

결과보고서 요약

사업기관	에너지자원신기술연구소		
사업명	한반도 에너지 변동성 저감을 위한 수력에너지 증장기 발전 방안 연구		
사업책임자	성명	소속	직위
	박형동	에너지자원공학과	교수
사업기간	2022.4.~2023.1.31	사업비	

1. 사업 목적

- 시설 노후화와 불규칙한 강수 패턴으로 인한 전력 부족은 산업 생산성 하락과 주민 전력난 심화로 이어지고 있어 신규 발전시설 확충이 필수적인 상황임.
- 이에 대한 해결책으로 기후변화에 따른 수력발전소의 범람 위험성을 평가하고 북한 수력발전 부지 검토 및 지속적 발전가능성을 분석하고자 함.
- 수력발전시설 인근에 태양광발전시설을 건설하면 발전량을 증대하고, 기존 수력발전시설을 양수발전으로 활용함으로써 가동률을 높이고 전력 공급의 안정성을 제고할 수 있음. 따라서 북한 수력발전 시설 인근 재생에너지 도입 가능성을 평가하고자 함.

2. 사업 내용

- 침수를 야기하는 네 가지 지형적 요인을 선정하여 기후변화 시나리오별 강수량에 따른 범람영향을 평가하고, 북한 105개의 수력발전소를 대상으로 분석을 수행하여 각 시설별 범람위험지수(Flood Hazard Index)를 산출함
- 수력발전시설 반경 1 km 내에서 태양광발전시설 설치 적합지를 선정하고 예상 발전량을 산출함
- 수력·양수발전소 설치 적합지를 기후, 전력요구량 기준으로 분석하고, 수치해석 기법을 통해 각 부지의 역학적 안정성을 분석함

3. 사업 성과

- 국내 학술대회 발표 2건, 국제 학술대회 발표 1건

에너지자원신기술연구소

1. 사업 배경

□ 개요

- 사업명: 한반도 에너지 변동성 저감을 위한 수력에너지 중장기 발전 방안 연구
- 기관명: 에너지자원신기술연구소

□ 추진 배경 및 목적

○ 추진배경

- 북한은 높은 수력발전 의존도로 인해 갈수기 및 가뭄 기간의 전력난이 심각한 수준으로 알려져 있으며, 북한 수력발전소의 대부분을 차지하는 중, 소형 수력발전소의 경우 겨울철 결빙 문제로 인해 발전량의 변동성이 매우 크다는 단점이 존재함.
- 따라서 북한의 겨울철 발전량 변동 문제를 해결하기 위해서는, 기후조건과 무관하게 발전이 가능한 지중터널 방식의 수력발전 도입이 유력한 대안으로 활용될 수 있음
- 또한 양수댐 등을 활용해 고지대에 물을 저장한 후, 전력이 필요할 때 이를 방수하여 전력을 생산하는 양수발전을 도입할 경우 발전량 변동성의 저감이 가능해 그 효율이 상대적으로 높을 것으로 예상
- 기존 북한의 수력발전 시설의 경우 북한 특유의 ‘자력갱생’ 정책에 따라 지역 별로 확충한 중, 소형 수력발전소가 대다수이며, 체계화되지 못한 시공 지침과 낙후된 기술력에 따른 부실공사 및 자연재해로 인한 안전사고에 취약함.
- 따라서 양수댐 및 지중터널과 같이 상대적으로 대규모의 발전시설의 설치가 요구되는 발전소 부지 선정을 위해서는, 기존 북한 수력발전 시설과는 달리 대상 부지의 기후 및 지형조건을 고려한 안정성 분석이 필수적으로 수행되어야 함

○ 목적

- 북한 현지에 적합한 발전소 개발 방향 검토를 위해 북한 및 국내외 양수발전 현황 및 문제점을 분석하고 국외 수력 및 양수발전 현황 및 기술 수준과 비교
- 북한 재생에너지 잠재량 분석을 위한 공간정보 데이터베이스 구축
- GIS 분석 기법을 통한 북한 내 수력 및 양수발전 입지 분석 수행 후 발전소 인근 부지 내에 태양광 에너지 발전 잠재력 분석
- 북한 수력발전 부지의 안정성 분석, 기후조건을 고려한 지속적 발전용량 확보 가능성 분석

2. 사업 내용

□ 사업 추진 내용

○ 기후변화에 따른 수력발전시설 침수위험성 분석

- 북한의 105개 수력발전소를 대상으로 지형적 특성과 강수량을 평가해 침수 위험성을 파악
- 침수를 유발하는 네 개의 지형적 요인(고도, TWI, 곡률, 누적흐름량)과 강수량 데이터를 각각 범람 위험도에 따라 1~5단계로 등도수로 분류하였다. 분류된 데이터를 중첩하여 온실가스 저농도(SSP1-2.6)와 고농도(SSP5-8.5)의 두 가지 시나리오에 기반한 2050년, 2100년의 범람위험성을 산출함
- 침수를 유발하는 지형적 요인과 기후변화 시나리오별 강수량을 중첩한 범람 위험성 지표(FHI, Flood Hazard Index)를 19단계로 구분하여 제시함

○ 기후 독립적 수력양수발전의 북한 도입 가능성 연구

- 지역별 강수량에 따른 유역별 수력발전 잠재량과 공업용수 사용량, 인구분포 조건을 고려하여 수력·양수발전소 입지 우선지역(두만강, 대동강 유역 / 평안남도, 함경북도)을 결정함
- 해당 지역에서 연간발생가능전력량에 따라 발전소 입지후보(박골령, 23,876 MWh; 심탄, 16,231 MWh; 봉오, 24,037 MWh; 용양, 14,918 MWh)를 결정하고 지질도 및 횡단면도를 활용해 해당 부지의 지질 및 지형조건을 결정함
- 노르웨이의 경사형 무보강 수로터널 설계기준 및 국내 양수발전소 설계사례를 종합하여, 북한 각 부지별 저수댐 및 수로터널 모델 작성함
- 각 부지별로 중간심도 및 최대심도 조건에서 Sigma/W 수치해석 소프트웨어를 활용한 역학적 안정성 분석 수행함. 분석 결과 평안남도 지역의 경우 박

골령 부지와 심탄 부지의 역학적 안정성이 유사하여, 보다 높은 연간발생가 능전력량을 가지는 박골령 부지의 개발이 효율적일 것으로 예측됨. 함경북도 지역의 경우 봉오 부지의 안정성이 상대적으로 낮게 분석되어, 비교적 안정 적인 용양 부지의 개발 우선순위가 높을 것으로 분석됨.

○ 수력발전시설과 연계한 태양광발전시설 입지 분석

- 수력발전시설 인근에서 태양광발전시설 적합지를 산출한 후, 면적과 기상요 소 및 설치조건을 고려하여 예상 발전량을 산출함
- 수력발전소가 유량이 풍부한 산지에 위치하여 경사가 가파르고, 정책적으로 송전 손실을 줄이기 위해 수요지 인근에 발전소를 배치하면서 수력발전시설 인근에 주거지역이 위치하고 있어 전반적인 적합지 면적이 크지 않은 것으 로 해석됨. 인구 밀도가 낮은(국토지리정보원, 2019) 자강도 희천시에 위치 한 희천수력발전소에서 적합지 면적은 4,352 m^2 에 이르는 것으로 나타남
- 가용 면적이 50 m^2 이상으로 상업적 발전이 가능할 것으로 예측되는 4개 지 점에 대해 발전량 분석을 수행하였으며 4개 지역의 총 발전량은 연간 1.05 TWh에 이를 것으로 예측됨. 이는 2021년 기준 북한 주민 약 193명이 사용 하는 전력에 해당한다(북한통계포털, 2021). 가장 적합지 면적이 넓은 희천 발전소에서는 연간 977,040 kWh를 생산해 약 179명이 사용 가능한 전력을 공급할 수 있을 것으로 기대됨

□ 일정별 추진 사항

일 정	추진 내용
2022.04 ~ 2022.06	<ul style="list-style-type: none"> • 북한 수력 및 양수발전 현황 분석 • 노르웨이, 남한 수력 및 양수발전 기술 조사 • 북한 지리 데이터 취득 및 가공 • 원격탐사 자료를 통한 추가 공간정보 구축
2022.06 ~ 2022.10	<ul style="list-style-type: none"> • 북한 지역별 수력발전 필요 발전량 분석 • 북한 수력발전 적용 가능 기술 수준 분석 • 수력 발전 입지 분석 • 양수 발전 입지 분석 • 북한 수력발전 부지별 기후 및 지형조건 분석 • AFORE 국제 학술대회 준비
2022.09 ~2023.11	<ul style="list-style-type: none"> • 기후 및 지형조건에 따른 부지 안정성 분석 • 통일평화기반구축 연합학술대회 발표 준비

2022.10 ~ 2023.01	<ul style="list-style-type: none"> • 수력에너지 발전량 추정 계산 • 북한 수력발전시설 인근 태양광 에너지 발전 잠재량 분석 • 지중터널식 수력·양수발전 도입가능성 및 효과 분석 • 대한공간정보학회 신년학술대회 준비 • 최종 사업보고서 작성
-------------------	---

□ 참여 인력

○ 책임자

성명	대학	학과	직급
박형동	서울대학교	에너지자원공학과	교수
연구소(원)	구내전화	휴대전화	이메일
에너지자원신기술 연구소			hpark@snu.ac.kr

○ 주요 참여 인력

성명	소속	직급	이메일
송재준	에너지자원공학과	교수	songjj@snu.ac.kr
강일석	에너지시스템공학부	박사과정	xenopsis@snu.ac.kr
최지원	에너지시스템공학부	박사과정	cjw970514@snu.ac.kr
임준수	에너지시스템공학부	석사과정	sooyalim@snu.ac.kr
김한진	에너지시스템공학부	석사과정	sighchris@snu.ac.kr
구지윤	에너지시스템공학부	석사과정	rnldbs9808@snu.ac.kr
김채연	에너지시스템공학부	석사과정	cykimmm@snu.ac.kr

3. 사업 성과

□ 사업 성과 (구체적 내용 기술)

- 북한 수력발전시설 관련 문헌 및 기초 자료 정리
 - 남북한 및 노르웨이 수력, 양수발전 관련 문헌연구자료 정리 1건
 - 북한 강수추이 및 GIS 기반 분석 사례 정리, 공간정보 데이터 및 수력발전시설 데이터 정리 1건
- 국내 학술대회 발표
 - 박형동, 송재준, 강일석, 구지윤, 김채연, 김한진, 임준수, 최지원, 2022. 11. 17., 한반도 에너지 변동성 저감을 위한 수력에너지 중장기 발전방안 연구, 통일평화기반구축 연합 학술대회, 11월 17일 - 18일, 2022 구두 발표
 - 김채연, 구지윤, 박형동, 2023. 01. 27., 북한 수력발전시설과 연계한 태양광 발전시설 입지 및 발전량 분석, 2023년 제 12회 대한공간정보학회 신년학술대회, 1월 27일 - 28일, 2023 학술논문 발표
- 국제 학술대회 발표
 - 김채연, 구지윤, 박형동, 2022. 09. 29., Assessment of the Flood Risk for Pumped Hydropower Facilities in North Korea Based on Precipitation Changes, Asia-Pacific Forum on Renewable Energy 2022 (AFORE 2022), 9월 27일 - 10월 1일, 2022 포스터 발표

□ 관련분야 기여도

- 북한의 전력난을 해결하기 위해 댐식 수력발전시설 인근에 태양광발전시설 적합지역을 분석하고 예상 발전량을 산출함. 수계와 높은 경사, 발전시설에 인접한 주거지역으로 인해 태양광발전의 잉여 전력이 양수발전에 기여하는 바는 적을 것으로 보이나, 추가적인 송배전망 확충 없이 발전량을 증대할 수 있을 것으로 기대됨
- 기후 변화에 따라 예상되는 북한 수력발전소 범람위험지수를 산출함으로써 수력발전소의 설비보수 필요성에 공학적 근거를 제공할 수 있고, 나아가 양수발전시설의 안전성 제고와 안정적인 에너지 수급에 기여할 수 있을 것으로 기대됨

5. 자체평가 및 건의사항

□ 사업평가

○ 사업의 적절성

- 북한은 전력 생산의 절반 이상을 수력발전에 의존하고 있으며, 현재 북한의 정치·경제적 상황을 고려할 때 수력 의존도는 더욱 높아질 전망
- 본 과제를 세 주제 ‘기후변화에 따른 수력발전시설 침수위험성 분석’, ‘기후 독립적 수력양수발전의 북한 도입 가능성 연구’, ‘수력발전시설과 연계한 태양광발전시설 입지분석’에 따라 진행하여 불안정한 북한 전력망에 필요한 솔루션을 제시하였음.

○ 사업의 효율성

- 북한의 수력 발전량은 자본 및 기술력의 부족과 설비 노후화로 인해 발전량이 감소하고 있으며, 현재 적극적으로 추진하고 있는 소수력 발전 확대 역시 기후 변화에 큰 영향을 받을 것으로 예측됨.
- 양수발전시설로 전환을 통해 강수 패턴 변화에 대비하고 에너지 수급 안정성을 제고
- 태양광발전설비 연계를 통해 발전량을 증대하고 에너지 수급 안정성을 제고

○ 사업의 영향력

- 수력발전소의 범람 위험성, 재생에너지 도입 가능성 분석을 통해 북한 전력 수급 현황에 대한 이해도를 제고하고 북한의 전력난을 개선하기 위한 방안을 제안하였음.
- 북한 발전소 개발사업 추진 시 북한 지역별 기후 및 전력 사용량, 발전소 시설의 역학적 안정성 등 다양한 측면에서의 접근 필요성을 제시함.

○ 사업의 발전가능성

- 추후 남북협력 시 기후변화에 대비하여 기존시설의 안전성을 제고하고 지속 가능한 에너지원을 확보하는 데 있어 투자 및 개발 우선순위를 결정하기 위한 기초자료로 활용할 수 있음.
- 수력발전소의 발전량만이 아닌 역학적 안정성의 고려 필요성을 제시하여, 향후 북한 발전소 관련 사업 추진 시 시설 설계를 위한 기초자료로 활용 가능.

□ 미흡한 점(한계) 및 개선(보완)할 점

- 북한 지역은 제공되는 공공데이터가 한정적이므로 다양한 인자를 다루지 못함. 또한, 사용한 데이터의 정밀성이 떨어짐, 후에 인공위성 영상을

활용한 공간정보 가공법의 적합성을 남한으로 검증한 후, 동일한 방법을 북한에 적용하여 데이터 취득.

- 북한 지역의 DEM 자료 공간해상도 부족으로 인해 2차원 횡단면도를 활용한 부지별 지형모델 구축을 수행하여, 해당 부지의 3차원 구조 고려에 미흡함이 있음. 또한 정밀한 지질조성 데이터의 미비로 인해 각 부지의 지질구성을 주요한 암종 하나로 구성된 단일암종 암반으로 설정하여, 실제 현장의 지질구조 반영이 이루어지지 못함.

□ 향후 계획

- 수력발전시설과 연계한 태양광발전설비 분석시 고해상도 일사량 데이터를 확보하여 북한 내 발전원 도입시 효율 향상을 정량화
- 수력발전소 인근 재생에너지 통합을 태양광을 비롯해 풍력발전설비를 도입하여 발전량 증대 및 에너지 수급 안정화에 기여
- 인공지능을 활용한 강수량 예측을 통해 기후변화에 따른 수력발전소 범람 위험성을 세부적으로 평가하고 이에 맞는 대책 수립
- 국내 수력·양수발전소 설계사례를 추가적으로 반영하여, 한반도 지질조건에 보다 적합한 발전소 모델 구축 및 안정성 분석 수행

□ 건의사항

- 없음

6. 성과 관련 지표

□ 대표 사업 실적

- 2022 AFORE(Asia-Pacific Forum on Renewable Energy) 국제 학술대회 발표 (제주, 2022.09.27.-10.01)

□ 성과 자율 지표

- 국내 학술대회 발표
 - 2022 통일평화기반구축 연합 학술대회 발표 (서울대학교, 2022.11.17. -18.)
 - 2023 제 12회 대한공간정보학회 신년학술대회 발표 (제주, 2023.01.27.-28.)
- 국제 학술대회 발표

- 2022 AFORE(Asia-Pacific Forum on Renewable Energy) 국제 학술대회
발표 (제주, 2022.09.27.-10.01.)