

남북 기후변화 및 건강영향 모니터링 기능
강화를 위한 스마트 보건지소 모델 개발

- 1차년도 사업 결과 보고서 -

2024. 1. 11.

서울대학교 의과대학 통일의학센터

<목 차>

1. 서론	1
가. 연구개발의 필요성	1
나. 연구개발의 목표 및 내용	4
2. 북한 기후의 특성 및 기후변화 대응	6
가. 북한 기후의 특성	6
나. 북한의 기후변화 정책과 법령	7
다. 탈북의료인 자문	11
3. 기후변화 모니터링 시스템 구축의 기반 조성	14
가. 개발도상국의 기후 모니터링 사례	14
나. 기후변화 모니터링 시스템 구축을 위한 예비분석	19
4. 재생에너지 시스템 구축의 기반 조성	26
가. 개발도상국 재생에너지 활용 사례	26
나. 북한의 에너지 연계 기후 및 지형 특성	33
다. 북한의 특성을 고려한 적정 재생에너지 생산시스템 설계	38
5. 주요 사업 성과	43
가. 「제18회 제주 포럼」 발표	43
나. 적정기술 세미나 발표	44
다. 「제14회 적정기술 국제 컨퍼런스」 특별 세션 발표	45
6. 결론 및 향후 사업 계획	47
가. 결론	47
나. 향후 사업 계획	49
[참고문헌]	50

〈 표 목차 〉

<표 1> 북한 VNR 내 기후변화·건강 관련 국가발전목표와 시행 계획	9
<표 2> 북한 기후변화 및 건강 대응 관련 법	11
<표 3> 질병감시체계 조사를 위한 설문지	17
<표 4> 대상자의 인구학적 특성 및 기상관측 자료의 특성	24
<표 5> 기상자료와 인후두염 유병률과의 연관성을 보기 위한 Generalized Linear Model with Poisson distribution 분석 결과	25
<표 6> 국제기구 및 국가별 재생에너지 분류(○ 전부 인정, △ 일부 인정)	26
<표 7> 주요국의 재생에너지 발전설비 현황(2018년 기준)	27
<표 8> 「제14회 적정기술 국제 컨퍼런스」 특별세션 발표 주제 및 발표자	46

< 그림 목차 >

[그림 1] 여러 형태의 질병감시체계와 통합 시스템의 예시	15
[그림 2] 3단계 질병감시체계	15
[그림 3] 기상청 기상자료 데이터베이스	20
[그림 4] 지난 10년(2013~2022년)간 인후두염 유병률 트렌드	21
[그림 5] 일평균 기온(좌)과 일총 강수량(우)의 10년간 트렌드	22
[그림 6] 인후두염과 일 평균온도의 Inverse Relationship	22
[그림 7] 인후두염과 강수량 간의 트렌드	23
[그림 8] 주요국의 재생에너지 발전설비 현황(2018년 기준)	27
[그림 9] 전력 소비량과 보건지표와의 관계	30
[그림 10] 산악지역 하이브리드 발전시스템 개념도(좌) 및 네팔 구축 사례(우) ..	32
[그림 11] 탄자니아 소규모 오프그리드 태양광 발전시스템	33
[그림 12] 북한의 전력 상태 위성사진(2017년)	34
[그림 13] 지형학적 산지의 분포	35
[그림 14] 북한의 풍력 잠재량 평가 지도	36
[그림 15] 북한의 태양광 잠재량 평가 지도	37
[그림 16] 제주도 한경면 지역의 풍속 및 태양광 상태	38
[그림 17] 고정식 태양광발전시스템의 최적 설치 경사각도에 대한 일평균 일조 량 분포(좌) 및 연평균 발전량 분포(우)	39
[그림 18] 북한 검덕광산 인근지역의 태양광 잠재량 분석 결과(좌) 및 최적 발 전소 부지 선정 결과(우)	40
[그림 19] 북한지역 적정 재생에너지원	41
[그림 20] 북한지역 적정 재생에너지 생산시스템 구성안	42
[그림 21] 「제18회 평화와 번영을 위한 제주포럼」 포스터 및 현장 스케치 ..	44
[그림 22] 적정기술 세미나 포스터 및 현장 스케치	45
[그림 23] 「제14회 적정기술 국제 컨퍼런스」 포스터 및 현장 스케치	46

1. 서론

가. 연구개발의 필요성

□ 산업 혁명 이후 온실가스(이산화탄소, 메탄, 이산화질소 등) 배출량의 증가로 기후변화가 가속화되면서 이를 해결하기 위한 전 지구적인 노력의 필요성이 강조되고 있음

○ 기후변화로 인한 가뭄과 홍수 등의 자연재해로 인하여 많은 인명 피해가 발생하고 있음

- 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)의 IPCC(International Panel on Climate Change) 5차 보고서에 따르면, 1970~2019년 사이 전 세계에서 발생한 자연재해는 1만 1,072건으로 앞으로도 해수면 상승, 지구 온난화, 물 부족 등 기후변화로 인한 자연재해가 증가할 것으로 전망됨¹⁾²⁾

- 최근 발생하고 있는 기후변화와 자연재해에 따른 이슈는 폭염과 가뭄, 초대형 산불, 홍수와 같은 극단적 기상이변으로 나타나고 있으며, 그 규모의 대형화, 빈도의 급증, 재해 유형의 다양화로 그 양상이 나타나고 있음

- UN 산하 재난위험경감사무국(United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR)이 발표한 세계 재해 보고서에 따르면, 1980~1999년 사이 발생한 자연재해보다 2000~2019년 사이 발생한 자연재해 수가 약 1.7배가 증가했다고 나타남³⁾

- 북한에서 2015년 가뭄으로 인한 이재민은 인구 백만 명당 18명으로 세계에서 가장 높은 재해성 피해 수치를 나타냈으며, 2016년 홍수로 약 538명의 희생자가 발생하여 그 해 전 세계에서 세 번째로 많은 자연재해로 인한 희생자 수를 나타냈음⁴⁾

○ 기후변화에 대한 대응으로 국제사회는 1992년 6월 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment &

1) 진대용·강성원·최희선·한국진·김도연 (2018), 기후환경 이슈 분석을 위한 텍스트 마이닝 활용 방안 연구, 한국환경정책평가연구원.

2) 강현정·최충익 (2023), 기후변화와 자연재해 이슈에 대한 빅데이터 분석과 함의. 부동산정책연구, 24(1), 65-82.

3) United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (2020), The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019).

4) 오삼언·박소영 (2022), 북한의 자연재해와 기후변화 대응전략. 현대북한연구, 25(3), 181-223.

Development, UNCED)를 통해 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)을 채택함⁵⁾

- 기후변화협약을 채택한 나라(Conference of the Parties, COP)들을 중심으로 매년 컨퍼런스를 개최하여 기후변화에 대한 대응과 주요 쟁점 사항들을 논의함
- 2022년 COP27을 통하여 지구 평균온도 상승 제한 폭(1.5°C 유지, 2°C로 확대)과 개발도상국을 위한 손실 및 피해 금융 자금, 청정에너지 확대, 기후변화 적응 등의 주요 이슈에 대한 전 세계적 목표 구축과 국가 간 대처 능력 차이를 고려한 대응 방법 등을 논의함

□ 북한은 UN에 제출한 자발적 국가검토보고서(Voluntary National Review, VNR)를 통하여 기후변화 및 재생에너지 활용에 관한 관심과 국제사회와의 협력 의지를 나타냄⁶⁾

- 북한은 UN의 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 북한의 국가개발목표와 연계하고자 함
- 북한은 SDGs 7번인 ‘적정가격의 지속가능한 에너지 제공’을 ‘모두를 위한 지속가능한 현대식 에너지의 접근 보장’이라는 북한식 목표를 제시함
 - 북한은 2015년부터 여러 개의 발전소와 총 발전용량 950MW의 대규모 수력발전소 건설을 추진하고 있으나, 2016년 연이은 폭염과 가뭄으로 전력 생산에 차질이 있었음
 - 2017년 북한의 전체 전력망에 접근하는 인구 비율이 99.7%에 달했으나, 증가하는 전력 수요를 완전히 충족시키지는 못하였으며 농촌 지역의 전력 접근성 지수는 낮게 나타남
 - 북한의 『에너지 관리법(1998년 2월 4일 채택, 개정)』 규정 중 중소형 발전소 건립을 가속화하고, 대체 에너지를 적극 동원하여야 한다는 내용이 있음
 - 최종에너지 소비단계에서 재생에너지가 차지하는 비중이 점차 감소하

5) 정지원 · 정서용 · 이고은 · 박소정 · 전지연 (2022), 국외감축을 활용한 NDC 이행방안과 주요 정책과제, 대외경제정책연구원, ODA 정책연구.

6) DPRK (2021), Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda.

고 있으나 계속해서 재생에너지 장비와 기술 도입을 장려함에 따라 태양광 발전 기술이 활발히 도입되고 있음

○ 북한은 SDGs 13번인 ‘기후변화 대응’을 ‘기후변화 그리고 그 영향과의 투쟁’이라는 북한식 목표를 제시함

- 북한 스스로 극심한 기후변화가 잦은 나라로 인식하고 있으며, 농업 생산량 감소, 농업 기반 파괴, 토지와 물 자원의 저하 등 기후변화의 부정적 영향이 있음을 명시함
- 북한은 기후변화에 대한 대응과 이를 평가할 수 있는 성과지표, 기후변화가 미칠 영향 감소와 조기 경보, 인간과 기관 대처 능력을 향상하기 위한 교육과 인식 제고를 강화하고 있음을 명시함

□ 북한의 기후변화 이슈는 비무장지대의 경계를 넘어 남한 주민에게도 영향을 미치고 있으며, 남북 공동대응을 통해 기후 문제가 한반도의 건강권에 미칠 부정적인 영향을 감소하는 정책 방안의 강구 필요함

○ 북한의 기후변화 모니터링과 재생에너지 활용을 고려한 지속가능 건강증진 전략이 필요한 상황임

- WHO의 가이드라인에 따르면, 기후변화 적응과 친환경적인 Health Care Facility를 구축하기 위한 4가지 기본 요소가 있으며 이는 보건의료 인력(Health workforce), 물과 위생(Water, sanitation, hygiene and health care waste management), 에너지(Sustainable energy services), 인프라 구축(Infrastructure, technologies and products) 임⁷⁾
- 기후변화에 대한 조기경보체계는 국가 단위에서 운영하지만, 지역단위의 Health Care Facility라고 할 수 있는 보건지소에서 기후 자료를 측정/수집한다면 해당 지역의 기후위험에 대한 선제적 대응이 가능할 것

○ 북한의 농촌 및 도서산간 지역의 전력 접근성이 낮기 때문에 재생에너지를 활용한 보건지소 전력 공급은 지역 주민들의 건강증진에 일조가 가능함

- 서울대학교는 넬슨 만델라 아프리카 과학기술원과 협력하여 탄자니아 교외지역에 스마트-독립전력망을 활용한 소규모 태양광 발전소를 건설

7) WHO (2020), WHO guidance for climate resilient and environmentally sustainable health care facilities. (Retrieved from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240012226>)

- 하여 해당 지역의 50여 가구에 전력을 공급한 프로젝트를 진행함⁸⁾
- 지속가능성 및 사후관리를 위해 원격 모니터링과 데이터 수집 등 시스템 컨트롤을 지속적으로 수행하였으며, 추후 새로운 발전소 건립을 위한 데이터를 축적하였음⁸⁾
- 기후 대응과 친환경적인 Health Care Facility 구축의 4가지 요소 중 재생에너지를 사용한 기후변화 모니터링 모델을 제시하는 것은 북한의 관심도에 부합하며 이는 기후위기의 대응과 기후변화로 인한 신종감염병 창궐 등을 예측하는 등 한반도 전체의 건강 증진에 크게 도움이 될 것으로 보임
- 북한에 적용 가능한 재생에너지 활용 기후변화 모니터링 시스템 구축을 기반 조성 연구부터 실험(pilot test), 모델 제시의 체계적인 순서에 따라 다년도 과제로의 진행이 필수임
- 본 연구는 서울대학교 의과대학 통일의학센터가 주축이 되어 미네소타 환경보건대학원, 적정기술학회가 공동 연구로 참여하며 국제보건의 개발도상국 사례를 남한에서 테스트 및 타당성 검증 후 북한에 적용 가능한 모델을 제시하는 목적을 가지고 있음
- 다년도 과제로의 순차적인 진행을 통해 조사된 기반 조성 연구 결과를 바탕으로 pilot test를 예정하며 서로 다른 곳에서 시행되어 다년간 축적된 데이터는 북한에 적용 가능한 모델의 실현 가능성을 높일 수 있을 것임

나. 연구개발의 목표 및 내용

- 남북 기후변화 및 건강 영향 모니터링 기능 강화를 위한 스마트 보건지소 개발 기반 조성 연구를 진행하고자 함(기반 조성)
- 1차 연도에는 북한의 기후변화 관련 정책 및 법령에 관한 문헌과 북한 기후의 특성 및 에너지 사용에 관한 문헌을 조사하고 개발도상국에서 적용되고 있는 기후변화 모니터링 사례 및 에너지 적정

8) 이협승·임혁순·프랭크 앤드류 마농기·신영인·송호원·정우균·안성훈 (2021), 탄자니아의 태양광 발전소와 통합된 전기 모빌리티 운영 시스템, Journal of Appropriate Technology, 7(2), 127-135.

기술 사례를 조사하여 최종 모델 제시의 근거를 마련하고자 함

- 최종 모델이 북한에서 적용이 가능한지를 판단할 근거를 마련하기 위하여 북한에서 의료인으로 활동했던 북한이탈주민에게 자문을 구하고자 함
- 국내 보건지소 한 곳을 선정하여 기후변화 및 건강영향에 관한 pilot test를 진행하고자 함

2. 북한 기후의 특성 및 기후변화 대응

가. 북한 기후의 특성

- 북한의 평균기온은 지난 30년(1981~2010년)과 최근 30년(1991~2020년)의 평년값⁹⁾ 비교하면, 8.5°C에서 8.9°C로 0.4°C 증가하였음¹⁰⁾¹¹⁾
 - 북한의 평균기온은 증가했으나 기후변동성이 확대되면서 봄·여름·가을의 평균기온은 증가했으나 겨울 평균기온은 감소함
 - 특히 봄 최고기온은 1991~2000년 14.2°C에서 2011~2020년 15.4°C로 20년 만에 1.2°C가 증가하였음
 - 북한의 1991~2020년 연평균 최고기온의 평년값은 14.5°C로 최고기온이 가장 높은 달은 8월로 27.6°C, 최고기온이 가장 낮은 달은 1월로 -1.3°C를 나타냄
 - 여름철에 최고기온은 평양이 28.7°C로 가장 높으며, 그 다음으로 사리원(28.6°C) 순이며, 겨울철에 최고기온은 삼지연이 -8.5°C로 가장 낮으며, 혜산(-5.7°C), 장진(-4.9°C), 중강(-4.8°C) 순으로 낮게 나타남
 - 북한의 1991~2020년 연평균 최저기온의 평년값은 4.0°C로 최저기온이 가장 높은 달은 7월과 8월로 19.1°C이며, 최저기온이 가장 낮은 달은 1월 -12.3°C를 나타냄
- 북한의 연강수량은 지난 30년(1981~2010년)과 최근 30년(1991~2020년)의 평년값을 비교하면, 919.7mm에서 912.0mm로 7.7mm 감소하였음¹²⁾
 - 계절별로 지난 30년(1981~2010년)과 최근 30년(1991~2020년)을 살펴보면, 봄·가을·겨울 강수량은 약 1~5mm 감소하고, 여름철에는

9) 평년값: 과거 30년간의 기온이나 강수량 따위의 기상 요소를 평균하여 나타낸 값

10) 김다울·김범환·한하린·이대은 (2022), 북한 기후변화 적응을 위한 국제협력방안: 농업과 자연재해를 중심으로, 대외경제정책연구원, 전략지역심층연구.

11) 기상청 (2021), 북한기상 30년보(1991~2020년)

12) 기상청 (2021), 북한기상 30년보(1991~2020년)

약 0.5mm 증가함

- 2012~2021년 북한의 주요 자연재해 16건 중 11건이 여름에 발생한 홍수 및 폭풍으로 인한 재난임을 보았을 때, 여름철 강수량 증가는 북한에 심각한 피해를 주고 있는 것으로 판단됨¹³⁾

- 북한은 1인당 온실가스 배출이 낮은 국가 중 하나이며, 온실가스 배출량은 2019년 ‘연료 연소에 의한 온실가스 배출량(단위: 백만 톤 CO2eq)’은 54.4로 같은 해 남한의 590.7에 비해 1/10에도 못 미치는 수준임¹⁴⁾

- 북한의 1인당 온실가스 배출량은 2030년 6.5tCO2e로 증가할 것으로 예상하지만 이는 여전히 세계 평균에도 못 미치는 수준임

나. 북한의 기후변화 정책과 법령

□ 북한 기후변화 관련 국가적 차원의 노력

- 북한은 SDGs 달성을 위한 세부 목표와 이행지표 관련 내용이 담긴 북한의 VNR¹⁵⁾에 “1990~2020년 사이 전국에 홍수와 태풍 등 자연재해가 자주 발생하였다”고 언급하며 반복적인 자연재해로 인한 피해를 기술한 바 있음
- 대북제재와 자연재해로 인한 열악한 상황 속에서도 기후변화 대응을 위한 국가적 차원의 노력도 지속적으로 실천하고 있음¹⁶⁾
 - 1994년 기후변화협약 채택, 2005년 교토의정서, 2015년 파리협약을 비준
 - 2016년 제1차 국가 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contribution, NDC)를 UNFCCC에 제출
 - 2017년 세계자연보전연맹(IUCN) 국토환경보호성이 정부기관으로 가입

13) 오삼언·박소영 (2022), 북한의 자연재해와 기후변화 대응전략. 현대북한연구, 25(3), 181-223.
 14) 대북협력민간단체협의회 (2023), 『남북 공동 기후변화 대응을 위한 인도적 대북협력 전략 구상』
 15) UN 회원국이 UN 고위급정치포럼(High-Level Political Forum, HLPF)에 제출하는 보고서로 지속가능발전목표의 주요 목표 및 실행단계의 내용이 담겨있음
 16) 최현아 (2023), 2023 통보리 아카데미 발표자료 - 지속가능한발전목표(SDGs)와 북한의 기후변화 위기 대응 노력.

- 2018년 170번째 회원국으로 람사르협약 가입 후 적극적인 활동
 - 2019년 녹색기후기금(Green Climate Fund, GCF) 국가지정기구 및 연락담당자 지정
 - 2019년 제2차 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 제출
 - * 2030년까지 자체 노력으로 온실가스 배출량을 배출전망(Business As Usual, BAU¹⁷⁾) 대비 16.4% 감축 추진
 - * 재생에너지를 통한 전력생산 확대와 환경기술 발전을 통한 녹색경제 이행 토대 구축의 목적
 - 2021년 UN SDGs 이행 점검을 위한 VNR 제출
- VNR에 담긴 북한이 제시한 국가발전목표와 시행 계획 중 기후변화 및 건강 관련 과제는 목표3, 목표7, 목표9, 목표11, 목표13에 제시됨
- 특히, 목표9와 목표13은 기후변화 문제만을 중심으로 서술¹⁸⁾
 - (목표9 시행 계획) △ 인프라 개선에도 불구하고 화석연료 연소로 인한 이산화탄소 배출량 증가, △ 2016년 발표한 ‘2030년 자발적 온실가스 감축 계획’에 따라 모든 완화 대책을 실행, △ 온실가스 배출량의 정확한 통계는 1994년 채택한 UN 기후변화협약을 준수, △ 온실가스 완화 조치에 있어 UN과의 협력 필요
 - (목표13 시행 계획) △ 극심한 기후변화에 따라 농업 생산량 감소, 농업 기반 파괴, 토지와 물 자원 저하 등 부정적 영향에의 노출, △ 기후변화와 이로 인한 재난의 영향을 줄이는 방안을 국가 정책화하여 유엔 기후변화협약과 파리협정을 충실히 이행

17) 2030년 온실가스 배출전망치로 인위적인 조치를 취하지 않을 경우 배출이 예상되는 온실가스의 총량을 의미함

18) 국가안보전략연구원 (2022). 기후변화 대응을 위한 남·북·미 3각 협력 추진전략 - 해외 삼각협력 사례분석을 참고로.

국가발전목표	시행 계획
[목표3] 모든 인민의 건강보장과 삶의 질 개선	<ul style="list-style-type: none"> 말라리아, 결핵 등 질병 감소 비상방역사업의 견고한 기반 구축
[목표7] 모두를 위한 지속가능한 현대식 에너지 접근 보장	<ul style="list-style-type: none"> 재생에너지 사용 확대 친환경 연료와 기술 도입 추진
[목표9] 주체사상과 과학기반 국가경제수립, 인프라 현대화	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 배출량 감소 유엔기후변화협약에 따라 온실가스 완화 대책 실행
[목표11] 풍요롭고 문명화된 삶을 위한 생활·환경 보장	<ul style="list-style-type: none"> 공기, 강, 하천, 호수 등 오염 방지 재난과 위기에 대비한 복원력 향상
[목표13] 기후변화 그리고 그 영향과의 투쟁	<ul style="list-style-type: none"> 유엔기후변화협약과 파리협정 충실히 이행 국가재난위협경감정책(NDRRS) 이행

<표 1> 북한 VNR 내 기후변화·건강 관련 국가발전목표와 시행 계획

□ 북한 기후변화 대응 사업

- 2016년 UNFCCC에 제출한 제1차 NDC에 따르면, 북한의 기후변화 대응은 ‘온실가스 감축사업(mitigation)’과 ‘기후변화 적응사업(adaptation)’으로 분류 가능함¹⁹⁾
- 온실가스 감축사업(mitigation)
 - (기후변화를 위한 국가적 기반 강화) 법·제도 강화, 국가 온실가스 관리 시스템 개발, 장기 개발 정책 수립 등
 - (에너지 사용 효율성 상승과 소비 감소) 주거 부분의 효율적 에너지 사용 및 절약, 관개 용수 용출을 위한 전력 소비 감소 등
 - (재생에너지 개발의 활용 규모 확대) 재생에너지 기반 오프그리드(off-grid) 발전 시스템 일반화, 제로탄소 기술 보급 등
 - (기후변화에 대응하기 위한 참여 및 대중 인지 확대) 기후변화 완화 교육 및 대중 인식 캠페인 선전 운동 강화 등
 - (기후변화 완화를 위한 국제 공조 확대) 기후 관련 기술 보급 촉진을 목적으로 국제적 기술 매커니즘 기반 포함 협동 강화 등
 - (기후변화 완화 조치를 위한 경제지원 확대) 예산 지원 추가, 저탄소 개발을 위한 새로운 투자 개척 등

19) 대북협력민간단체협의회 (2023). 『남북 공동 기후변화 대응을 위한 인도적 대북협력 전략 구상』

○ 온실가스 적응사업(adaptation)

- 북한 관측망 개선을 위해 북한 기후 관련 정보 서비스 개선
- 주거 지역을 기반으로 한 재난관리체계 개선을 위한 역량 강화
- 기후변화에 대한 교육 및 대중 인식 강화와 각종 재난에 대처하는 정부기관의 역량 강화
- 재난 상황에 대한 평가, 모니터링 및 조기경보를 위한 국가 시스템 구축
- 각종 전염병 DB 구축 및 치명적인 전염병과 질병에 대한 의료 기상예보 시스템 구축 등

□ 북한 기후변화 및 건강 대응 관련 법²⁰⁾

- 북한의 기후변화 정책은 헌법에서부터 환경보호법, 환경영향평가법, 국토환경보호단속법, 기상법 등에서 확인 가능함
- 특히, 건강 관련 정책 또한 공중위생법, 국경동식물검역법, 의료법, 인민보건법, 수의방역법 등에서 포괄적으로 다루고 있기에 국가적 차원의 노력을 기울이고 있음을 확인함
- 기후변화에 따른 건강 영향 문제는 유기적으로 연관되어 있기에 이를 망라한 북한의 노력을 살펴볼 필요가 있음

20) 대북협력민간단체협의회 (2023). 『남북 공동 기후변화 대응을 위한 인도적 대북협력 전략 구상』

법률	법 세부 내용
총괄 분야	
헌법	제57조 “국가는 생산에 앞서 환경보호 대책을 세우며 자연환경을 보존, 조성하고 환경오염을 방지하는 인민들에게 문화위생적인 생활환경과 노동조건을 마련하여 주어야 한다”
환경보호법	인민대중들에게 자주적이며 창조적인 생활환경을 보장하여 주기 위하여 또한 문화위생적인 환경과 노동조건을 마련해 주기 위한 환경보호법제의 기본법
환경정책 및 기후변화 분야	
국토환경보호 단속법	국토환경보호 질서위반 행위를 엄격히 단속해 국토와 자원, 환경을 보호하고 인민들의 자주적이며 창조적인 생활환경을 마련하기 위해 제정된 법
환경영향평가법	환경영향평가 문건의 작성과 신청, 심의, 환경영향평가 결정의 집행에서 제도와 질서를 엄격히 세워 환경파괴와 그로 인한 피해를 미리 막고 깨끗한 환경을 보장하기 위해 제정된 법
기상 분야	
기상법	기상관측과 예보, 기상시설의 관리에서 제도와 질서를 엄격히 세워 기상 사업을 발전시키고 경제발전과 인민생활 안전에 이바지하기 위해 제정된 법
건강 분야	
공중위생법	공중위생사업에서 제도와 질서를 엄격히 세워 인민들의 위생적인 생활환경과 조건을 마련하고 그들의 건강을 보호증진시키기 위해 제정된 법
국경위생검역법	국경위생검역 질서를 세워 전염병의 전파를 막고 인민들의 생명과 건강을 보호하기 위해 제정된 법
의료법	의료활동에서 제도와 질서를 엄격히 세워 의료 사업을 발전시키고 인민들의 건강을 보호증진시키기 위해 제정된 법
인민보건법	인민보건 사업은 자연과 사회의 주인이며 세상에서 가장 귀중한 존재인 사람들의 생명을 보호하고 건강을 증진시키며 그들이 사회주의 위업 수행에 적극 이바지하기 위해 제정된 법
전염병예방법	전염원의 적발, 격리, 전염경로차단, 전염병 예방접종에서 제도와 질서를 엄격히 세워 전염병을 없애며 인민들의 생명과 건강을 보호증진시키는데 이바지하기 위해 제정된 법

<표 2> 북한 기후변화 및 건강 대응 관련 법

다. 탈북의료인 자문

□ 북한의 보건의료 시스템 현황

○ 의료시스템 현황

- (호담당제도) 호담당의는 3개 마을(리)을 관할하며 리진료소에서는 검

사 불가하고 진단서 발급만 가능

- (의료전달체계) 영상이나 검사 기반 진단을 위해 상급병원 내원 시, 호담당의사의 의료서나 소견서 지참 필수
- (하부지도) 상급병원에서 하부기관인 리 진료소 관할 마을 현장 방문과 질병 관리
- (군위생방역소) 약품 공급과 함께 위생·예방 관련 선전 활동 실시
- (비공식적 의료체계) 제한적인 약품 공급이 이뤄지며, 상급병원에서 진단 후 장마당을 통해 약 구매가 이뤄짐

○ 질병 보고 및 진단 체계

- 호담당이가 증상에 기반하여 진단한 질병을 편지 또는 전화로 상급 시군인민병원에 보고
- 매월 1회 리진료소 호담당 의사나 담당 과장이 상급 시군인민병원에 보고
- 시군인민병원의 통계 담당 직원이 수집된 정보를 군보건과에 전송
- 시군인민병원에서는 군보건과에 전송된 정보를 매월 1회 도예방원에 종이로 보고
- 최상위기관 보건성까지 행당 정보가 보고되며, 그 과정에서 환자 수가 부풀려지거나 누락되기도 함
- 리진료소 단위 진단검사 기계가 미비하여 시인민병원이나 독립병원 이상 상급 의료기관에서만 진단 가능

□ 기후변화와 건강 정보의 디지털화

○ 기후 관련 질환 현황

- 여름철에는 설사 질환이 많으며, 양질의 식수와 연료 공급의 부족으로 수인성 질환 예방이 어려운 환경임
- 봄에는 출혈열, 여름에는 급성간염이 주로 유행하며 이외 콜레라, 말라리아 환자가 다수임

○ 기상관측과 예보 체계

- 유선으로 방송을 듣는 사람이 있고 중앙방송 이후에 송출되는 지역방송에서 행정구역상 도를 기준으로 한 기상 방송이 나옴
- 날씨 예보는 부정확한 편이며, 예보가 잘 맞지 않아 안 보는 편임
- 조선중앙TV 채널에서 계절에 따른 보건 및 방역 정보를 제공하며 특

히 3~4월은 북한의 위생 월간임

- 보건성 차원에서 이뤄지는 장마철을 비롯한 계절에 따른 질환 예방 지침 안내와 재교육을 시행하고 있음
- 북한에는 기후 조기경보체계가 없는 것으로 파악됨

○ 보건의료 분야 정보의 디지털화와 조기경보 체계 활용 가능성

- 시군 보건의료 기관은 인터넷 사용이 제한적이며 종으로 보고를 받는 체계를 갖고 있음을 염두해야 함
- 도급 병원은 평양의 상급 병원 격인 김만유병원, 적십자병원과 연결된 화상 진료를 시행 중인 것으로 파악됨
- 만약 기후 조기경보 체계 관련 건강 매뉴얼을 인터넷에 공개할 경우, 북한 보건성에서 top-down 방식으로 적극 활용할 가능성이 높다고 판단됨(bottom-up 방식은 한계가 있음)

3. 기후변화 모니터링 시스템 구축의 기반 조성

가. 개발도상국의 기후 모니터링 사례

□ 개발도상국 현황 조사

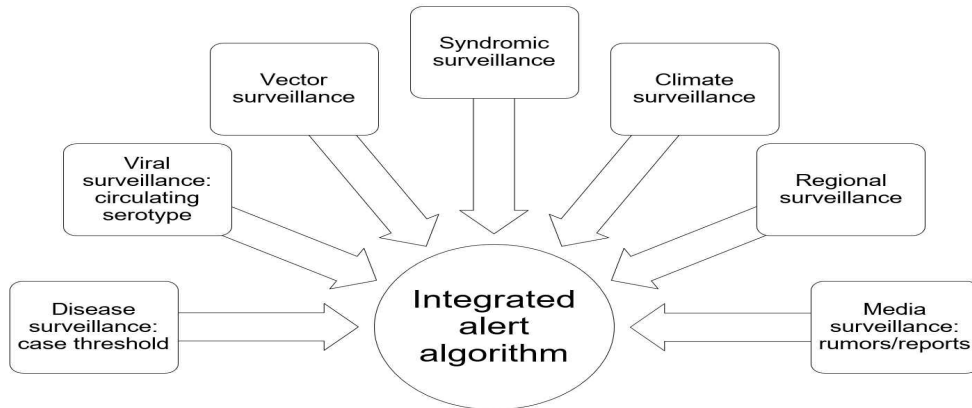
- 북한의 제한된 정보로 인하여 북한의 질병감시체계 현황을 이해하는데 한계가 있었음
- 탈북의료인의 의견도 탈북 시기와 지역, 개인의 경험 차이로 일반화하는데 한계가 있음
- 이를 극복하기 위하여 북한과 비슷한 경제력 규모를 가진 국가를 조사하여 간접적 이해를 도모하고자 함

□ 개발도상국 조사 준비

- 국가 단위 기후 민감 질환 질병감시체계 구축에 관심이 있는 개발도상국을 조사 선정하여 설문을 통해 현재 질병감시체계 현황을 조사
- 각 국가 보건부의 담당자에게 연락, 설문을 통하여 필요한 정보를 얻어내고자 함
 - [그림 1]과 같이 현존하는 다양한 형태의 질병감시체계를 조사하여 각 국가에 해당되는 질병감시체계를 파악할 수 있음²¹⁾

21) Runge-Ranzinger S · Kroeger A · Olliaro P · McCall PJ · Sánchez Tejada G · Lloyd LS et al (2016), Dengue Contingency Planning: From Research to Policy and Practice. PLoS Negl Trop Dis 10(9): e0004916.

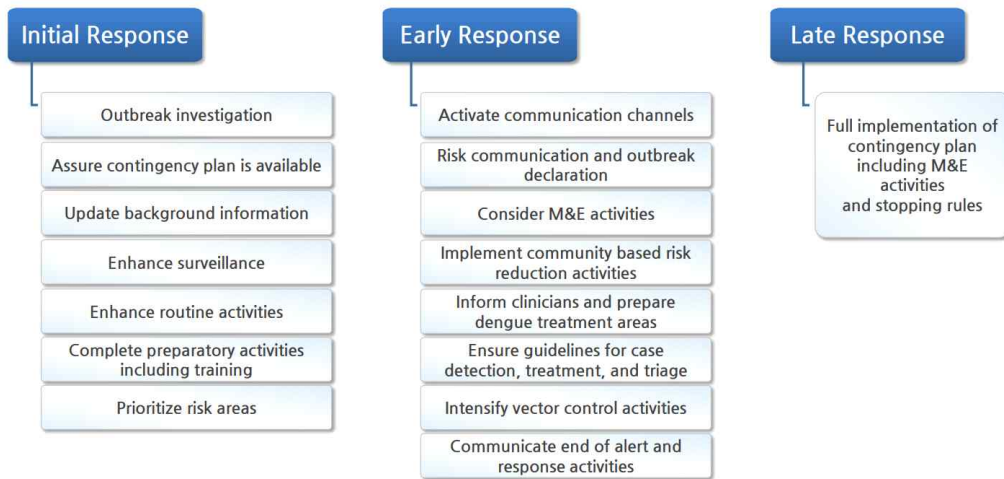
Main components of a surveillance system



Outbreak detection leading to staged response

[그림 1] 여러 형태의 질병감시체계와 통합 시스템의 예시

- [그림 2]와 같이 3단계로 나누어진 질병감시체계로 파악된 질병의 outbreak 경보에 맞춘 대응체계를 조사함



[그림 2] 3단계 질병감시체계

- 최종적으로 <표 3>과 같이 설문지를 개발함
- 총 15개의 개발도상국 보건부 담당자에게 발송

Country:	
Questions about the surveillance system in your country (Please mark the correct answer)	
1. Do you receive weekly or monthly information about notifiable diseases?	Daily (Event based surveillance, Media surveillance, 24/7 hotline surveillance) Weekly Rota Monthly for other diseases None
2. If monthly information, do you think your surveillance system will be able to change to weekly information?	Yes No
3. Which of the following diseases are notifiable?	Malaria Cholera Dengue Zika (This disease is not yet been notified in our country) Chikungunya Yellow Fever (This disease is not available in our country)
4. Which % of suspected dengue/chikungunya/Zika cases get a laboratory confirmation?	30% in off pick season & 80% in pick season (It varies with health facility, patients flow and seasonality)
5. Is your disease surveillance based on routine reporting by all health units or based on Sentinel Hospitals?	All units Sentinel hospitals
6. What type of data reporting, transmission and storage does your surveillance system facilitate?	Paper based Digital Mixed (Mainly paper based but will be converted into digital)
7. Is there any spatial information reporting under your surveillance system (e.g. diseases cases reported with their information on household, neighborhood, area, village, locality or district?)	Yes No
8. If there is a spatial information reporting, at which level?	Household, Neighborhood, Area Village

	Area District
9. How do you know that an outbreak has started?	Unexpected increase of cases (Event based surveillance, 24/7 hotline, Media surveillance & others) Outbreak prediction with alarm signals Climate data to predict outbreaks None of these
10. Do you have routine entomological surveillance for outbreak prediction (e.g. larval indices?)	Yes No
11. If you have entomological surveillance, at which level of the BI or HI or CI do you have an outbreak alarm? (Not applicable)	BI = HI = CI =
12. Do you have any other kind of Early Warning System (EWS) for outbreaks?	Yes/No (Not automated system)/ If Yes, which one _____
13. Do you have a staged alarm system (initial, early, late alarm)?	Yes No
14. If you have a staged alarm system, how does it work?	Not applicable
Questions about the outbreak response system in your country	
15. Do you have a contingency plan for outbreaks?	Yes No
16. Do you have standard operational procedures (SOPs) for vector control during outbreaks?	Yes No
17. Do you use risk maps in the inter-epidemic period and during outbreaks?	Yes No
Any other comments?	

〈표 3〉 질병감시체계 조사를 위한 설문지

□ 개발도상국 조사 결과

- 총 15개국 중 8개국에서 설문에 참여하였으며, 참여국은 방글라데시, 캄보디아, 에티오피아, 말라위, 모잠비크, 미얀마, 네팔, 동티모르(Timor-Leste)가 있음
- 6개국(방글라데시, 캄보디아, 모잠비크, 미얀마, 네팔, 동티모르)에서는 덩기열 감시체계가 가동되고 있었음
- 7개국(캄보디아, 에티오피아, 말라위, 모잠비크, 미얀마, 네팔, 동티모르)에서는 주 단위(weekly) 발생 보고가 이뤄지고 있었음
- 5개국(에티오피아, 말라위, 모잠비크, 미얀마, 동티모르)에서는 모든 보건 의료 시설에서 질병 발생 보고(routine surveillance)를 하고 있고, 방글라데시, 네팔, 캄보디아만 지정 보건 의료 시설에서 질병 발생 보고를 하고 있음(sentinel surveillance)
- 아시아 4개국은 Laboratory Confirmation을 통해 질병 발생 자료를 보고하고 있으나 아프리카 4개국은 Laboratory Confirmation 없이 의사 소견으로 질병 발생을 진단함
- 아시아 4개국 중 네팔과 미얀마는 80% 이상의 질병이 Laboratory Confirmation을 통해 보고되고 있음
- 6개국에서 서면과 전산이 혼합된 보고 형식을 가지고 있음
- 캄보디아는 전산 보고만으로 이루어져 있고, 미얀마는 서면 보고만으로 이루어져 있음
- 아시아 4개국은 마을(리) 단위 질병 발생 정보가 보고되고, 아프리카는 구 단위 지역 질병 발생이 보고되고 있음
- 네팔, 동티모르, 말라위를 제외한 모든 국가에서 Risk Mapping System을 갖추고 있음
- 모기 등 매개체 감염을 위한 곤충감시체계는 에티오피아에서 1년에 한 번 특정 지역에서 이루어지며, 캄보디아에서 간헐적으로 이루어짐

□ 질병 발생 확인 및 대응

- 캄보디아, 말리위, 에티오피아를 제외한 5개국에서 Dengue에 대한 대응 계획을 수립하고 있음
- 8개국 모두에서 Outbreak Detection은 질환자의 이상 증가로 확인하였음
- 캄보디아, 미얀마, 모잠비크는 Outbreak Threshold(endemic channel)를 이용하여 Outbreak Detection을 함
- 8개국 모두에서 단계별 대응체계가 수립되지 않았음
- 방글라데시, 네팔, 미얀마, 동티모르만 매개체 질병 outbreak 대응체계를 가지고 있었음

나. 기후변화 모니터링 시스템 구축을 위한 예비분석

□ 북한과 비슷한 환경의 국내 보건지소 형태의 의료기관 선정

- 북한과 같이 이동이 한정된 1차 의료기관의 형태로 선정
- 여러 지역의 의료기관 중 연구에 참여가 가능하고 위와 같은 형태의 의료기관 중 서울대학교 관악 캠퍼스의 보건진료소를 선정함
- 의학연구윤리심의위원회(IRB)의 연구 승인을 획득함

□ 예비분석에 활용한 건강 및 기상자료

- 개인의 신상 정보가 제거된 2013~2022년까지의 보건진료소를 방문한 모든 환자의 자료를 1차로 정리함
 - International Classification of Disease (ICD)가 아닌 자체 질병 분류를 사용함
 - 환자의 방문 일시, 나이, 성별, 질병분류코드로 이루어진 질병 데이터 베이스를 만듦
- 기후 민감 질환을 조사하기 위해 기상자료와의 역학적 연관성을 보고자 함
 - 기상자료는 관악 캠퍼스에 국한된 자료를 얻으려 하였으나, 기상

청에서 제공하는 최근 10년 기상자료를 활용함

- 기상자료는 서울시 종로구 송월길 52에 위치한 서울기상관측소에서 관측된 자료만 활용이 가능하였음
- 기상자료는 기상청 데이터베이스에서 접근이 가능하며, [그림 3]과 같이 기상청 홈페이지에서 다운로드가 가능함
- 여러 기상자료 중, 종관기상관측(Automated Surface Observing Systems, ASOS) 자료를 이용하였으며 여러 기상 요소 중 질병 발생과 연관된 4개 요소를 이용하였음
- 4개 요소는 기온(mean, min, max), 강수량(daily total, hourly max), 습도(mean, min, max), 바람(speed min, speed max, direction)임

기상청 기상자료개방포털

국가기후데이터센터 소개 | *가-카 | 로그인 | 사이트맵 | ☆ 즐겨찾기 | ENG(info)

'관측'을 검색하세요

인기검색어

기상자료개방포털이란? 데이터 기후통계분석 간행물 소통과 참여

Home > 데이터 > 기상관측 > 지상 > 종관기상관측(ASOS)

종관기상관측(ASOS) - 자료

■ 자료설명

종관기상관측이란 종관규모의 날씨를 파악하기 위하여 정해진 시각에 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 지상관측을 말합니다. 종관규모는 일기도에 표현되어 있는 보통의 고기압이나 저기압의 공간적 크기 및 수명을 말하며, 주로 매일의 날씨 현상을 뜻합니다.

자료형태	분, 시간(매정시), 일, 월, 연	제공기간	1904년~(지점별, 요소별 다름)
제공지점	103개 * 원하는 지점이 없는 경우, 방재기상관측(AWS) 메뉴 이용	제공요소	기온, 강수, 바람, 기압, 습도, 일사, 일조, 눈, 구름, 사정, 지면상태, 지면·초상온도, 일기현상, 증발량, 현상번호
유의사항	- 1회 조회 가능 최대 기간: 분 1일, 시간 1년, 일 10년, 월연 제한 없음(장기간 자료는 '파일셋 조회' 메뉴 이용) - 시간/분 자료에 대해 관측값의 정상 여부를 판단하는 품질검사 플래그(QC FLAG) 정보 제공 * 제공 요소: 기온, 습도, 기압, 지면온도, 풍향, 풍속, 일조 / 플래그 종류(의미): 이(정상), 1(오류), 9(결측) - 전일 자료는 당일 10시 이후 확인 가능		
비고	- 10분 또는 1시간 최대강수시각은 최대강수가 나타난 시작 시간으로, (-) 표기가 있는 경우 전날을 뜻함 - 강수량은 겨울철(11월-익년 3월) 3시간 간격으로 제공		
지침	요소별 관측방법이나 자료 산출방식에 대한 상세 설명은 [지상기상관측지침] 참조		

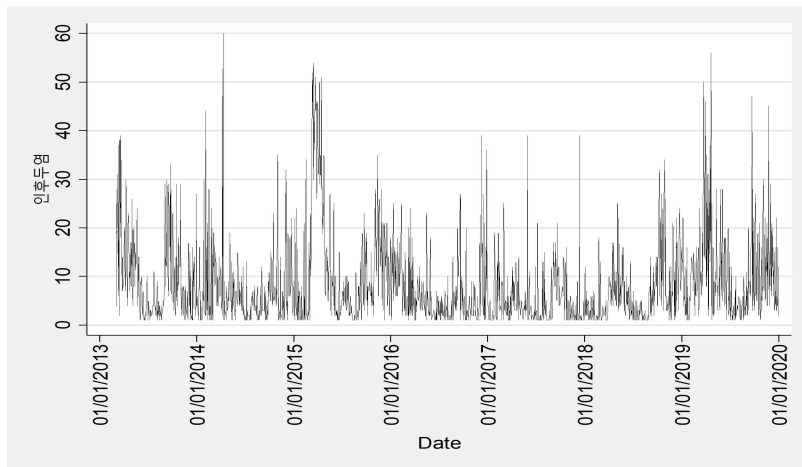
자료 파일셋 캘린더 OPEN-API

[그림 3] 기상청 기상자료 데이터베이스

(출처: <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>)

□ 질병 자료의 분석

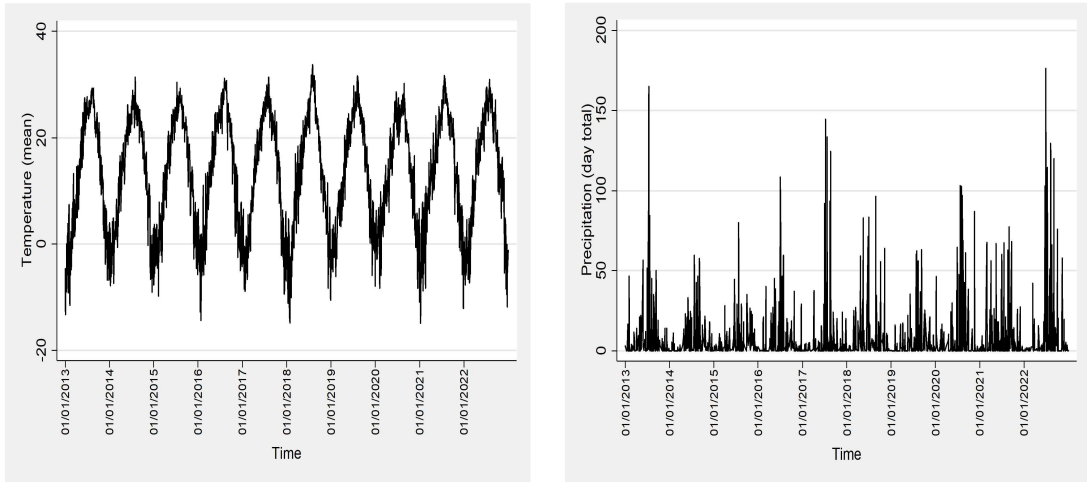
- 2차 연도 심층 분석을 위해 1차 연도에서는 데이터 정리와 데이터 베이스 구축을 목표로 함
- 정리된 데이터베이스를 이용 간단한 질병 자료 분석을 시도함
 - 날씨와 연관이 깊고 방문 시 유병률이 높은 인후두염(일반 감기)을 이용하여 기상자료와의 연관성을 살펴봄
 - [그림 4]와 같이 겨울에 발생률이 높음
 - 2020~2022년 자료는 코로나19로 인해 편향될 가능성이 높아 분석에서 제외함



[그림 4] 지난 10년(2013~2022년)간 인후두염 유병률 트렌드

□ 기상 자료의 분석

- 다양한 형태의 4개 기상자료 트렌드를 살펴보고 질병자료와 매치 시킴
 - [그림 5]는 기온의 규칙적인 주기성과 강수량의 다소 불규칙적인 주기성을 보여주고 있음

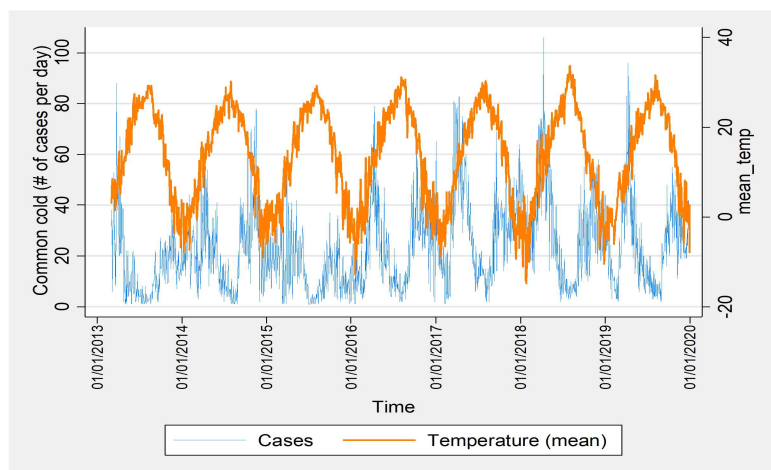


[그림 5] 일평균 기온(좌)과 일총 강수량(우)의 10년간 트렌드

□ 인후두염과 기상의 역학적 연관성 분석

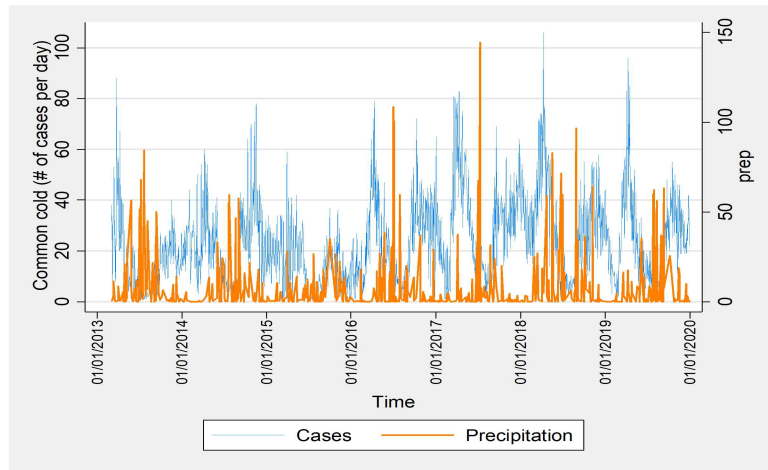
○ 우선 인후두염 유병률과 기상 요소의 트렌드를 Visual Assessment를 통하여 그 연관성을 확인함

- [그림 6]과 같이 인후두염 유병률과 일 평균기온 간의 Inverse Relationship이 확인됨
- 기온이 상승하면 인후두염 발생일 줄어들고, 기온이 하락하면 인후두염 발생이 증가함
- 일 평균 20°C 이상에서는 인후두염이 거의 발생하지 않음
- 영하의 기온보다 기온이 0~10°C에서 인후두염이 더 많이 발생됨



[그림 6] 인후두염과 일평균 온도의 Inverse Relationship

- [그림 7]에서 강수량과 인후두염 간의 관계를 보려 하였으나, 온도와 같이 강력한 연관성은 보이지 않음
 - 이는 비가 주로 오는 시기가 여름이라 계절성보다는 일일 강수량과의 연관성이 중요해 보임



[그림 7] 인후두염과 강수량 간의 트렌드

- Regression Modeling을 이용하여 변수들의 crude와 adjusted 한 연관성을 Relative Risk (RR: 상대 위험도)로 수치화함
 - Generalized Linear Model with Poisson distribution이 분석에 사용됨
 - 질병과 기상자료 사이에 linearity를 확인함
 - 간단한 lagged effect를 조사함
 - 기상 요소와 함께 seasonal과 long-term time trends adjustment를 분석함
 - Quasi-Akaike Information Criterion을 통해 최적의 모델을 선정함
 - 다양한 uncertainty를 파악하고, sensitivity analysis를 통해 Bias 범위를 제시함
- 기본 분석 결과는 다음과 같음<표 4>
 - 2013~2020년 동안 총 386,802명이 서울대학교 관악 캠퍼스 보건진료소에 방문하였고, 성별의 경우 남성이 52%로 여성보다 4% 많았음

- 나이는 평균 30.5세로 하위 10%는 20세, 상위 10%는 51세로 학부생 뿐만 아니라 대학원생, 교직원 등 다양한 연령대가 방문하였음
- 전체 환자 중 10.6%가 급성 인후두염으로 방문하였음
- 기상의 경우, 일 평균온도는 13°C이며, 최저 평균온도는 9°C, 최대 평균온도는 18°C, 가장 낮은 온도는 -18.6°C, 가장 높은 온도는 39.6°C를 나타냄
- 강수량의 경우, 일 평균 8mm이고 최대 176.2mm까지 기록됨
- 습도의 경우, 평균 60.7%이며 최저 39.3%, 최대 100%로 기록됨
- 바람의 경우, 이번 분석에서는 풍향은 고려되지 않았고, 풍속의 경우 최소 2.3m/s에서 최대 4.9m/s로 관측됨

Age (mean, 10-90%)	30.5	20-51
Gender		
Male	187,992	52.0
Female	173,360	48.0
Acute pharyngitis		
Yes	41,062	10.6
No	349,489	89.4
Average temperature		
Mean (min-max)	13	-14.9-33.7
Minimum (min-max)	9	-18.6-30.3
Maximum (min-max)	18	-10.7-39.6
Precipitation (mm)	8	0-176.2
Humidity		
Mean (% , min-max)	60.7	18-100
Minimum (% , min-max)	39.3	7-97
Wind speed		
Minimum (m/s, min-max)	2.3	0.6-6.4
Maximum (m/s, min-max)	4.9	1.6-12.6

<표 4> 대상자의 인구학적 특성 및 기상관측 자료의 특성

○ 회기 분석 결과는 다음과 같음<표 5>

- <표 5>와 같이 모델링을 통해 분석한 결과, 일일 최대 풍속이 인후두염 유병률과 가장 강한 연관성(RR=0.96, 95% CI 0.95-0.97)을 보였으나, 풍속이 약할수록 인후두염 유병률이 증가하는 관계를 보여 bias analysis 등 자료의 정확성 및 biologic plausibility에 대한 추가 조사가 필요함

- 온도는 RR=0.98(95% CI 0.97-0.98)로 온도가 낮을 때 인후두염 유병률이 증가하는 형태를 보임
- 습도 또한 낮을수록 인후두염이 감소하는 형태를 보이나 그 연관성이 강하지 않음(RR=0.99)
- 강수량은 연관성이 보이지 않음

Weather parameter	RR	95% CI	
Temperature (mean)	0.98	0.97	0.98
Precipitation (day total)	1.00	1.00	1.00
Humidity (mean)	0.99	0.99	0.99
Wind speed (day max)	0.96	0.95	0.97

<표 5> 기상자료와 인후두염 유병률과의 연관성을 보기 위한 Generalized Linear Model with Poisson distribution 분석 결과

4. 재생에너지 시스템 구축

가. 개발도상국 재생에너지 활용 사례

□ 재생에너지 종류와 글로벌 동향

- 환경문제와 화석에너지자원의 고갈로 전 세계의 신·재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있으며 본 절에서는 국제기구 및 국가들이 공통적으로 인정하는 재생에너지원에 대한 간략한 정리와 개발도상국의 재생에너지 활용 사례를 살펴보고자 함
- 신·재생에너지는 화석연료의 변환, 수소·산소 등과의 화학반응을 통해 열 또는 전기를 발생하는 수소에너지, 연료전지, 석탄가스화 등의 ‘신에너지’와 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등 재생 가능한 에너지를 변환시켜 열 또는 전기를 발생시키는 태양(태양열·태양광), 풍력, 수력, 해양, 지열, 바이오, 폐기물에너지 등의 ‘재생에너지’를 통칭함²²⁾
- 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)를 포함한 미국, 유럽연합(European Union, EU) 등에서는 신에너지를 제외한 재생에너지라는 용어를 사용하고 있으며, 국제기구와 국가별로 재생에너지를 인정하는 기준도 일부 상이함<표 6>

구분	태양열	태양광	풍력	수력	지열			바이오 매스	폐기물	매립지 가스	해양에너지
					화산	심부	천부				
IEA	○	○	○	○	○	○		○	△		○
미국	○	○	○	△			○	○	△	△	△
EU	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○
일본	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△
한국	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○

<표 6> 국제기구 및 국가별 재생에너지 분류(○ 전부 인정, △ 일부 인정)

(출처: 정예림 (2020), 신·재생에너지 보급의 영향 요인 연구, 서울대학교 대학원 학위논문)

- 재생에너지는 2019년 말 기준, 글로벌 총에너지 소비의 약 11.2%

22) 국회입법조사처 (2015), 신·재생에너지 보급·육성 현황과 개선방안(2015년도 국정감사 시정 및 처리 결과 평가보고서).

- 를 차지하고 있으며, 이는 2009년 대비 약 2.5% 증가한 비율임
- 세부적으로 바이오-태양-지열에너지가 4.2%, 수력에너지가 3.6%, 풍력에너지가 2.4% 등으로 조사되고 있음²³⁾
 - 미국, 독일, 영국은 풍력에, 중국은 수력에, 일본과 한국은 태양광에 집중되어 국가별로 재생에너지원이 상이함을 알 수 있음[그림 8] & <표 7>



[그림 8] 주요국의 재생에너지 발전설비 현황(2018년 기준)

(출처: IRENA (2019), Renewable Capacity Statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.)

구분		풍력	수력	태양광	바이오	기타	총계
미국	용량(MW)	94,295	84,007	46,692	12,948	7,303	245,245
	%	38.4	34.2	19.0	5.3	3.0	100.0
중국	용량(MW)	184,696	322,871	175,018	13,235	45	695,865
	%	26.5	46.4	25.2	1.9	0.0	100.0
일본	용량(MW)	3,654	28,193	55,500	2,272	536	90,154
	%	4.0	31.3	61.6	2.5	0.6	100.0
독일	용량(MW)	59,420	5,627	45,930	9,003	34	120,014
	%	49.5	4.6	38.3	7.5	0.0	100.0
영국	용량(MW)	21,736	2,178	13,108	6,418	20	43,460
	%	50.0	5.0	30.1	14.8	0.0	100.0
한국	용량(MW)	1,311	1,794	7,862	1,419	255	12,641
	%	10.3	14.2	62.2	11.2	2.1	100.0

<표 7> 주요국의 재생에너지 발전설비 현황(2018년 기준)

(출처: IRENA (2019), Renewable Capacity Statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.)

23) REN21 (2021), RENEWABLES 2021 Global Status Report.

- 재생에너지 중 풍력, 수력, 태양, 바이오매스, 지열에너지 등은 이미 개발도상국에 보급되어 운영되고 있거나 지속적으로 보급이 진행되고 있음²⁴⁾
- 풍력에너지
 - 바람이 가지는 운동에너지로 터빈을 회전시켜 전기를 생산하는 방식으로, 발전이 가능한 풍속(4~25m/s)의 바람이 풍부한 풍량으로 지속 유지되는 지역을 선정하는 것이 가장 큰 제약조건임
 - 유럽 일부 국가와 미국 등에서는 1980년대 중반부터 대규모 풍력 발전을 적용하고 있으며, 2000년대 이후 해상 풍력에 대한 관심도 높아지고 있음
 - 풍력발전은 기술 성숙성과 자국/지역 내 에너지원, 탄소배출 제로 등의 장점을 가지고 있으나, 지역 선정 및 안정적 전력공급이 제한되고 소음에 대한 제어, 유지관리에 대한 기술적 요구 등의 단점이 있음
- 수력에너지
 - 물의 잠재적 에너지를 전기로 전환하는 수력발전은 선진국에 의해 대규모 수력발전 환경에서 개발되며 기술적 성숙도가 높아진 상황임
 - 개발도상국 및 오지지역에서 적용 가능한 500KW~10MW급 소수력 발전은 지역적 특색과 생태계 유지를 고려하여 설계되면 유용하게 활용 가능함
 - 수력발전은 낮은 유지관리비와 안정된 전력공급, 자국 내 에너지원 등의 장점을 가지고 있으나, 수요지와 분리된 한정된 입지 조건과 초기 투자 비용이 높은 단점이 있음
- 태양에너지
 - 태양 발전은 풍부한 태양의 에너지를 이용하여 태양광 발전, 집광형 태양열 발전, 태양열 난방 등에 활용하는 방법임
 - 태양광 발전은 태양의 복사선을 전기로 전환하는 시스템으로 지구상 대부분의 지역에서 독립적으로 운용이 가능함
 - 태양 발전은 이산화탄소 배출이 없고 고갈 우려가 낮으며 자국 내 에너지원의 활용 등의 장점을 가지고 있으나, 에너지 밀도가 낮고 지역적 영향이 크며 기상에 따라 안정적 전력공급이 어려운 점과 초기 투

24) 임소영 (2011), 신재생에너지를 중심으로 한 농촌전력화 프로그램 개발협력 모델, ODA연구 2011-09-199, 한국국제협력단.

자비용이 소요되는 단점이 있음

○ 바이오매스에너지

- 바이오매스는 유기물을 직접 연소, 메탄 발효, 가스화 등의 방법으로 연소시켜 전기에너지로 전환하는 방법으로, 저장이 용이하고 온실가스 배출도 낮다는 평가를 받고 있음
- 반면, 아프리카 등의 개발도상국에서 활용되는 과정에서 효율성이 낮고 건강 및 환경문제를 악화시킨다는 문제가 제기되기도 함
- 바이오매스 발전은 자국 내 에너지원의 활용이 가능하고 자연적 여건에 영향이 없는 장점이 있으나, 낮은 전력 생산효율과 안정적 전력공급이 어려운 단점이 있음

○ 지열에너지

- 지열은 지반의 깊은 하층에 저장 되어있는 열에너지로서, 이를 추출하여 직접 활용하거나 전기로 전환하는 방식으로 에너지화할 수 있음
- 지열에너지는 자국 내 에너지원을 활용 가능하고, 낮은 이산화탄소 배출 등의 장점이 있으나, 수요 변동에 대한 대응이 어렵고 자원 잠재성이 한정적이며 초기 투자비용이 큰 단점이 있음

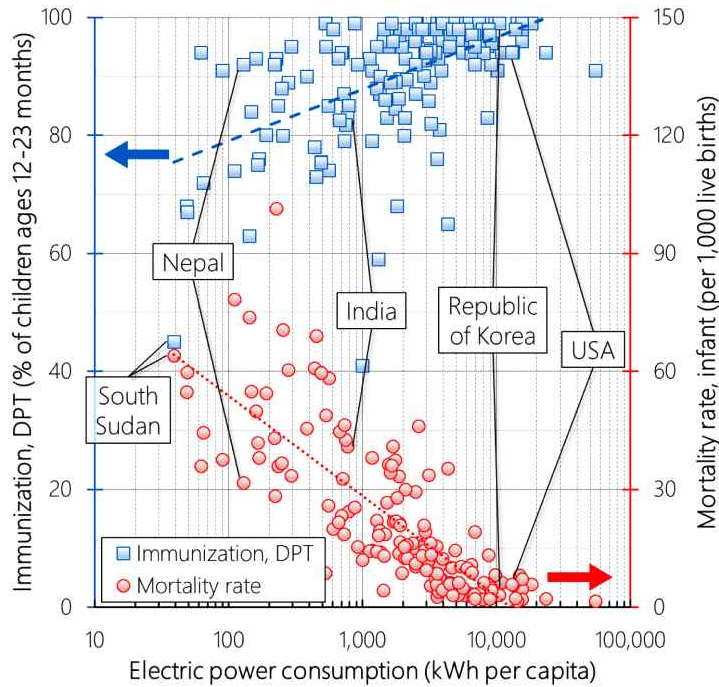
□ 개발도상국의 재생에너지 활용 사례

○ 개발도상국은 에너지 인프라가 미흡하여 국가 전력망이 제대로 구축되지 못하고 주민들의 전력 사용 접근성이 낮은 상태인데, 전력 사용에 대한 접근성은 영아사망률과 백신 접종률 등 보건과 밀접한 관계를 보임

○ 미국, 한국과 같은 인당 전력 소비량이 높은 국가는 보건지표가 양호한 반면, 남수단, 네팔과 같은 개발도상국은 전력 보급의 제약으로 낮은 인당 전력 사용량을 보이고 있으며, 이와 함께 보건지표도 매우 좋지 않은 모습을 보여주고 있음²⁵⁾[그림 9]

○ 개발도상국의 에너지 인프라 보급을 위한 노력은 UN SDGs(Sustainable Development Goals)를 통한 범세계적 관심과 함께 다양한 형태로 수행되고 있음

25) 김민수·문정욱·류종하·김민식·비나약 반다리·박정은·아누즈 바타찬·비탈 모가살레·추원식·이선영·송철기·안성훈 (2020), 신재생 에너지의 백신 콜드체인 확장 효과: 네팔 사례 연구, 적정기술학회지 6(2), pp.94-102.



[그림 9] 전력 소비량과 보건지표와의 관계

(출처: 김민수 외 (2020), 신·재생에너지의 백신 콜드체인 확장 효과: 네팔 사례 연구)

- 개발도상국들에 있어 재생에너지가 경제성장과 에너지 효율 향상에 긍정적임을 확인한 다양한 연구 결과들이 제시되고 있음²⁶⁾
- 에너지 인프라 구축을 위한 자생적 능력이 부족한 개발도상국에 대한 에너지 인프라 지원은 공적개발원조(Official Development Assistance, ODA), NGO(Non-Governmental Organization), 사회적 기업 등이 단독 또는 공공-민간 파트너십 등을 통해 지원 사업 또는 소규모 오프그리드 사업 등 다양한 형태로 추진되고 있음²⁷⁾
- 대형 지원 사업의 대표적인 사례로는 디젤 연료 기반 에너지 생산이 97%를 차지하는 솔로몬제도의 티나강에 한국수자원공사(운영/관리)와 현대엔지니어링(건설)이 수력발전용댐과 15MW급 수력발전

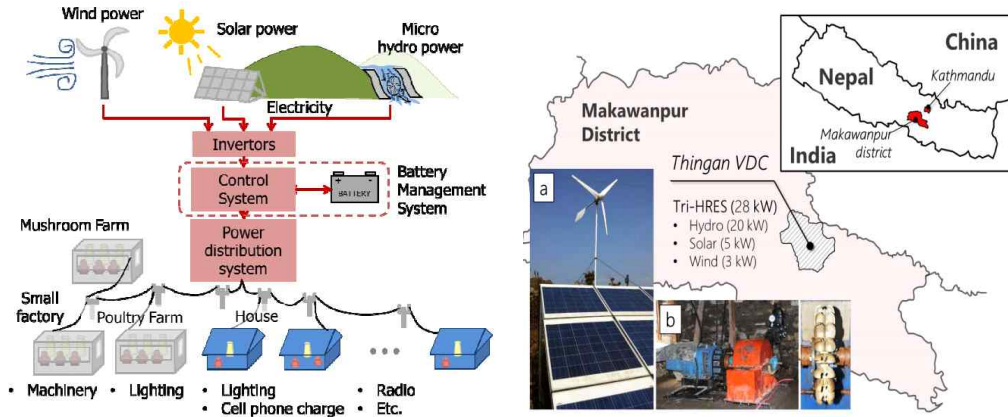
26) 장형식·구일섭 (2022), 북한 발전과 주민 안전을 고려한 북한 신재생에너지 전력 시장 가치 추정, 대한안전경영과학회지 24(3), pp.75-84.

27) 정혜운·여현덕 (2018), 개도국 '에너지 혁신' 파트너십 분석 : 케냐와 방글라데시 마을의 신재생에너지 오프그리드 개발 사례를 중심으로, 국제지역연구 22(1), pp.261-284.

소를 건설하여 저탄소 에너지 생산을 도모하는 GCF(Green Climate Fund) 프로젝트가 진행 중임²⁸⁾

- 대형 지원 사업의 경우에는 막대한 초기비용이 소요되고, 지역적 특성에 따라 제약적인 경우가 많음
- 이에 소규모 오프그리드 사업을 통하여 개발도상국의 전력 여건을 개선하고자 하는 다양한 노력이 소요되고 있음²⁹⁾
 - नेपाल은 대표적인 산악지역 개발도상국으로, 일부 도시 밀집 지역을 제외하고는 고도 1,000미터 이상의 산악지역에 집들이 분산되어 있는 상황임
 - 정부의 지원 없이 유지보수가 가능하도록 지속 가능한 오프그리드 전력 시스템을 구축한 사례임
 - 대부분의 지역에서 활용 가능한 태양광 발전과 산악지형의 지형풍을 이용한 풍력발전, 소량의 물을 산악지형의 높은 고도차를 이용하는 소수력 발전을 접목하여 태양광-풍력-소수력을 복합적으로 적용한 하이브리드 발전시스템을 구축함
 - 발전소 주변 마을의 가정수와 발전 시간 및 사용 시간을 분석하여 시스템의 규모를 판단하고, 축전지를 이용하여 발전 및 사용 시간의 차이에서 발생하는 공극을 최소화함
 - 인근 지역에 하이브리드 재생에너지 전력 시스템을 구축하여, ‘확장된 하이브리드 독립망’ 구축의 가능성과 고려 사항을 도출하고, 전력 시스템의 유지보수를 위한 소득 모델과 간접효과인 건강증진 및 교육환경 개선 등에 대한 가능성을 제시함
- 아프리카 평원지역 오프그리드 재생에너지 시스템 구축 사례³⁰⁾
 - 탄자니아는 아프리카 동남부에 위치하고 있으며, 넓은 영토에 세렝게티 국립공원, 킬리만자로산 등의 관광자원을 보유하고 있으나, 아프리카 대부분의 국가와 마찬가지로 낮은 GDP의 개발도상국가임
 - 2013년 기준 농촌지역 전력 보급률은 약 5.3%이며, 전력 품질 또한 세계 최저 수준으로, 전력망을 확보하기 위한 국가 차원의 계획을 수

28) 김성진·한희진·박보라 (2021), 한반도 탄소중립을 위한 남북 기후개발협력 방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.
 29) 안성훈·이경태·반다리 비나약·이길용·이선영·송철기 (2012), 지속가능성을 고려한 산악지역 독립망 전력시스템의 신재생 에너지원 구성 전략, 한국정밀공학회지 29(9), pp.958-963.
 30) 김지수·정우균·하보라·문지현·이협승·안성훈 (2019), 스마트-독립전력망을 사용한 소규모 태양광 발전소의 건설과 운영: 한국-탄자니아 적정기술 거점센터의 사례, 적정기술학회지 5(2), pp.62-69.



[그림 10] 산악지역 하이브리드 발전시스템 개념도(좌) 및 네팔 구축 사례(우)
 (출처: 안성훈 외 (2012), 지속가능성을 고려한 산악지역 독립망 전력시스템의 신재생 에너지원 구성 전략; 김민수 외 (2020), 신재생 에너지의 백신 콜드체인 확장 효과: 네팔 사례 연구)

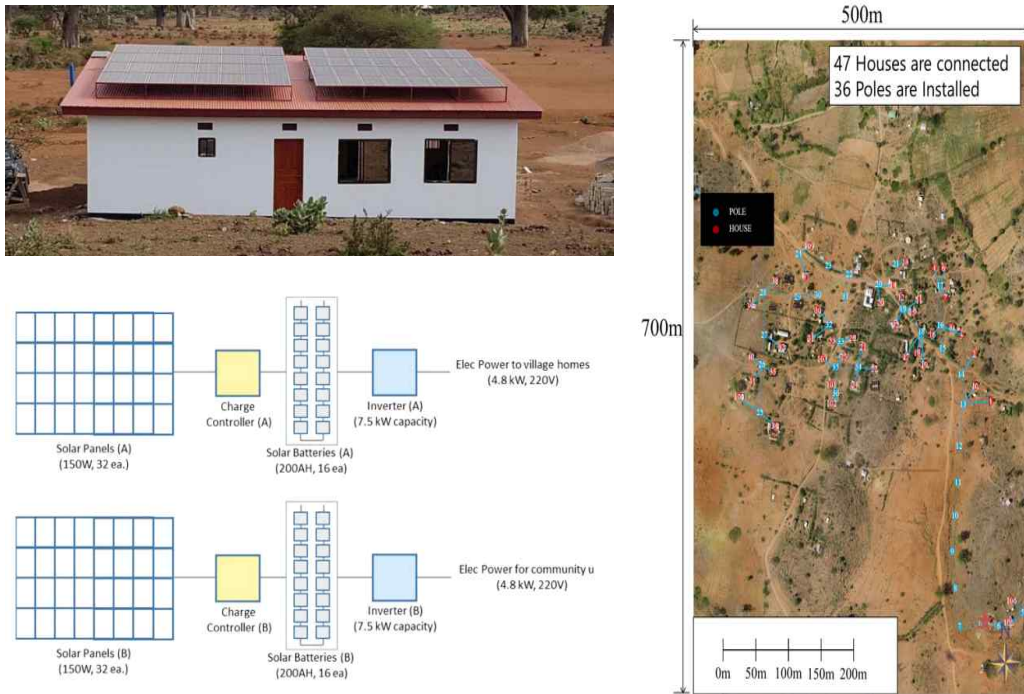
- 립하고 추진하고 있으나, 정상적으로 진행되지 않고 있는 상황임
- 건조한 기후와 평원 지형으로 인하여 재생에너지원 중 수력 또는 풍력 보다 태양광이 적절한 방법으로 평가되어 태양광발전소를 건설함
- 2017~2019년까지 약 7~10KW급 태양광발전소 3개가 설립되어 발전소 당 수십 가구의 가정과 공공시설에 전기를 보급하고 있음
- 탄자니아 오프그리드 태양광 발전시스템의 특징은 발전소와 각 전력공급에 스마트미터를 설치하여 실시간으로 전력의 생산과 소비를 모니터링하고, 알고리즘을 통해 다양한 분석과 원격제어가 가능한 시스템임
- 최근에는 본 발전시스템을 활용하여 전기 오토바이의 장거리 운행 충전시스템을 개발하는 사업을 추진 중에 있음³¹⁾

○ 케냐 소규모 마을 에너지 공급 시스템(국제기구지원 기업 주도)³²⁾

- 민간기업 스티마코(Stema.Co)가 NPO(Non-Profit Organization) 및 국제기구와 파트너십을 맺고 개발도상국에 에너지 수급을 수행한 사례로, 스티마코는 네팔, 케냐, 우간다, 탄자니아 등 7개국 2천여 가정과 기업에 전력을 공급 중임
- 태양광 발전을 기반으로 축전지, 스마트미터, 선불처리시스템 등을 구비한 마이크로 스마트그리드를 구축함

31) 이협승·임혁순·프랭크 앤드류 마농기·신영인·송호원·정우균·안성훈 등 (2021), 탄자니아 태양광 발전소와 통합된 전기 모빌리티 운영시스템: 비전과 시범운영, 적정기술학회지 7(2), pp.127-135.

32) 정혜운·여현덕 (2018), 개도국 '에너지 혁신' 파트너십 분석 : 케냐와 방글라데시 마을의 신재생에너지 오프그리드 개발 사례를 중심으로, 국제지역연구 22(1), pp.261-284.



[그림 11] 탄자니아 소규모 오프그리드 태양광 발전시스템

(출처: 김지수 외 (2019), 스마트-독립전력망을 사용한 소규모 태양광 발전소의 건설과 운영: 한국-탄자니아 적정기술 거점센터의 사례, 적정기술학회지 5(2), pp.62-69.)

○ 라오스 농촌지역 에너지 공급 시스템(사회적 기업 주도)³³⁾

- 사회적 기업인 선라롭(Sunlabob)이 주관이 되어 농촌지역 450개 마을에 5,600개의 태양광 시스템을 설치함
- 태양광 발전 설비의 임대 방식을 통해 농촌 주민들의 초기비용 부담을 줄이고, 기업이 시스템적으로 운영 및 관련하여 장기적으로 이용할 수 있도록 태양광 에너지 시스템을 보급함

나. 북한의 에너지 연계 기후 및 지형 특성

□ 북한의 전력 에너지 상황

- 북한은 현재 15개의 수력발전소와 8개의 화력발전소를 운영 중이나, 가용률은 50% 수준으로 추정되며, 2018년 기준 전력 이용률은 48.5%로 세계 최빈국 수준임³⁴⁾[그림 12]

33) 한재각 (2010), 기후변화와 개발도상국의 재생에너지 개발 - NGO와 사회적 기업의 경험, ECO 14(2), pp.187-230.



[그림 12] 북한의 전력 상태 위성사진(2017년)

(출처: https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2017/08/01/2017080100212.html)

- 발전소들의 현대화 및 설비 대체투자의 미흡으로 노후화가 심화되는 가운데, 대북제재로 외부 연료 수급이 어려운 상황에서, 2013년 ‘재생에너지법’을 채택하고 2044년까지 5,000MW의 재생에너지 발전 능력을 보유하는 정책을 발표함
- 또한 중국으로부터 소형 태양광 발전설비를 수입하여 가정용, 공장용, 소규모 기관용 등으로 활용하거나³⁵⁾, 소형 태양광 집열판, 소형 풍력발전기 등을 북한에서 자체적으로 생산 및 공급하는 등 전력부족 현상을 극복하고자 노력 중에 있음³⁶⁾
- 북한의 민간에 대한 에너지 공급은 우선순위에 밀려 조명을 포함한 취사, 난방, 가전제품, 배터리 충전 등 거의 모든 부분에서 일부 공급되거나 거의 미공급되고 있어 자체적으로 해결하고 있는 실정임³⁷⁾
- 북한의 태양광 발전 잠재량과 풍력발전 잠재량은 남한보다 높을 것으로 추정되어, 재생에너지를 이용한 전력공급을 통해 민간의 에너지 수급이 가능할 것으로 판단됨³⁸⁾

34) 김성진·한희진·박보라 (2021), 한반도 탄소중립을 위한 남북 기후개발협력 방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.

35) 통일부 (2022), 2022 북한 이해, 국립통일교육원, pp.179-180.

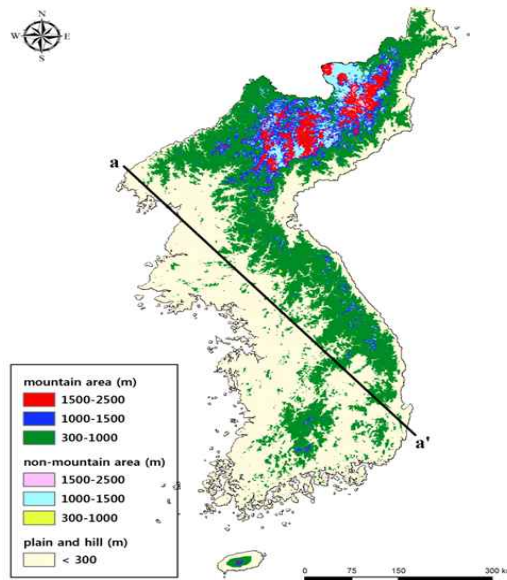
36) 김경원 (2020), 북한의 발전기 생산 및 사용 현황, KDB산업은행 미래전략연구소, Weekly KDB Report.

37) 빙현지·이석기 (2017), 북한 재생에너지 현황과 시사점, 산업연구원 정책자료 2017-295.

38) 김성진·한희진·박보라 (2021), 한반도 탄소중립을 위한 남북 기후개발협력 방안 연구, 한국환경정책·

□ 북한의 에너지 연계 기후 및 지형 특성 분석

- 지형학적 산지 분포 특성에 따르면, 남한 총면적의 약 31%, 북한 총면적의 약 51%가 산지로 분류됨³⁹⁾[그림 13]



[그림 13] 지형학적 산지의 분포

- 이에 따라, 북한의 경우 산악지역의 지형 및 기후 특성을 가지는데, 4계절의 변화가 뚜렷한 온대지역이나 대륙성 기후의 영향으로 겨울에는 매우 춥고, 여름에는 매우 더운 L 특성을 가짐
- 연중 평균 풍속은 2~3ms 정도이나 지형적 특성으로 지역에 따라 강한 풍속을 보이기도 함
- 기온은 연평균 3~6°C를 보이거나 여름과 겨울의 기온 차가 심하며, 고산 지역의 경사가 심한 지형을 따라 강과 하천이 생성되어 유속이 빠르고 수량이 풍부한 특징을 가짐⁴⁰⁾
- 에너지 기술연구원의 조사에 따르면, 풍력발전 개발이 가능한 풍력 밀도 300W/m² 이상인 북한의 면적이 남한의 1.7배에 해당하는

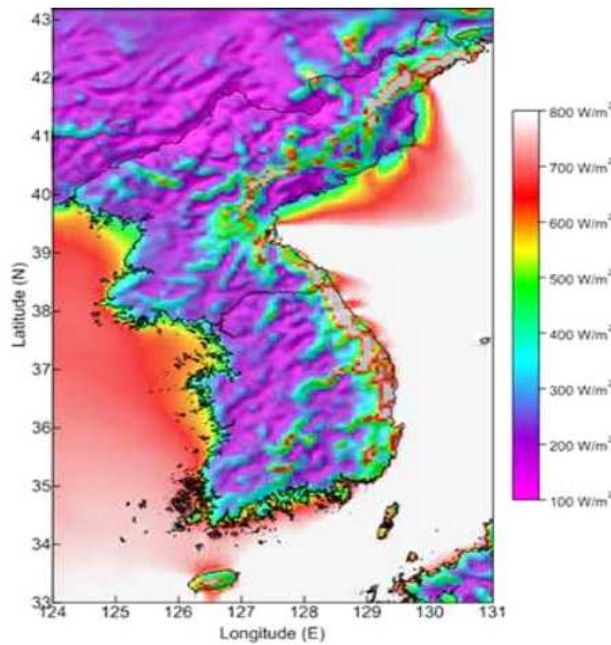
평가연구원.

39) 탁한명·김성환·손일 (2013), 지형학적 산지의 분포와 공간적 특성에 관한 연구, 대한지리학회지 48(1), pp.1-18.

40) 통일부, 북한정보포탈(nkinfo.unikorea.go.kr), 북한의 기후와 지형 (2023.09.12. 검색)

것으로 확인되며, 내륙 개마고원 일대와 서해안 지역은 풍력발전에 상당히 적합한 입지로 추정됨⁴¹⁾[그림 14]

- 풍속이 초당 4.5m/s 이상인 지역은 북한 전체 면적의 18% 수준이며, 서해안은 여름 남서풍이 8~10m/s 수준으로 대규모 해상풍력 발전도 가능할 것으로 판단됨



[그림 14] 북한의 풍력 잠재량 평가 지도

- 또한 에너지기술연구원은 동일 조사에서 북한의 하루 평균 일사량은 3.61kWh/m²으로 남한의 하루 평균 일사량인 3.67kWh/m²와 유사한 수준이며, 연간 일조시간은 2,280~2,680시간으로 북부 유럽보다 높은 수준으로 평가하였음
- 특히, 내륙 개마고원 일대는 연간 태양광 잠재량이 1,500Wh/m²로 다른 지역보다 높을 것으로 추정됨⁴²⁾[그림 15]

41) 김윤성·윤성권·이상훈 (2018), 남북 재생에너지 협력을 위한 전력과 정책적 과제, 환경법과 정책 21, pp.132-165.

42) 김윤성·윤성권·이상훈 (2018), 남북 재생에너지 협력을 위한 전력과 정책적 과제, 환경법과 정책 21, pp.132-165.



[그림 15] 북한의 태양광 잠재량 평가 지도(출처: World Bank ESMAP)

- 북한은 전체 전력 설비구조 중 수력이 약 61%를 차지하는 등 수력 개발에 적극적인 모습을 보이고 있으며, 지역별 소수력 발전도 장려하고 있는 상황임
- 수력의 잠재량에 대한 평가는 통계자료를 통해 추정이 가능한 수준에 그치고 있음
 - 하천이 가진 잠재적 발전 능력(포장수력)을 분석하기 위해 지형자료와 강수량 자료 등을 활용하여 북한의 7개 주요 강을 분석한 결과, 북한의 포장수력은 최대효율 42% 이상, 이용률 36% 이상으로 남한보다 큰 것으로 분석되었음⁴³⁾
 - 유엔산업개발기구(United Nations Industrial Development Organization, UNIDO)는 ‘2019 세계 소수력 발전 개발 보고서’에서 북한의 2019년 소수력 발전 설비 용량이 83.2MW로, 2016년 대비 약 2.5배 이상 증가했음을 제시하며 북한지역의 소수력 발전을 위한 지형 및 기상적 여건이 양호함을 추정할 수 있음⁴⁴⁾

43) 박미리·안재현 (2018), 북한의 수력발전가능량 산정 및 평가에 대한 연구, Journal of the Korean Society of Civil Engineers 38(1), pp.41-49.

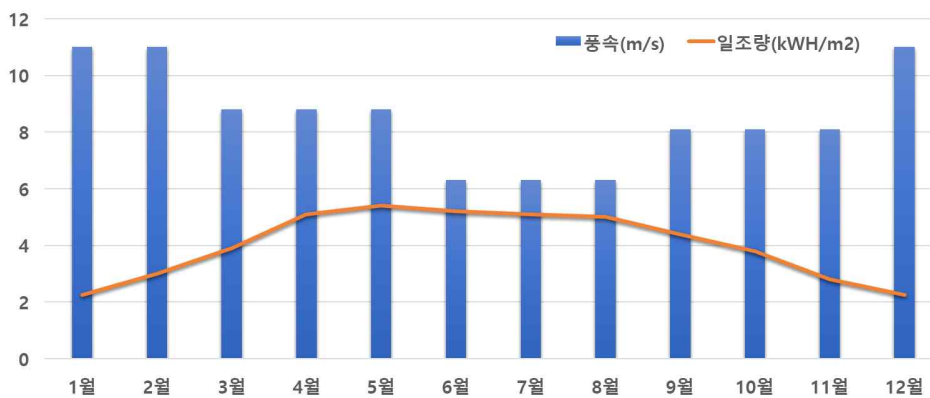
44) www.voakorea.com, (2023.09.12. 검색)

다. 북한의 특성을 고려한 적정 재생에너지 생산시스템 설계

□ 한국의 기후 및 지형 특성을 고려한 재생에너지 적용 연구 및 사례

○ 풍력-태양광 하이브리드 시스템을 제주도에서 적용하기 위한 시뮬레이션 연구⁴⁵⁾

- 제주도의 지역 특성을 고려하여 풍력-태양광 하이브리드 시스템 적용 지역을 선정하고 시뮬레이션을 통해 하이브리드 시스템의 발전 용량 및 비용과 화력발전소 및 내륙으로부터의 송전 비용을 비교함
- 분석 결과, 풍력-태양광-배터리 및 풍력-태양광-디젤-배터리 시스템이 최적의 시스템이 될 수 있음을 확인하였으며, 손익분기 거리 분석 결과로 해저케이블을 이용한 내륙 송전은 비경제적으로 도출됨[그림 16]



[그림 16] 제주도 한경면 지역의 풍속 및 태양광 상태

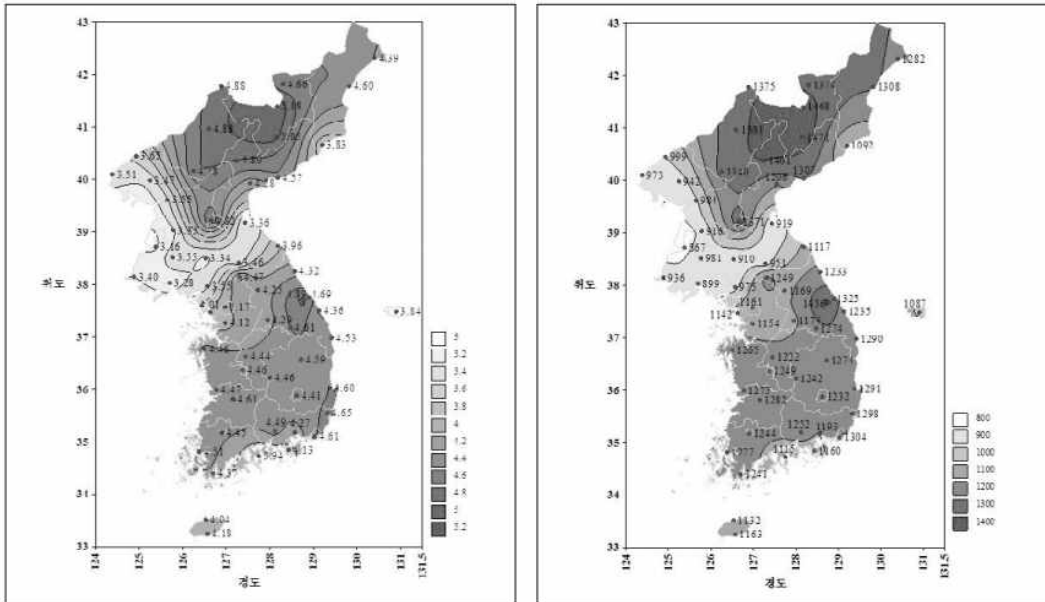
○ 고정식 태양광 발전시스템을 한반도에 적용하기 위한 최적 발전량 분석 연구⁴⁶⁾

- 미 냉난방공조학회의 기상분석자료 IWEC2(International Weather for Energy Calculations 2)를 기반으로 한반도의 태양광 발전량을 연구함
- 한국 주요 도시에서 태양광 시스템의 설치 경사각도 변화에 따른 연간 일조량을 분석하여 남한의 주요 도시별 최적 경사각도를 산출하고 태양광발전시스템의 최적 설치각이 30° 전후임을 확인함

45) 최형중·한권덕·민진영·심준형 (2012), 풍력-태양광 하이브리드 시스템을 이용한 제주도 전력그리드 최적화, 대한기계학회 2012년도 추계학술대회 논문집, pp.783-788.

46) 오세경·임병찬·이경희 (2012), 주택용 고정식 태양광발전시스템의 최적 전력발전량에 관한 연구, GRI 연구논총 14(2), pp.272-288.

- 또한, 지역별 고정형 태양광발전시스템의 최적 설치각에서 예상되는 일 평균 일조량과 연평균 발전량 분포를 통해 북한의 개마고원 지역이 태양광 발전에 양호한 지역임을 확인함⁴⁷⁾[그림 17]



[그림 17] 고정식 태양광발전시스템의 최적 설치 경사각도에 대한 일평균 일조량 분포(좌) 및 연평균 발전량 분포(우)

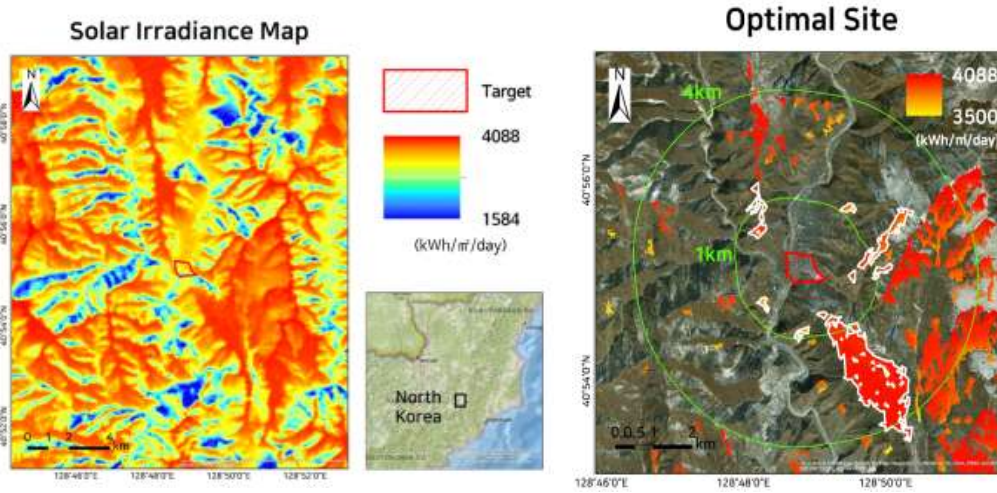
○ 북한 특정 지역에 대한 태양광 잠재량 분석 및 발전 최적지 선정 연구⁴⁸⁾

- 해발 630~1,700m로 마천령산맥에 위치한 함경남도 단천시 검덕광산 지역에 태양광발전소를 건설하여 광물 채취를 지원하는 시나리오를 기반으로 해당 지역의 태양광 잠재량을 분석하고 일사량 지도 제작을 통하여 태양광발전소 건설의 최적 부지를 선정한 연구임
- 지형과 토지 이용을 분석하여 적합하지 않은 지역을 제외하고 일사량 3,500Wh/m²/day 이상인 지역을 후보지로 하여 10,000m² 이상의 면적을 활용 가능한 지역을 선정함
- 또한, 예상 발전량과 건설비용, 광산 운용 소요 전력량 등을 판단하여 소요 전력의 약 50% 수준을 충당할 수 있을 것으로 예측함⁴⁹⁾[그림

47) 오세경·임병찬·이경희 (2012), 주택용 고정식 태양광발전시스템의 최적 전력발전량에 관한 연구, GRI 연구논총 14(2), pp.272-288.

48) 오명찬·김성민·구영현·박형동 (2018), 북한 검덕광산 인근 지역 태양광 잠재량 분석 및 최적 부지 선정, New & Renewable Energy 14(3), pp.44-53.

18]



[그림 18] 북한 검덕광산 인근지역의 태양광 잠재량 분석 결과(좌) 및 최적 발전소 부지 선정 결과(우)

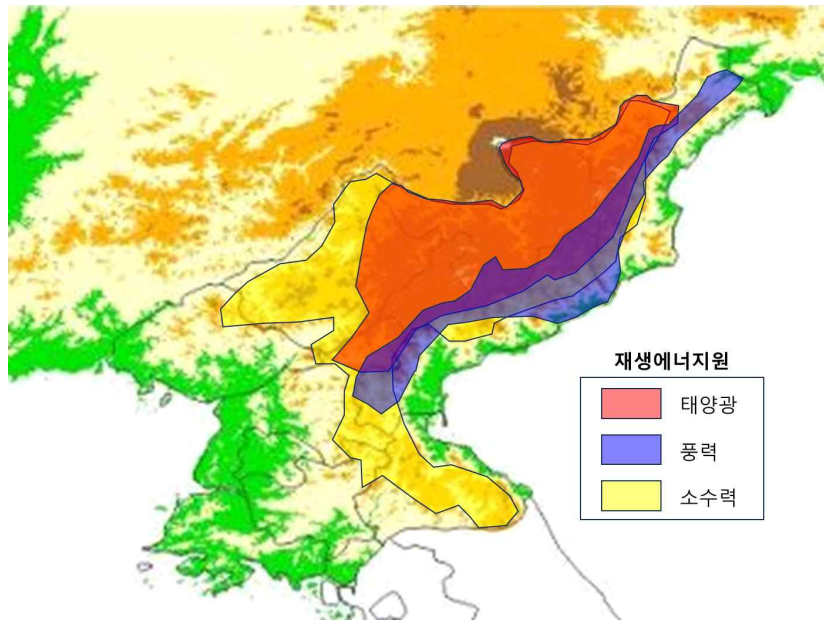
□ 북한지역에 대한 적정 재생에너지 생산시스템 설계

○ 분석 사례를 통해 도출한 북한지역 적정 재생에너지원

- 양강도와 함경남·북도 등에 태양광, 풍력, 소수력 등 재생에너지원이 집중됨을 알 수 있음[그림 19]
- 그러나 소수력의 경우, 해당 지역의 연평균 기온이 낮고 겨울이 길며 영하의 온도 기간이 길어 수력발전을 하기에는 많은 제약이 있을 것으로 추정됨
- 소수력을 제외하면 내륙 중심에서 긴 방향으로 태양광과 풍력의 하이브리드화가 가능할 것으로 판단되며 하이브리드 가능 지역을 중심으로 북서쪽 지역은 태양광, 남동쪽 지역은 풍력의 단독 적용이 유용할 것으로 판단됨
- 광범위한 범위에 대한 판단은 [그림 19]와 같이 추정할 수 있겠으나, 지역별로 지형적 특성에 따라 재생에너지원의 효율이 상이할 것이므로 재생에너지 발전시스템을 설치하기 전 최적지 선정을 위한 자료 조사 및 시뮬레이션 연구가 필요함

49) 오명찬·김성민·구영현·박형동 (2018), 북한 검덕광산 인근 지역 태양광 잠재량 분석 및 최적 부지 선정, *New & Renewable Energy* 14(3), pp.44-53.

- 앞서 소개한 검덕광산의 태양광 발전소 최적입지 선정 사례와 같이 국소지역 내 재생에너지원에 대한 잠재량 분석과 지형 및 기상 등의 상황을 종합적으로 검토할 필요가 있음



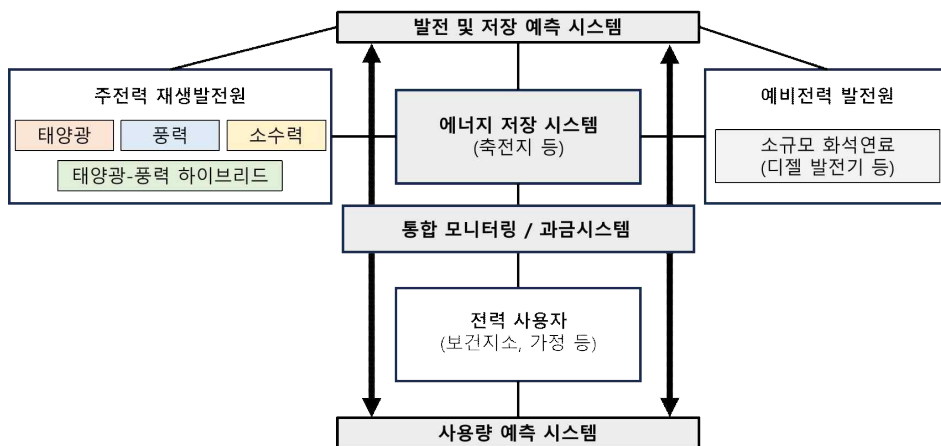
[그림 19] 북한지역 적정 재생에너지원

○ 요구 발전 용량 판단

- 2018년 기준 북한의 전력 이용률이 약 48.5% 수준인 점과 대수력과 화력발전이 주요 발전원인 점을 고려하면, [그림 19]의 재생에너지원 활용 가능지역으로 표시된 지역을 제외한 지역에 국가 전력망이 집중되어 있고 표시된 지역에는 소형 발전기 및 일부 소규모 재생에너지 발전시설이 운영되고 있으나 규모는 크지 않을 것으로 추정되어 표시 지역의 현재 발전량은 거의 전무한 것으로 판단 가능할 것임
- 본 연구의 목적인 스마트 보건지소와 연계하여 요구 발전 용량을 판단하고자 탈북 의사들의 인터뷰 결과를 참고하면, 북한의 보건지소에는 의료 장비가 거의 없어 진료를 위한 전기 사용은 조명 또는 난방 정도 수준으로 판단됨
- 보건지소의 진료 인프라 구축 계획과 보건지표 향상을 위한 설비 운영 계획이 반영되면 요구 발전 용량에 대한 보다 정확한 판단이 가능할 것이나, 북한지역의 지역별 인구분포, 질병 및 예방의학 수요 등에 대한 충분한 자료가 필요할 것으로 판단됨

○ 적정 재생에너지 생산시스템 구성안

- 북한지역의 적정 재생에너지 생산시스템의 구성은 크게 주전력 재생 발전원과 예비전력 발전원, 에너지 저장시스템(Energy Storage System)으로 구성이 가능함
- 발전 및 저장량과 사용자의 사용량과 패턴을 예측하는 시스템, 전체 시스템을 통합적으로 모니터링하고 사용자에게 과금을 통제하는 시스템이 필요할 것임
- 주전력 재생 발전원은 앞서 정리한 북한지역 적정 재생에너지원을 고려하면, 지역에 따라 태양광 단독, 풍력 단독, 소수력 단독, 또는 태양광-풍력 하이브리드 시스템의 적용이 가능할 것임
- 예비전력 발전원은 기상이변 및 부족 발전량을 충당하기 위한 보조수단으로, 긴급 상황 시 사용 가능하도록 최소용량을 고려하여 구축하는 것이 타당할 것으로 판단됨
- 에너지 저장 시스템은 주전력 및 예비전력 발전원에서 생성한 전력을 저장하고 전력 사용자에게 공급하는 저장소 역할을 수행, 에너지 저장 시스템의 용량은 주전력 및 예비전력 발전량과 함께 사용 요구 전력량을 고려하여 선정하여야 함
- 발전 및 저장, 사용량 예측은 기상과 지역 특성을 반영하여 인공지능 알고리즘을 통해 정확도 높게 예측하여야 하며, 통합 모니터링 및 과금 시스템은 적정 재생에너지 생산시스템 전체를 모니터링하고 시스템의 위험을 감지하는 한편, 시스템 유지를 위한 과금 체계를 운영할 수 있어야 함[그림 20]



[그림 20] 북한지역 적정 재생에너지 생산시스템 구성안

5. 주요 사업 성과

가. 「제18회 평화와 번영을 위한 제주포럼」

□ 포럼 개요

- 일시: 2023년 5월 31일(수) ~ 6월 2일(금)
- 장소: 제주국제컨벤션센터(ICC Jeju)
- 주제: 인도-태평양 지역의 지속가능한 평화와 번영을 위한 협력
(Working Together for Sustainable Peace and Prosperity in the Indo-Pacific)

□ 세션 개요

- 일시: 2023년 6월 2일(금) 9:00~10:20
- 장소: 제주국제컨벤션센터(ICC Jeju) 영주B 세션장
- 주관 기관: 서울대학교 통일평화연구원
- 세션 주제: 한반도 생명 공동체 구축을 위한 남북한 보건의료 협력
- 발표 주제: Development of Smart Health Center Model to Strengthen the Monitoring Function of Climate Change and Health Impact in North and South Korea
- 발표자: 문진수 소장(서울대학교 의과대학 통일의학센터)

□ 포럼 포스터 및 현장 사진



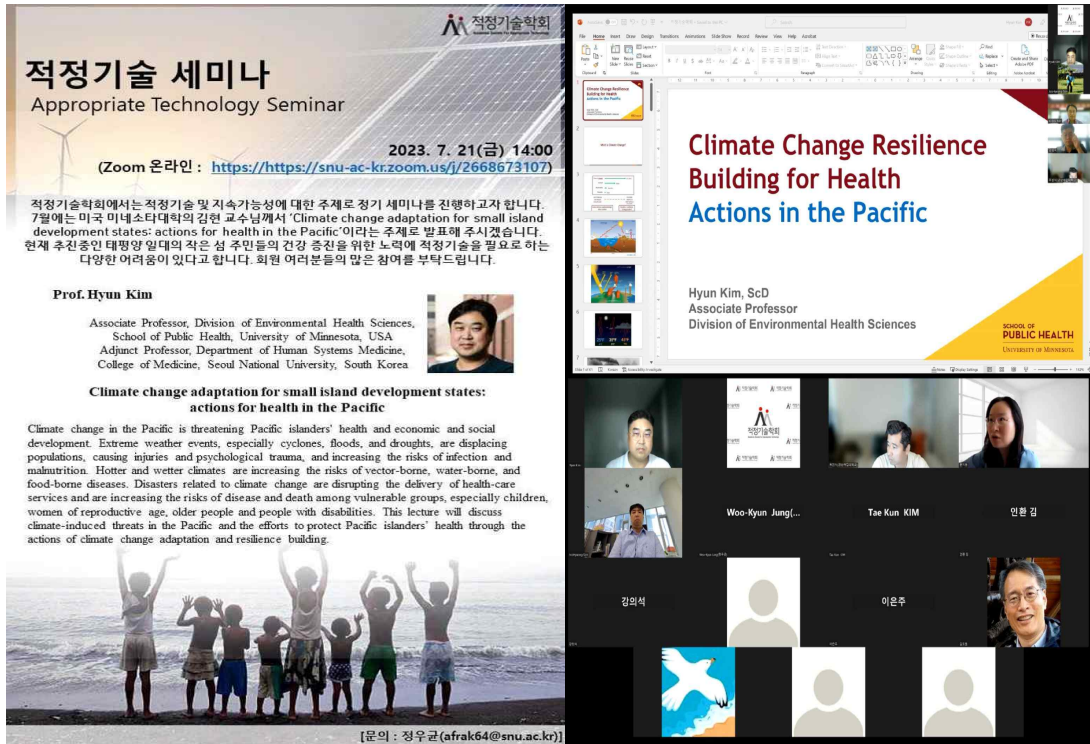
[그림 21] 「제18회 평화와 번영을 위한 제주포럼」 포스터 및 현장 스케치

나. 적정기술 세미나

□ 세미나 개요

- 교육 대상: 산·학·연 관련 20명 참석
- 교육 일시: 2023년 7월 21일 (금) 14:00
- 교육 장소: 줌 온라인
- 교육 주제: Climate change adaptation for small island development state - actions for health in the Pacific
- 발표자: 김현 교수(미네소타대학교 보건대학원)

□ 세미나 포스터 및 현장 사진



[그림 22] 적정기술 세미나 포스터 및 현장 스케치

다. 「제14회 적정기술 국제 컨퍼런스」

□ 컨퍼런스 개요

- 일시: 2023년 11월 30일(목)
- 장소: 서울대학교 글로벌공학교육센터 5층
- 주제: 과학기술과 사회공헌

□ 세션 개요

- 일시: 2023년 11월 30일(목) 13:00~14:00
- 장소: 서울대학교 글로벌공학교육센터 5층 515호
- 세션 주제: 남북 기후변화 및 건강영향 모니터링 기능 강화를 위한 스마트 보건지소 모델 개발

○ 발표 주제 및 발표자

발표 주제	발표자
북한 기후 민감 질환 조기경보 및 대응체계 개발	김현 교수 (미네소타대학 보건대학원)
북한지역 스마트 보건지소 재생에너지 생산시스템 구축 선행연구	정우균 교수 (서울대학교 기계공학부)

<표 8> 「제14회 적정기술 국제 컨퍼런스」 특별세션 발표 주제 및 발표자

□ 컨퍼런스 포스터 및 현장 사진



[그림 23] 「제14회 적정기술 국제 컨퍼런스」 포스터 및 현장 스케치

6. 결론 및 향후 사업 계획

가. 결론

□ 1차 연도는 이후에 진행될 2~3차 연도 기후변화 모니터링 시스템 구축 사업의 기반을 조성하고자 진행되었음

- 탈북의료인과의 면담, 북한과 유사한 개발도상국의 기후 민감 질환 질병감시체계 현황 조사, 연구 참여가 가능하고 북한의 리단위 보건의로 시설과 유사한 환경의 보건의로 시설의 선정, 건강자료와 기상자료 간의 상관관계를 살펴보는 연구를 통해 북한에서의 기후 민감 질환 질병감시체계 구축의 가능성을 타진하고, pilot testing 을 통해 feasibility를 높이는 것을 목적으로 진행됨
 - 여러 경로를 통해 많은 탈북의료인을 만나 북한의 보건의료체계를 이해하려 하였으나, 최근 코로나19로 인하여 탈북 자체가 어려워졌고, 신분 노출에 대한 부담감으로 인해 총 2인의 탈북의료인과의 면담을 실시하였음
 - 탈북의료인의 탈북 시기가 2000년대 초반으로 현재(2023년) 북한의 보건의료체계를 이해하는데는 한계가 있음
 - 연구에 참여한 8개의 개발도상국의 경우, 북한의 실정과 비슷하거나 그보다 좋은 환경으로 판단되며, 조사 결과를 바탕으로 북한에서 기후 민감 질환 조기경보체계를 구축할 경우, 의료 데이터의 전산화가 최우선 고려 사항이 될 것으로 판단됨
 - 이는 리 단위까지 연결되는 인터넷망의 구축을 의미하며 우선적으로 고려되어야 할 부분이나 현실적으로 가장 어려운 부분으로 사료됨
 - 인터넷망의 구축이 어려울 경우, 최소한 컴퓨터나 태블릿 PC 등 전산 단말기를 이용한 의료 데이터의 입력 이후, 인편으로 상위 기관으로 전달되는 식의 보고 형태가 이뤄지는 것을 최소한으로 할 필요가 있음
 - 질병감시체계가 요구하는 최소 주 단위 보고가 어려울 것으로 예상됨
 - 마지막으로 질병 진단의 정확도를 높이기 위한 diagnostic laboratory(진단 검사실)의 설치 또한 고려되어야 함

□ 북한에 적용 가능한 재생에너지를 개발도상국의 재생에너지 활용 사례를 통해 살펴보았음

- 환경문제와 화석에너지자원의 고갈로 전 세계가 풍력, 수력, 태양, 바이오매스 등 재생에너지원에 대한 개발과 보급을 추진 중임
- 에너지 인프라가 부족한 개발도상국은 전력 접근성이 낮은 상태이며, 영아사망률, 백신 접종률 등 보건지표 또한 매우 안 좋은 상태임
- 개발도상국의 에너지 인프라 확보를 위해 재생에너지를 적용하는 것에 대한 긍정적인 다양한 연구 결과들이 제시되고 있으며, ODA, NGOs, 사회적 기업 등이 대형 또는 소규모 오프그리드 사업으로 개발도상국에 대한 재생에너지 보급을 추진 중임
- 개발도상국의 사례를 기반으로, 북한지역의 기후 및 지형 특성을 고려하여 적절한 재생에너지 시스템을 설계 및 적용한다면, 북한지역 보건지표 향상과 연계된 에너지 시스템의 구축이 가능할 것임

□ 북한의 에너지 연계 기후 및 지형 특성을 살펴보고 가능성 있는 재생에너지원 및 시스템 구축 방안을 제시하였음

- 북한의 전력 이용률은 세계 최빈국 수준으로 평가되고 있으며, 발전소들의 노후화로 전력난은 심화되고 있는 상황으로 재생에너지를 이용한 에너지난 극복을 위해 자체적으로 노력 중임
- 북한은 50% 이상이 산악지형이며, 풍력과 태양 재생에너지를 이용하기 좋은 입지로 분석되는 지역이 다수 있는 것으로 조사됨
- 또한, 국가적으로 관심을 가지는 대수력 발전지역 외에 산악지역의 소수력 발전도 가능할 것으로 추정됨
- 비교적 평지인 평안남·북도과 황해남·북도 지역은 서해안의 풍력과 화력발전, 대수력 발전 등을 이용한 대규모 발전설비가 용이할 것으로 판단됨
- 양강도와 함경남북도 등은 산악지역의 특성상 송배전이 어려운 점

과 태양, 풍력, 소수력 등 재생에너지원이 다양한 점을 고려하여 소규모 오프그리드 발전시스템 구축이 타당할 것으로 판단됨

- 북한지역의 재생에너지 개발은 해당 지역의 지형적 특성을 고려한 적정기술을 적용하는 방안이 필요함
 - 적정기술을 이용하여 소규모 풍력, 태양광, 소수력 또는 풍력-태양광-소수력 하이브리드 시스템을 지역별로 분산하여 시범 보급하는 방안을 우선 추진하는 것이 타당할 것으로 판단됨

나. 향후 사업 계획

- 2차 연도에는 재생에너지를 활용한 기후 모니터링 시스템을 구축하고 데이터를 축적 및 분석하여 재생에너지를 활용한 기후 모니터링 시스템의 타당성을 검증하고자 함
 - 서울대학교 관악 캠퍼스 내 기상측정장치를 설치 후 기상자료를 축적하고, 서울대학교 관악 캠퍼스 보건진료소의 건강(질병) 데이터를 활용하여 조기질병경보대응 프로그램(Climatic Risk Early Warning and Response System, CREWARS)을 구축하고자 함
 - 국내 재생에너지를 활용하고 있는 스마트 보건지소를 탐색 및 선정하여 기후변화와 연계가 가능한 소규모 오프그리드 재생에너지 생산/저장/사용이 가능한 스마트 모니터링 시스템을 설계하고자 함
- 3차 연도에는 남북 기후변화 및 건강영향 모니터링 기능 강화를 위한 스마트 보건지소 모델을 제시하고자 함
 - 최종적으로 북한에 적용이 가능한 기후변화 모니터링 시스템 및 재생에너지 시스템 구축을 위한 매뉴얼을 개발하고자 함

[참고문헌]

[논문 및 학위논문]

강현정 · 최충익 (2023), 기후변화와 자연재해 이슈에 대한 빅데이터 분석과 함의. 부동산정책연구, 24(1), 65-82.

김다울 · 김범환 · 한하린 · 이대은 (2022), 북한 기후변화 적응을 위한 국제협력방안: 농업과 자연재해를 중심으로, 대외경제정책연구원, 전략지역심층연구.

김민수 · 문정욱 · 류종하 · 김민식 · 비나약 반다리 · 박정은 · 아누즈 바타찬 · 비탈 모가살레 · 추원식 · 이선영 · 송철기 · 안성훈 (2020), 신재생 에너지의 백신 콜드체인 확장 효과: 네팔 사례 연구, 적정기술학회지 6(2), pp.94-102.

김윤성 · 윤성권 · 이상훈 (2018), 남북 재생에너지 협력을 위한 전력과 정책적 과제, 환경법과 정책 21, pp.132-165.

김지수 · 정우균 · 하보라 · 문지현 · 이협승 · 안성훈 (2019), 스마트-독립전력망을 사용한 소규모 태양광 발전소의 건설과 운영: 한국-탄자니아 적정기술 거점센터의 사례, 적정기술학회지 5(2), pp.62-69.

박미리 · 안재현 (2018), 북한의 수력발전가능량 산정 및 평가에 대한 연구, Journal of the Korean Society of Civil Engineers 38(1), pp.41-49.

안성훈 · 이경태 · 반다리 비나약 · 이길용 · 이선영 · 송철기 (2012), 지속가능성을 고려한 산악지역 독립망 전력시스템의 신재생 에너지원 구성 전략, 한국정밀공학회지 29(9), pp.958-963.

오명찬 · 김성민 · 구영현 · 박형동 (2018), 북한 검덕광산 인근 지역 태양광 잠재량 분석 및 최적 부지 선정, New & Renewable Energy 14(3), pp.44-53.

오삼언 · 박소영 (2022), 북한의 자연재해와 기후변화 대응전략. 현대북한연구, 25(3), 181-223.

이협승 · 임혁순 · 프랭크 앤드류 마농기 · 신영인 · 송호원 · 정우균 · 안성훈 (2021), 탄자니아의 태양광 발전소와 통합된 전기 모빌리티 운영 시스템, Journal of

Appropriate Technology, 7(2), 127-135.

임소영 (2011), 신재생에너지를 중심으로 한 농촌전력화 프로그램 개발협력 모델, ODA연구 2011-09-199, 한국국제협력단.

장형식·구일섭 (2022), 북한 발전과 주민 안전을 고려한 북한 신재생에너지 전력 시장 가치 추정, 대한안전경영과학회지 24(3), pp.75-84.

정예림 (2020), 신·재생에너지 보급의 영향 요인 연구, 서울대학교 대학원 학위논문

정혜운·여현덕 (2018), 개도국 ‘에너지 혁신’ 파트너십 분석 : 케냐와 방글라데시 마을의 신재생에너지 오프그리드 개발 사례를 중심으로, 국제지역연구 22(1), pp.261-284.

최형중·한권덕·민진영·심준형 (2012), 풍력-태양광 하이브리드 시스템을 이용한 제주도 전력그리드 최적화, 대한기계학회 2012년도 추계학술대회 논문집, pp.783-788.

탁한명·김성환·손일 (2013), 지형학적 산지의 분포와 공간적 특성에 관한 연구, 대한지리학회지 48(1), pp.1-18.

한재각 (2010), 기후변화와 개발도상국의 재생에너지 개발 - NGO와 사회적 기업의 경험, ECO 14(2), pp.187-230.

Runge-Ranzinger S·Kroeger A·Olliaro P·McCall PJ·Sanchez Tejeda G·Lloyd LS et al (2016), Dengue Contingency Planning: From Research to Policy and Practice. PLoS Negl Trop Dis 10(9): e0004916.

[보고서 및 도서]

국가안보전략연구원 (2022). 기후변화 대응을 위한 남·북·미 3각 협력 추진전략 - 해외 삼각협력 사례분석을 참고로.

국회입법조사처 (2015), 신·재생에너지 보급·육성 현황과 개선방안(2015년도 국정감사 시정 및 처리결과 평가보고서).

기상청 (2021), 북한기상 30년보(1991~2020년).

- 김경원 (2020), 북한의 발전기 생산 및 사용 현황, KDB산업은행 미래전략연구소, Weekly KDB Report.
- 김성진 · 한희진 · 박보라 (2021), 한반도 탄소중립을 위한 남북 기후개발협력 방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 대북협력민간단체협의회 (2023), 『남북 공동 기후변화 대응을 위한 인도적 대북협력 전략 구상』.
- 빙현지 · 이석기 (2017), 북한 재생에너지 현황과 시사점, 산업연구원 정책자료 2017-295.
- 오세경 · 임병찬 · 이경희 (2012), 주택용 고정식 태양광발전시스템의 최적 전력발전량에 관한 연구, GRI연구논총 14(2), pp.272-288.
- 정지원 · 정서용 · 이고은 · 박소정 · 전지연 (2022), 국외감축을 활용한 NDC 이행방안과 주요 정책과제, 대외경제정책연구원, ODA 정책연구.
- 진대용 · 강성원 · 최희선 · 한국진 · 김도연 (2018), 기후환경 이슈 분석을 위한 텍스트 마이닝 활용 방안 연구, 한국환경정책평가연구원.
- 통일부 (2022), 『2022 북한 이해』, 국립통일교육원, pp.179-180.
- DPRK (2021), Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda.
- IRENA (2019), Renewable Capacity Statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.
- REN21 (2021), RENEWABLES 2021 Global Status Report.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (2020), The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019).
- WHO (2020), WHO guidance for climate resilient and environmentally sustainable

health care facilities. (Retrieved from:
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240012226>)

[인터넷 문헌, 언론보도]

통일부, 북한정보포탈(nkinfo.unikorea.go.kr), 북한의 기후와 지형 (2023.09.12. 검색)

voakorea, [VOA 뉴스] “북한 전력난 속에서도 ‘자력갱생’ 고수” (2023.09.12. 검색)

[강의 및 발표 자료]

최현아 (2023), 2023 통보리 아카데미 발표자료 - 지속가능한발전목표(SDGs)와 북한의 기후변화 위기 대응 노력.