은 두차례 인구센서스 자료를 기초로 북한 인구의 규모, 구조적 특징, 인구 이동 등에 관한 심층적인 분석을 수행하였으며, 1993~2008년 북한의 연평균 도시인구증가율은 농촌인구증가율보다 낮다고 하였으며, 도시화의 진행이 사실상 거의 정지 상태에 진입하였다고 하였다. 북한과 같은 사회주의 국가에서는 국가의 기본법에 보장된 개인의 자유로운 주거이동을 실제로 허용하지 않는 경우가 대부분으로, 도시화의 방향이나 속도 역시 국가의 계획경제 프로그램에 의하여 통제하는 것이 일반적이라고 하였다. 그리고 북한의 저출산·고령화 수준은 남한에 비해 낮은 편이나 북한의 출산율이 인구대체수준 이하로 낮아지기 시작한데다가, 베이비붐현상 등에서 볼 수 있듯이 역사적으로 남한과 유사한 인구구조의 특징을 가지고 있어 향후 고령화현상이 가속화될 것으로 전망하였다. 또한 정치적인 시나리오는 배제하고 순수하게 인구학적으로 인구변동 요인들의 가능한 추세 변화만 고려하여 출산율 4개, 사망률 3개의 시나리오를 반영하여 12개의 시나리오로 북한의 인구를 전망하였다. 북한 총 인구는 출산율 중위와 사망률 중위 조합에서 2037년 2,654만 명으로 정점에 도달 할 것으로 전망하였다. Lee (2011)은 2008년 인구센서스 조사에서 ‘결함을 내포한 통계적 불일치’의 문제와 ‘통계의 의도적 왜곡 가능성’이라는 문제를 가지고 있다고 하였으며, 총인구와 사망률, 출생률

처럼 일반적 인구조표를 구성하는 데 있어서는 데이터의 내용을 그대로 이용하는 것이 별다른 문제를 야기하지 않을 수도 있지만 군대규모나 식량난의 충격과 같은 민감한 주제에 대해서는 데이터의 검증·수정이 필요하다고 하였다. Choi (2015)는 북한의 인구변화 추이에 대한 연구를 수행하였고, 독일 통일 사례와 비교하여 통일 이후 고령화 진행 속도는 남북한이 독일보다 더욱 빠를 것으로 예상하였다. 또한 통일 과정의 사회경제적 충격으로 인하여 출산율이 급감할 가능성이 있으며 이것이 향후 생산가능 인구의 감소와 이로 인한 성장 잠재력 저하로 이어질 수도 있다고 하였다. Kim (2015b)은 북한의 인구이동에 관한 연구를 수행하였고, 평양인근에서 평양으로의 인구 이동은 상대적으로 높은 편이나, 전반적인 인구이동은 매우 적다고 평가하였고, 이는 북한의 사회적 특성상 이동이 자유롭지 않은 것을 원인으로 파악하였다. 또한 한국, 일본, 필리핀, 중국 등 아시아 국가의 인구 이동을 분석하여, 한국, 일본, 필리핀은 ‘수도권 집중형’으로 정의하고, 중국은 ‘정치적 통제하의 경제적 이동형’으로 정의하였으며, 북한은 이 두 가지 유형이 혼합된 제3의 유형이라고 분류하는 것이 가장 현실적이라고 하였다.

북한의 인구센서스 분석 연구에서 기본적으로 통계의 신뢰성에 대한 의문이 제기 되었으며, 북한의 사회적 특성으로 인해 인구이동이 매우 제한적이라고 하였다. 그리고 기존 연구에서 총인구, 성별 인구, 연령별 인구 등에 대한 추계는 산정하였지만, 도별 인구 전망에 대한 정보는 확인할 수 없었다. 현재의 제한적인 인구이동과 경제적 몰락이 지속되어 온 상태의 인구센서스를 기반으로 도별 장래 인구추정은 불가능할 것으로 판단된다. 결국 도별 인구 이동에 대한 전망은 북한의 경제가 발전하고 인구의 이동이 자유로워지면, 수도권과 산업 시설이 밀집된 지역으로 인구 이동이 많아질 것이라는 가정을 전제로 추정할 수밖에 없다. 경제발전과 이동의 자유가 보장된 상태에서 도별 인구의 변화는 우리나라의 산업화가 진행된 시기의 인구이동을 가장 실현 가능한 시나리오로 가정하였다.

우리나라의 수도권은 인구는 2000년 기준으로 1975년에 비해 2배가 증가하였고, 부산, 울산을 포함한 경상남도의 인구는 동일한 시점에서 약 30% 증가하였다. 대구를 포함한 경북지역은 약 7%가 증가하였으며, 대전을 포함한 충남지역은 약 9%가 증가하였다. 이외의 지역은 국내 총 인구가 증가했음에도 불구하고 지역의 인구는 감소하였다. 전북은 약 24%, 강원은 약 20%, 광주를 포함한 전남은 약 16%, 충북은 약 4%가 감소하였다. 인구가 감소한 지역은 산업시설이 상대적으로 부족한 지역으로, 약 20년 후의 북한의 인구 증가 전망은 평양을 포함한 평안남도 지역에서 약 2배, 공업시설이 많은 지역, 즉

Table 3. Population prospect reflecting south korea population change

Province	Current population	Population projection
Pyeongannamdo	7,306,984	14,613,968
Pyeonganbukdo	2,728,662	3,001,528
Hwanghaenamdo	2,310,485	1,848,388
Hwanghaebukdo	2,113,672	2,747,774
Ryganggangdo	719,269	575,415
Jagangdo	1,299,830	1,039,864
Gangwondo	1,477,582	1,182,066
Hamgyeongbukdo	2,327,362	3,025,571
Hamgyeongnamdo	3,066,013	3,985,817

공업용수 사용량이 많은 지역 중 함경북도, 함경남도, 황해북도는 약 30%의 증가, 평안북도는 약 10%의 증가를 가정하였고, 이외의 지역은 20%가 감소하는 것을 가정하였다. Table 3은 현재의 도별 인구와 인구 증가 시나리오를 적용한 인구를 나타내고 있다.

산업시설의 규모와 인구증가 시나리오를 적용한 장래인구를 활용하여 도별 우선순위를 선정함에 있어 Eq. (4)와 같이 각 지표에 대해 표준화하였다.

$$\hat{x}_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (4)$$

산업용 전력의 사용량이 일반 및 가정용 전력의 사용보다 많은 우리나라의 자료에 비추어 산업시설 규모에 가중치를 상대적으로 높게 설정하였다. 가중치에 따른 변화를 확인하기 위해 산업시설 규모에 0.6에서 0.9까지 0.1씩 가중치를 증가시키고, 인구증가 시나리오는 0.4에서 0.1까지의 가중치를 감소시키며 우선순위를 검토하였다. 산업시설 규모와 장래 인구 전력을 기준으로 도별 우선순위를 평가하였으나, 장래 인구에 대한 전망은 용수수요와 밀접한 관계가 있기 때문에 향후 용수수요의 증가에 따른 도별 댐 개발 필요성도 간접적으로 포함하였다고 할 수 있다.

도내 우선순위는 연간가능발전전력량뿐만 아니라 용수공급량의 규모를 파악할 수 있는 저수량을 인자로 평가하였다. 각 인자에 대한 가중치는 북한의 수력발전에 의한 의존도가 높은 현실을 감안하여 연간가능발전전력량에 높은 가중치를 부여하였고, 도별 우선순위와 같이 연간가능발전전력량의 가중치를 0.6에서 0.9까지 0.1씩 증가시키고, 저수량의 가중치는 0.4에서 0.1까지의 가중치를 감소시키며 우선순위를 검토하였다.

3. 연구 결과

Table 4에는 댐 개발 지점의 유역면적, 만수위, 저수량을 나타내었다. 33개 지점의 평균 유역면적은 705 km²이고, 최대 유역면적은 십일댐 2,289.2 km², 최소 유역면적은 무창댐의 82.5 km²이다. 평균 저수량은 314.84백만m³ 이고, 최대 저수

량은 덕지댐의 2211.7백만 m³, 최소 저수량은 고양댐의 13.8 백만 m³이다. Table 5에는 SWAT 모형을 이용한 장기유출분석 결과를 활용하여 산정한 풍수량과 유효낙차 그리고 연간가능발전력량을 나타내었다. 33개 지점의 연간가능발전력량의 합이 약 38.9억 kWh로 현재 북한 전체 수력발전량의 약 28% 수준으로 평가되었다. Eo *et al.* (2018)에서 분석한 지

Table 4. Information of potential dam

No	Name	Area (km ²)	High water level (El. m)	Dam capacity (10 ⁶ m ³)
1	Sipil	2,289.2	815	1,180.1
2	Guyang	325.6	842	194.3
3	Bakcheon	430.8	650	150.4
4	Yeongsan	178.0	373	61.3
5	Bongo	984.8	135	562.9
6	Sanggo	834.4	95	445.8
7	Jangmu	150.1	80	68.9
8	Yongdu	210.9	37	58.8
9	Sopyeongchang	1,426.6	174	295.7
10	Tapgol	524.6	110	365.5
11	Seogojeo	1,069.5	67	280.6
12	Sachang	468.2	677	171.1
13	Bakgolryeong	1,233.3	411	199.5
14	Songpyeong	270.4	242	103.2
15	Simtan	566.6	181	124.6
16	Wolam	1,043.5	198	333.9
17	Jikhae	1,629.2	49	327.3
18	Myeonhak	1,091.1	209	398.1
19	Jangmi	2,230.1	183	574.0
20	Muchang	82.5	81	15.9
21	Wolsan	115.7	64	21.2
22	Socheong	232.8	45	43.1
23	Ayang	215.7	130	36.2
24	Bosang	273.1	249	19.2
25	Jueulon	214.1	240	28.8
26	Yongyang	895.9	89	101.9
27	Ipeok	188.1	240	91.3
28	Jadong	90.8	100	24.2
29	Goyang	243.1	240	13.8
30	Deokji	618.2	90	2,211.7
31	Gosung	437.5	80	320.9
32	Hoeyang	510.2	430	254.2
33	Geumgangsán	2,195.5	220	1,311.4

Table 5. Potential annual power generation

No	Name	Plant discharge (m ³ /s)	Effective head (m)	Potential annual power generation (kWh)
1	Sipil	133.3	169.3	1,086,421,877
2	Guyang	18.2	81.9	71,748,987
3	Bakcheon	25.2	64.4	78,028,817
4	Yeongsan	9.4	39.6	17,874,756
5	Bongo	54.6	52.4	137,922,733
6	Sanggo	44.0	32.2	68,254,745
7	Jangmu	7.6	21.2	7,750,926
8	Yongdu	10.1	21.2	10,334,093
9	Sopyeongchang	75.5	50.6	183,894,120
10	Tapgol	27.3	30.4	39,845,314
11	Seogojeo	55.1	26.7	70,842,847
12	Sachang	21.7	88.3	92,152,004
13	Bakgolryeong	62.5	61.6	185,587,593
14	Songpyeong	14.1	35.0	23,700,253
15	Simtan	29.7	56.1	80,324,731
16	Wolam	57.4	51.5	142,368,629
17	Jikhae	79.4	27.6	105,544,935
18	Myeonhak	62.0	67.2	200,563,294
19	Jangmi	133.0	58.0	371,283,555
20	Muchang	4.5	17.5	3,800,866
21	Wolsan	6.3	28.5	8,709,642
22	Socheong	12.8	25.8	15,915,670
23	Ayang	12.4	39.6	23,703,643
24	Bosang	15.8	46.9	35,785,309
25	Jueulon	12.3	74.5	44,318,712
26	Yongyang	50.5	53.4	129,840,198
27	Ipeok	9.1	67.2	29,439,540
28	Jadong	4.3	42.3	8,834,209
29	Goyang	12.7	35.9	21,901,969
30	Deokji	34.3	67.2	110,938,270
31	Gosung	30.7	49.7	73,524,647
32	Hoeyang	29.2	65.3	91,839,257
33	Geumgangsán	181.9	35.9	314,330,161

점과 동일한 31개 지점들에 대해서만 비교한 결과, 전 지점의 발전량의 합이 본 연구의 결과는 약 27.3억 kWh이고, Eo *et al.* (2018)의 연구에서는 약 83.2억 kWh로 3배 이상 큰 차이를 확인하였다. 연간가능발전전력량의 적정성을 분석하기 위해 국내 주요 발전댐의 연간발전량과 비교하였다. 소양강댐, 충주댐, 안동댐, 임하댐, 합천댐, 용담댐에 대해 연간발전량을 발전에 필요한 수량과 상관관계가 큰 유역면적과 발전량에 직접적인 인자로 사용되는 유효낙차로 나눈 값의 평균은 약 1,844 kWh/km²/m 이고, 본 연구에서 수행한 33개 지점의 평균값은 약 2,602 kWh/km²/m로 본 연구의 결과가 다소 높게 산정되었지만, Eo *et al.* (2018)에서는 6,006 kWh/km²/m로 매우 크게 산정되었다. 국내 댐의 발전량과 비교한 결과 기존의 연구에서 산정한 연간가능발전전력량은 과대 추정되었음을 알 수 있다.

Table 6에는 도별 우선순위를 산정하기 위해 공업지구의 규모를 추정할 수 있는 공업용수 이용량과 장래 인구전망에 대해 표준화한 결과와 각 인자의 가중치, 그리고 도별 우선순

위를 나타내었다. 공업용수의 가중치가 0.9이고 인구에 대한 가중치가 0.1일 때, 1위와 2위의 순위가 바뀌었고, 나머지의 순위는 모두 동일하게 나타났다. 수도권, 산업시설의 규모에 따른 인구의 증가를 추정하여 두 변량간 상관관계가 높기 때문에 가중치의 변화에 따른 변화가 거의 없는 것으로 판단된다. Fig. 6는 공업용수의 가중치가 0.6일 때의 각인자의 표준화된 값과 가중치를 적용한 최종 합계를 나타내고 있다. 공업용수의 가중치가 0.9일 때를 제외 하였을 때, 도별 우선순위는 평안남도, 함경남도, 함경북도, 황해북도, 평안북도, 자강도, 량강도, 황해남도, 강원도 순으로 나타났다. 공업단지의 규모가 크고 인구유입이 많을 것으로 전망된 평안남도의 순위가 가장 높았으며, 공업단지의 규모가 클 것으로 전망되는 함경남북도, 황해북도의 순위가 높았다. K-water (1998)에서 제시한 38개 중 기 건설된 5개 댐 중 4개가 평안남도, 함경남도, 황해북도에 건설된 것으로 본 연구에서 제시한 우선순위 지역과도 일치하고 있다. 도내 댐 개발 우선순위의 표준화된 결과는 Table 7에 나타내었다. 가중치에 따라 함경북도 내의

Table 6. Result of priority assessment for provinces

Province	Score		Weight	Total score and ranking			
	Industrial water use (1)	Population (2)		(1) 0.6 (2) 0.4	(1) 0.7 (2) 0.3	(1) 0.8 (2) 0.2	(1) 0.9 (2) 0.1
Pyeongannamdo	0.90	1.00	Score (ranking)	0.940(1)	0.930(1)	0.920(1)	0.910(2)
Pyeonganbukdo	0.26	0.17		0.224(5)	0.233(5)	0.242(5)	0.251(5)
Hwanghaenamdo	0.01	0.09		0.042(8)	0.034(8)	0.026(8)	0.018(8)
Hwanghaebukdo	0.63	0.15		0.438(4)	0.486(4)	0.534(4)	0.582(4)
Ryanggangdo	0.10	0.00		0.060(7)	0.070(7)	0.080(7)	0.090(7)
Jagangdo	0.12	0.03		0.084(6)	0.093(6)	0.102(6)	0.111(6)
Gangwondo	0.00	0.04		0.016(9)	0.012(9)	0.008(9)	0.004(9)
Hamgyeongbukdo	0.87	0.17		0.590(3)	0.660(3)	0.730(3)	0.800(3)
Hamgyeongnamdo	1.00	0.24		0.696(2)	0.772(2)	0.848(2)	0.924(1)

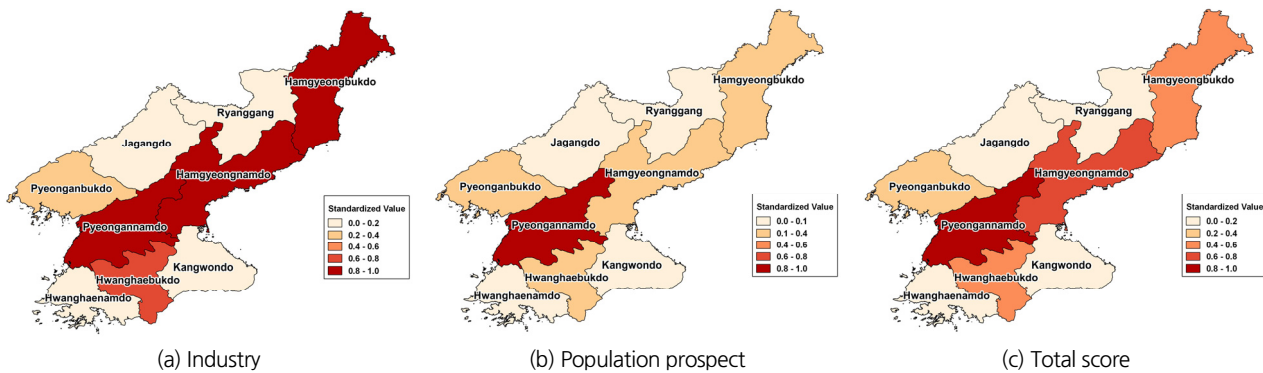


Fig. 6. Results of priority assessment for potential dam development

Table 7. Result of priority assessment within province

Province	Name	Score		Weight	Total score and ranking			
		Electric power (1)	Water capacity (2)		(1) 0.6 (2) 0.4	(1) 0.7 (2) 0.3	(1) 0.8 (2) 0.2	(1) 0.9 (2) 0.1
Pyeongang namdo	Sachang	0.423	0.705	Score (ranking)	0.536(2)	0.508(2)	0.479(2)	0.451(2)
	Bakgolryeong	1.000	1.000		1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)
	Songpyeong	0.000	0.000		0.000(4)	0.000(4)	0.000(4)	0.000(4)
	Simtan	0.350	0.222		0.299(3)	0.312(3)	0.324(3)	0.337(3)
Hamgyeong namdo	Goyang	0.000	0.000		0.000(2)	0.000(2)	0.000(2)	0.000(2)
	Deokji	1.000	1.000		1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)
Hamgyeong bukdo	Guyang	0.507	0.326		0.435(3)	0.453(4)	0.471(4)	0.489(4)
	Bakcheon	0.553	0.246		0.430(4)	0.461(3)	0.492(3)	0.522(3)
	Yeongsan	0.105	0.083		0.096(9)	0.098(9)	0.101(9)	0.103(9)
	Bongo	1.000	1.000		1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)
	Muchang	0.000	0.000		0.000(13)	0.000(13)	0.000(13)	0.000(13)
	Wolsan	0.037	0.010		0.026(12)	0.029(12)	0.032(12)	0.034(12)
	Socheong	0.090	0.050		0.074(10)	0.078(10)	0.082(10)	0.086(10)
	Ayang	0.148	0.037		0.104(8)	0.115(8)	0.126(8)	0.137(8)
	Bosang	0.238	0.006		0.145(7)	0.168(7)	0.192(6)	0.215(6)
	Jueulon	0.302	0.024		0.191(5)	0.219(5)	0.246(5)	0.274(5)
	Yongyang	0.940	0.157		0.627(2)	0.705(2)	0.783(2)	0.862(2)
	Ipeak	0.191	0.138		0.170(6)	0.175(6)	0.180(7)	0.186(7)
	Jadong	0.038	0.015		0.029(11)	0.031(11)	0.033(11)	0.036(11)
Hwanghae bukdo	Wolam	1.000	1.000		1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)	1.000(1)
	Jikhae	0.000	0.000	0.000(2)	0.000(2)	0.000(2)	0.000(2)	
Pyeongang bukdo	Sanggo	0.959	1.000	0.975(1)	0.971(1)	0.967(1)	0.963(1)	
	Jangmu	0.000	0.026	0.01(5)	0.008(5)	0.005(5)	0.003(5)	
	Yongdu	0.041	0.000	0.025(4)	0.029(4)	0.033(4)	0.037(4)	
	Tapgol	0.509	0.793	0.623(3)	0.594(3)	0.566(3)	0.537(3)	
	Seogojeo	1.000	0.573	0.829(2)	0.872(2)	0.915(2)	0.957(2)	
Jagangdo	Sopyeong chang	-	-	-	-	-	-	
Ryanggangdo	Sipil	-	-	-	-	-	-	
Gangwondo	Myeonhak	0.427	0.136	0.311(3)	0.340(3)	0.369(3)	0.398(3)	
	Jangmi	1.000	0.302	0.721(2)	0.791(2)	0.860(1)	0.930(1)	
	Gosung	0.000	0.063	0.025(5)	0.019(5)	0.013(5)	0.006(5)	
	Hoeyang	0.062	0.000	0.037(4)	0.043(4)	0.05(4)	0.056(4)	
	Geumgangsang	0.809	1.000	0.885(1)	0.866(1)	0.847(2)	0.828(2)	

개발 우선순위 3위와 4위가 한차례 변경되기는 하나 이외의 지점에서는 변화가 없는 것으로 나타났다. 위의 결과를 통해 우선적으로 사업을 진행할 지역과 지역 내의 큰 규모의 댐의 순위를 활용하여 신규 수력댐의 건설 우선순위를 검토할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 기존 연구에서 제시한 신규댐 개발가능지점에 대해 위치정보의 정확도를 향상하고, 저수량 등의 기본 정보를 산정했으며, MWSWAT 모형을 이용하여 해당 유역의 장

기유출분석을 수행하고 연간가능발생전력량을 산정하였다. 장기유출분석을 수행하기 위한 입력자료는 WMO에서 제공하는 북한 기상정보와 JAXA에서 제공하는 30 m DEM, 전지구 토양 및 토지이용 정보를 이용하였다. 연간가능발생전력량은 국내 수력발전댐의 발전량과 비교하여 기존 연구에서 제시한 값에 비해 타당성이 높은 결과를 제시하였다.

북한의 도별 공업지구의 규모를 파악하기 위해 북한의 수자원 이용과 관련된 가장 신뢰도 높은 조선지리전서의 도별 공업용수 이용량을 활용하였으며, 국내 인구 증감 사례를 기초로 도별 인구 증감을 전망하였다. 이 자료를 이용하여 도별 우선순위를 선정하였으며, 발전량과 저수량을 기준으로 도내 우선순위를 선정하였다. K-water (1998)에서 제시된 38개 댐 지점 중 5개 지점에서 댐 개발이 완료된 것을 위성영상으로 확인하였으며, 이중 4개가 개발된 지역이 도별 우선순위의 상위권 지역과 일치함을 확인하였다.

북한지역에 대한 연구를 수행함에 있어, 관련 자료의 구득이 매우 어려우며 자료의 신뢰성에도 많은 문제점이 있다. 특히 수력발전댐 개발과 관련하여 신뢰도 높은 전력 수요와 공급 현황, 용수 수요와 공급 현황, 유출량 자료의 부재는 아쉬운 점이라고 할 수 있다. 또한 통일 전 북한의 개혁개방과 자유로운 인구이동을 토대로 북한 내 인구 변화에 대한 전망에 관한 연구도 북한 산업 진출을 위해 필요할 것으로 판단된다.

최근 남북의 관계가 개선되고, 향후 국내 기업의 북한 진출에 대한 기대가 높아지고 있다. 북한의 개혁개방정책을 펼치게 되면 경제성장에 발판이 되는 전력의 수요가 늘어날 것이고, 지리적으로 수력발전에 이점이 있는 북한은 수력발전댐 건설에 우선적으로 투자할 가능성이 크다. 본 연구에서 제시한 결과는 정보획득에 제한이 있는 북한지역 수력발전댐 개발 사업에 진출하기 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05).

References

- Chiaki, S. (1994). *Practice of hydroelectric power generation*, GTS, Gumi, p. 418.
- Choi, J. (2015). *Demographic structural change in North Korean and it's implications*. Bank of Korea, Seoul, p. 26
- EO, G., Lee, C. H., Sim, O. B., and Ahn, J. (2018). "An evaluation on power generation of water resources facilities in North Korea considering climate change." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 51, No. 4, pp. 355-369.
- Jeong, H.-G., Kim, S. J., and Ha, R. (2013). "Assessment of climate change impact on storage behavior of chungju and the regulation dams using SWAT model." *Journal of Korea Water Resources Association*. Vol. 46, No. 12, pp. 1235-1247.
- KEPCO (2017). *Statistics of electric power in Korea*. Korea Electric Power Corporation, Naju, p. 179.
- Kim D. S. (2010). *Analysis of North Korean population census*. Statistics Korea, Daejeon, p. 355.
- Kim G. S. (2015a). *North Korea energy statistics*. Statistics Korea, Daejeon, p. 10.
- Kim S. G. (2015b). "Analysis of demographic trends in North Korea: Focused on data analysis." *KDI North Korea Economic Review*, Vol. 3, pp. 39-68.
- KINU (2001). *Industrial location in North Korea and inter-Korean cooperation*. Korea Institute for National Unification, Seoul, p. 128.
- KRIHS (2013). *Major development project for the integrated Korea peninsula*. Korea Research Institute for Human Settlements, Sejong, p. 258.
- K-water (1994). *Status and sevelopment trend of water resources in North Korea*. K-water, Daejeon, p. 370.
- K-water (1998). *Study on the water Resources of North Korea*. K-water, Daejeon, p. 171.
- K-water (2003). *Study on the future prospect of water industry in North Korea and the participation strategy*. K-water, Daejeon, p. 326.
- K-water (2005). *Study on the advancement of hydropower generation project in North Korea*. K-water, Daejeon, p. 370
- K-water (2006). *Design criteria for a hydroelectric power generation facility*. K-water, Daejeon, p. 592.
- Lee, S. (2011). *Analysis and problems of the 2008 North Korean population census*. Korea Development Institute, Seoul, p. 101.
- MLTM (2011). *Dam design criteria*. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Gwacheon, p. 231.
- NKST (1990). *Compendium of geography of Chosun: Hydrology geography*, North Korean Science and Technology, Pyeongyang, p. 505.
- Park, J., Jang, Y., and Seo, D. (2017). "Water quality prediction of inflow of the Yongdam dam basin and its reservoir using SWAT and CE-QUAL-W2 models in series to climate change scenarios." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 50, No. 10, pp. 703-714.
- Park, M., and Ahn, J. (2018). "A Study on the evaluation of potential hydro-electric power in North Korea." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 38, No. 1, pp. 41-49.
- Yoon J. (2016). "Status of North Korean electric power industry and case of Germany integration." *KDI North Korea Economic Review*, Vol. 5, pp. 17-31.