

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

- 2차년도 사업 결과 보고서 -

2025. 2. 7.

서울대학교 의과대학 통일의학센터

< 목차 >

1. 서론	1
가. 연구개발의 필요성	1
나. 연구개발의 목표 및 내용	3
2. 북한 미디어 속 기후변화와 질병 문제	4
가. 북한의 기후변화와 질병 관련 기사 분석	4
나. 결론 및 시사점	7
3. 기후민감질환 조기경보체계 구축을 위한 구상	10
가. 조기경보체계 구축을 위한 구상	10
나. 기후변화 모니터링 시스템 구축을 위한 예비분석	14
다. 소결론	28
4. 재생에너지 모니터링 시스템 구축	29
가. 국내 보건(지)소 태양광 발전 시스템 적용 사례	29
나. 태양광 발전 스마트 모니터링 시스템 구축	37
다. 소결론	44
5. 주요 사업 성과	45
가. ICEAS 2024 특별세션	45
6. 결론 및 향후 사업 계획	47
가. 결론	47
나. 향후 사업 계획	48
[참고문헌]	49

〈 표 목차 〉

<표 1> 기상과 건강 변수의 기술 분석(NA: Not Applicable)	17
<표 2> 온도 변수와 호흡기 진단의 연관성	20
<표 3> 기상 변수별 최적 모델을 위한 Degree of freedom	20
<표 4> 온도 변수와 정신건강 진단의 선형적 상관관계	22
<표 5> 기상 변수별 최적 모델을 위한 Degree of freedom	22
<표 6> 시차 적용 후 온도 변수와 정신건강 진단의 선형적 상관관계	25
<표 7> 평창군 보건지소 태양광 발전설비 설치 현황	34
<표 8> 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템 시험 운용 결과	42
<표 9> 「ICEAS 2024」 특별세션 발표 주제 및 발표자	45

< 그림 목차 >

[그림 1] KNCA WATCH 기사 추출 화면	4
[그림 2] 키워드별 북한 기후 및 질병 관련 기사 빈도	5
[그림 3] 연도별 북한 기후 및 질병 관련 기사 빈도	6
[그림 4] 언론사별 북한 기후 및 질병 관련 기사 빈도	6
[그림 5] 북한의 27개 기상관측소 위치	15
[그림 6] 기상 변수의 시계열 분석(2013~2023)	18
[그림 7] 기상자료와 건강자료의 시계열 분석(2013~2023)	19
[그림 8] Natural Cubic Spline(NCS)을 이용한 기상 변수와 호흡기 진단의 연관성 ..	21
[그림 9] Natural Cubic Spline(NCS)을 이용한 기상 변수와 정신건강 진단의 연관성 ..	23
[그림 10] 7일 시차 적용 평균 온도와 호흡기 진단의 상관관계	24
[그림 11] 14일 시차 적용 평균 온도와 호흡기 진단의 상관관계	26
[그림 12] 7일 시차 적용 평균 온도와 정신건강 진단의 상관관계	27
[그림 13] 14일 시차 적용 평균 온도와 정신건강 진단의 상관관계	27
[그림 14] 국내 보건지소 태양광 발전 적용 현황	30
[그림 15] 평창군 보건(지)소의 지리적 위치	31
[그림 16] 평창군 지역의 기후적 특성	32
[그림 17] 평창군 지역 일조량의 변화	33
[그림 18] 평창군 보건지소 태양광 발전설비 설치 모습	35
[그림 19] 태양광 발전설비 사후관리 착안 사항	37
[그림 20] 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템 설계 개요도	38
[그림 21] 본 연구에 적용된 일사량 센서 및 기상 센서 사양	39
[그림 22] 2G 무선통신 모듈 및 저가형 유심	40
[그림 23] 개발된 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템	40
[그림 24] 태양광 발전 모니터링 시스템 시험 운용(평창군 면온보건진료소) ..	41
[그림 25] 태양광 발전 시뮬레이션	43
[그림 26] 「ICEAS 2024」 포스터 및 현장 스케치	46

1. 서론

가. 연구개발의 필요성

□ 1차년도 연구에서 도출된 기반 조성 연구 결과를 바탕으로, 2차년도 연구는 실제적인 기후변화 모니터링 및 재생에너지를 활용한 보건의료 시스템 구축을 목표로 함

○ 기후변화로 인한 재난 및 건강 위협이 점점 심화되고 있으며, 이에 대응하기 위한 실질적인 기후변화 모니터링 시스템 구축의 필요성이 강조됨

- 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)와 기후변화에 관한 정부 간 협의체(International Panel on Climate Change, IPCC)의 보고서에 따르면, 2000년 이후 기후변화로 인한 극단적 기상이변과 자연재해 발생 빈도가 급격히 증가하였으며, 이는 인명 및 경제적 피해를 지속적으로 확대시키고 있음¹⁾
- 특히 북한은 기후변화로 인해 가뭄과 홍수 등의 자연재해가 지속적으로 발생하며, 이에 따른 식량난과 보건 문제도 심화되고 있음²⁾

○ 1차년도 연구를 통해 북한 내 지속 가능한 기후변화 대응 체계를 구축하기 위한 주요 요인과 실행 가능성을 검토하였으며, 2차년도 연구에서는 이를 실현하기 위한 실질적인 시스템 구축이 필요함

- 1차년도 연구에서는 북한의 기후변화 대응 정책 및 재생에너지 활용 현황을 분석하고, 재생에너지를 기반으로 한 보건의료 시설 전력 공급의 타당성을 검토하였음³⁾
- WHO의 가이드라인에 따르면, 기후변화에 대응하기 위한 친환경 보건의료 시설(Health Care Facility) 구축에는 보건의료 인력(Health workforce), 물과 위생(Water, sanitation, hygiene and health care waste management), 에너지(Sustainable energy services), 인프라(Infrastructure, technologies and products)의 4가지 핵심

1) United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2020). The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000-2019). Retrieved from <https://www.undrr.org>

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

3) DPRK. (2021). Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda. United Nations.

요소가 필요함⁴⁾

- 북한은 농촌 및 도서산간 지역의 전력 접근성이 낮아 재생에너지를 활용한 보건의료 시설 전력 공급이 주민 건강 증진에 기여할 수 있음⁵⁾

□ 2차년도 연구에서는 재생에너지를 활용한 기후변화 모니터링 및 보건의료 시스템 구축을 위한 실험적 적용과 검증을 수행하고자 함

- 1차년도 연구 결과를 바탕으로, 2차년도 연구에서는 실질적인 시스템 구축 및 적용 가능성을 평가하는 pilot test를 진행할 예정임
 - 서울대학교 의과대학 통일의학센터가 주축이 되어 미네소타 환경보건대학원, 적정기술학회와 협력하여 기후변화 대응을 위한 재생에너지 기반 보건의료 시스템의 실증 연구를 진행할 계획임
 - 지속가능한 재생에너지 기반 전력 공급과 기후변화 모니터링을 병행하여, 북한 내 적용 가능성을 검증하고 향후 확장성을 고려한 모델을 개발할 예정임
 - 기후 데이터베이스와 보건의료 기관에서 수집된 건강 데이터베이스를 바탕으로 1차년도 보다 정교한 기후변화와 건강과의 연관성을 분석하여 기후변화 모니터링 및 보건의료 시스템 구축을 위한 기초자료를 구축하고자 함

□ 북한의 기후변화 대응 및 보건의료 접근성 향상을 위한 실질적인 해결책으로서, 재생에너지를 활용한 모니터링 시스템 구축의 중요성이 더욱 강조됨

- 북한의 기후변화 대응 정책 및 재생에너지 활용 방안을 고려한 지속가능한 건강증진 전략 마련이 시급함
 - 기후변화 대응과 친환경적인 Health Care Facility 구축의 4가지 요소를 반영하여, 재생에너지를 활용한 기후변화 모니터링

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

5) 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.

및 보건의료 시스템 구축 모델을 제시하는 것은 북한의 관심사와 부합하며, 한반도 전체의 건강 증진에도 기여할 것임⁴⁾

나. 연구개발의 목표 및 내용

□ 북한의 미디어를 통한 기후변화 이슈의 관심도를 확인하고자 함

- 2차년도 연구에서는 북한의 기후변화에 대한 관심도를 확인하기 위해, 온라인에서 접근 가능한 북한 미디어에 게재된 기후변화와 건강 관련 기사를 분석하고자 함

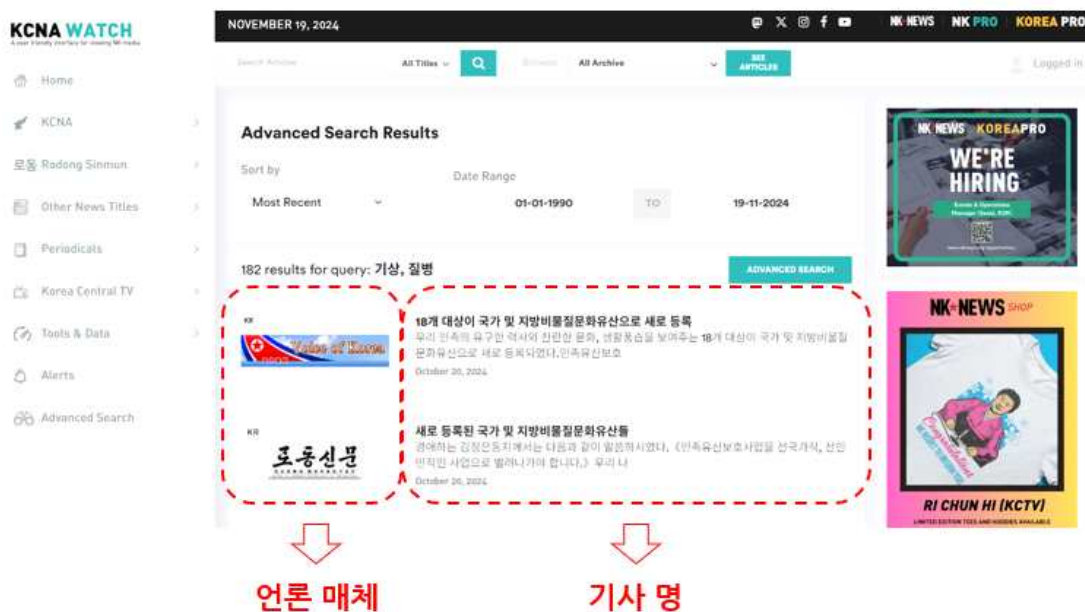
□ 남북 기후변화 및 건강 영향 모니터링 기능 강화를 위한 스마트 보건 지소 모델 실험

- 2차년도 연구에서는 북한의 기후환경과 유사한 남한 내 보건지소 중 재생에너지를 활용하는 시설을 선정하여, 기후변화 모니터링 시스템을 구축하고 데이터를 축적하며 타당성을 검증할 계획임
 - 북한의 기후환경과 유사한 남한 내 보건지소를 탐색하여 협약을 체결하도록 함
 - 지역 보건지소와의 협약은 보건지소 담당 직원들의 업무 외 추가 업무일 수 있기 때문에 설득의 과정이 필요할 것으로 사료되며, 최대한 지역 보건지소와의 협약 체결을 목표로 함
- 기후 데이터베이스와 건강 데이터베이스를 활용하여 1차년도의 pilot test를 보다 정교화하여 기후변화와 연관성이 있는 질환을 추출하고자 함

2. 북한 미디어 속 기후변화와 질병 문제

가. 북한의 기후변화와 질병 관련 기사 분석

- 본 연구에서 분석된 북한의 기후변화 및 질병 관련 기사들은 KCNA WATCH⁶⁾ 웹페이지를 통해 수집되었으며, 검색어를 ‘기후, 질병’으로 설정한 후 기사 추출 기간을 1990년 1월 1일~2024년 9월 30일로 한정하였음



[그림 1] KNCA WATCH 기사 추출 화면

○ 해당 조건으로 추출된 기사는 총 178건으로 이 중 직접적으로 기후변화 및 질병과 관련된 기사는 60건이었음(중복 포함)

- 추출된 기사 중 ‘기후변화’를 키워드로 한 기사가 22건으로 가장 많았으며, ‘기온(열파, 한랭)’과 관련된 기사가 15건, ‘대기오염’과 관련된 기사가 10건, ‘지구온난화’와 관련된 기사가 6건, ‘엘니뇨’와 관련된 기사 4건, ‘오존층’과 관련된 기사 2건, ‘지구환경 보호문제’와 관련된 기

6) KCNA WATCH는 20여 개의 북한의 공식 언론사를 실시간으로 미러링하여 북한에서 보도되는 방대한 양의 신문 기사를 모두 제공하는 오픈소스 아카이브 형식의 웹 사이트임(출처: 박종민 외 2. 한편 북한 언론은 지난 20년간 대한민국 대통령과 정부를 어떻게 보았는가?, 2023, p.143.)

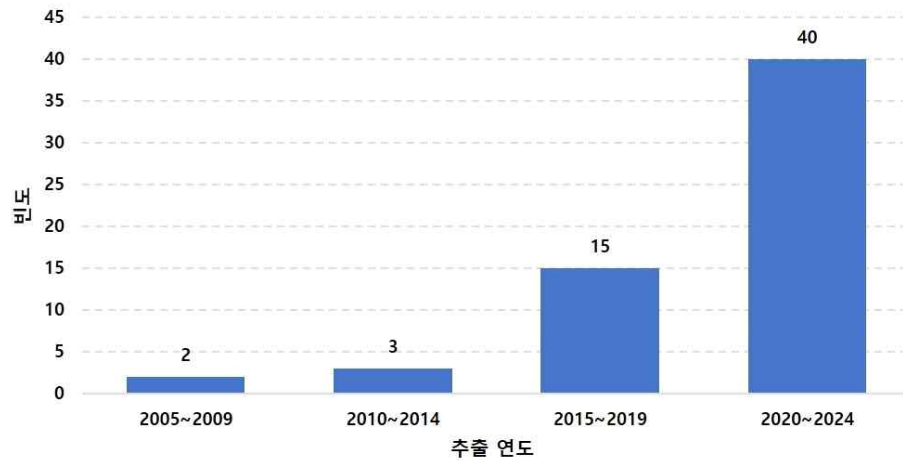
사가 1건으로 나타났다 [그림 2]

- 해당 키워드는 기사의 제목을 기반으로 추출하였으며, 유사한 범주로 묶였음



[그림 2] 키워드별 북한 기후 및 질병 관련 기사 빈도
(자료: KCNA WATCH에서 추출한 자료를 토대로 작성)

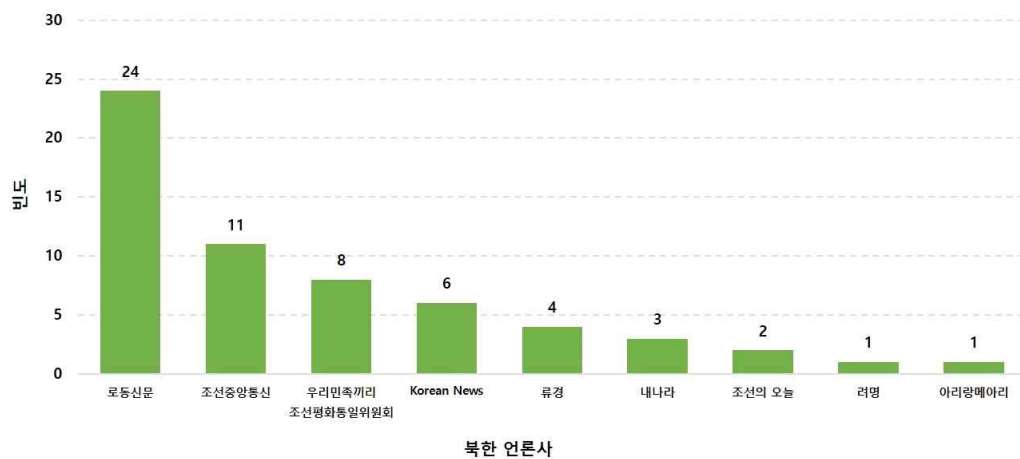
- 기후와 질병에 관한 60건의 기사를 연도별로 분석한 결과, 2020~2024년 사이에 40건이 확인되어 가장 많은 빈도를 보였으며, 2015~2019년 사이에는 15건, 2010~2014년 사이에는 3건, 2005~2009년 사이에는 2건이 각각 추출되었음 [그림 3]
- 연도별 분석 결과, 1990~2004년 기간에는 관련 기사가 발견되지 않았음



[그림 3] 연도별 북한 기후 및 질병 관련 기사 빈도

(자료: KCNA WATCH에서 추출한 자료를 토대로 작성)

- 기후와 질병에 관한 60건의 기사를 언론사별로 분석한 결과, 로동신문이 24건으로 확인되어 가장 많은 빈도를 보였으며, 조선중앙통신 11건, 우리민족끼리 조선평화통일위원회 8건, Korean News 6건, 류경 4건, 내나라 3건, 조선의 오늘 2건, 려명 1건, 아리랑메아리 1건이 각각 추출되었음 [그림 4]



[그림 4] 언론사별 북한 기후 및 질병 관련 기사 빈도

(자료: KCNA WATCH에서 추출한 자료를 토대로 작성)

나. 결론 및 시사점

□ 북한의 키워드별 기사를 통해 바라본 기후변화에 관한 관심도를 확인할 수 있었음

- ‘기후변화’ 키워드와 관련된 다수의 기사는 북한이 기후변화 이슈를 중요하게 인식하고 있음을 시사함
- ‘기온(열파, 한랭)’과 관련된 기사가 15건으로 전체 추출된 기사 중 두 번째로 많으며, 이는 기후변화 특히 열파와 한랭 등을 북한의 농업, 보건의료, 에너지 사용 등의 실제적인 문제로 인식하고 있음을 시사함
 - 북한의 농업은 기후변화로 인해 가뭄, 홍수 등 재해에 취약하다는 점을 예측할 수 있음
 - 보건의료 분야에서도 열파로 인한 온열질환의 발생과 한랭으로 인한 동상과 같은 피부 및 조직 손상, 그리고 의료 자원의 부족 문제가 기후변화로 인한 다양한 질환 발생을 심화시킬 가능성을 예측할 수 있음
- ‘대기오염’과 관련된 기사가 10건으로 전체 추출된 기사 중 세 번째로 많으며, 이는 북한이 대기오염을 중요한 환경문제로 인식하고 있음을 시사함
 - 대기오염은 호흡기 질환, 심혈관 질환 등 다양한 건강 문제를 유발하는 주요 요인으로, 북한이 이와 같은 대기오염과 관련된 건강 문제에 관심이 많을 수 있음을 예측할 수 있음
 - 과거 석탄 위주의 에너지 정책에서 환경오염의 예방의 필요성을 강조하며 재생에너지와 같은 새로운 에너지원에 관한 관심을 나타내고 있음
 - 에너지원으로 사용하기 위한 무리한 산림훼손으로 초래된 대기오염 문제를 해결하기 위하여 산림 조성사업과 관련된 교류협력 사업에 관심이 높을 수 있음을 시사함
 - 가정에서 사용하는 저품질 연료와 땀감 사용이 대기질을 저하 시킨다는 연구 결과를 통해, 현대화된 취사도구의 필요성을 알 수 있음⁷⁾

□ 북한의 연도별 기사를 통해 기후변화에 관한 관심도를 확인할 수 있

7) 명수정. (2017). 「북한의 환경인프라 조성을 위한 환경협력 연구」, 한국환경정책·평가연구원, p.14.

있음

○ 2020~2024년 사이 북한의 기후변화 관련 기사가 급격히 증가하였음

- 이는 북한 정부가 과거에 비해 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 있는 것으로 사료되며, 기후변화로 인한 피해가 전 세계적으로 늘어난 것처럼 북한에서도 기후변화로 인한 피해가 늘어나 이에 대한 대처가 필요함을 알 수 있음
- 과거 ‘고난의 행군’ 사례를 통해 기후변화가 위협적인 요소임을 인식하고 있으며, 기후변화로 인한 자연재해가 북한의 식량 안보와 경제에 직접적인 영향을 미치고 있음을 인식하고 있음을 시사함
- 북한은 1994년 유엔기후변화협약(UNFCCC) 가입 이후 계속해서 기후변화 이슈에 대한 관심을 표명하였으며, 이는 기후변화가 북한에 미치는 실제적인 영향에 대한 우려함과 동시에, 국제적 현안에 관한 참여의지를 통해 정상 국가로서의 이미지를 보여주고자 하는 의도로 해석될 수 있음⁸⁾

□ 북한의 언론매체별 기사를 통해 기후변화에 관한 관심도를 확인할 수 있었음

○ ‘노동신문’은 북한의 대내외 주요 현안 및 특정 사건에 대한 북한의 입장을 대변하는 기관지로 철저한 검열을 거쳐 배포되는 특징을 가지며, 기사의 내용은 주민들에게 북한 체제의 우월성을 주지시키는데 목적을 가지고 있음⁹⁾

- 이러한 ‘노동신문’에 가장 많은 기후변화 관련 기사들은 북한 정부의 공식적인 입장을 반영한다고 볼 수 있으며, 북한의 기후변화와 관련된 정책적 중요도가 높아지고 있음을 시사함

□ 북한의 기후변화 관련 기사 내용을 통해 기후변화에 관한 관심도를 확인할 수 있었음

8) VOA, “북한, 기후변화에 적극 관심…정상국가 면모 부각, 국제 관여 모색 “. 2021 (Retrieved from <https://www.voakorea.com/a/6288236.html>)

9) 통일부, 북한정보포털, 북한이해 (Retrieved from <https://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/pge/view.do>)

- 기사 내용에서 북한 내 기후변화로 인한 피해에 대한 언급은 거의 없으며, 특정 국가에서 발생한 기후변화로 인한 자연재해를 다룬 사례가 많음
 - 북한 내 기후변화로 인한 피해에 대한 언급이 적은 것은 자국의 문제를 직접적으로 언급하기 보다는 다른 국가에서 발생한 사례를 통해 기후변화의 심각성을 간접적으로 알리려는 의도로 해석될 수 있음
 - 북한은 내부적 문제를 인정 및 공개하기 보다는 외부 사례를 강조하여 기후변화의 책임을 국제사회, 특히 선진국에 돌리려는 태도를 취하고 있을 가능성이 있음
 - 이를 통해 국제사회의 기후변화 협력에 대한 공감대를 형성하고, 북한이 환경문제 해결을 위한 국제적인 지원을 받을 수 있는 명분을 강화하려는 의도가 있을 수 있음
 - 다른 국가의 기후변화로 인한 피해 사례 보도는 북한 내 기후변화 피해에 대한 보도가 북한 체제의 우월성을 약화시킬 가능성을 사전에 차단하려는 의도로 해석될 수 있음
- 질병에 관한 기사의 내용도 자국 내 발생한 질병에 관한 내용이 아닌 특정 국가에서 발생한 고온 현상으로 인한 열사병, 황사로 인한 각종 호흡기 및 피부/안과 질환, 오존층 파괴로 인한 피부/안과 질환 등을 보도하고 있음
 - 북한 내 발생한 질병보다는 특정 국가의 사례를 보도하는 것은 기후변화가 전 세계 보건의료에 미치는 영향을 인식하고 있으며, 이를 통해 북한도 국제적 문제에 대한 관심이 있다는 것을 피력하고 있는 것으로 사료됨
 - 열사병, 황사로 인한 호흡기 질환, 오존층 파괴로 인한 질환 발생 등에 관한 보도는 북한이 기후변화가 보건의료 시스템에 미칠 장기적인 영향을 정책적으로 검토하고 있음을 시사함
 - 북한은 특정 국가의 사례를 제시하며 기후변화가 보건의료 시스템에 미치는 영향을 부각시킴으로써, 국제적 협력과 지원을 위한 기반을 마련하려는 전략적 접근을 취하고 있을 가능성이 있음

3. 기후민감질환 조기경보체계 구축을 위한 구상

가. 조기경보체계 구축을 위한 구상

□ 조기경보체계의 중요성 및 필요성

- 조기경보체계는 감염병 발생 가능성을 사전에 예측하여 효과적인 예방과 대응을 가능하게 함
 - 기후 및 비기후 변수 활용: 기후 변수(온도, 습도, 강수량 등)와 함께 비기후 변수(사회경제적 지표, 인구 밀도, 이동 패턴 등)를 통합하여 감염병 발생 위험을 보다 정밀하게 예측함
 - 발생 가능성을 시간 및 공간적 범위로 추정: 특정 지역이나 시간대의 감염병 위험도를 지도화하여 예방 활동을 최적화할 수 있음
- 조기경보체계는 감염병 및 공중보건 위기에 대한 조기 탐지와 신속한 대응을 효과적으로 지원할 수 있음
 - 예측된 발생 위험에 따라 이해관계자 간 정보 공유 및 조정: 실시간 경고 시스템을 통해 보건 당국, 병원, 지역 커뮤니티가 협력하도록 지원함
 - 공중보건 대응 계획 수립 지원: 위험 수준에 따라 자원을 우선 배분하고, 대응 계획을 사전에 준비할 수 있도록 도움
- 조기경보체계는 공중보건 관련 의사결정을 효과적으로 지원하여 신속하고 적절한 대응을 가능하게 함
 - 실시간으로 수집된 데이터와 이를 분석한 결과를 활용함으로써, 보다 신속하고 정확한 의사결정을 내릴 수 있음
 - 이를 통해 단순히 직관에 의존하지 않고, 과학적 근거를 바탕으로 대응 방안을 설계할 수 있음
 - 데이터 기반 접근법은 의사결정의 질을 높이는 동시에 체계적인 대응을 가능하게 됨
 - 공중보건 대응 계획 수립을 지원하여 위험 수준에 따라 자원을 우선 배분하고, 대응 계획을 사전에 준비할 수 있도록 도움
- 조기경보체계 실행을 위해 사전 준비 상태를 평가하고 이에 따른 개선 방안을 마련할 필요가 있음
 - 준비성 평가를 통해 현재 운영 중인 일반적인 질병 조기경보체계의 강

- 점과 약점을 면밀히 분석할 수 있음
- 이를 통해 효과적으로 작동하는 우수 사례는 확대·적용하고, 부족하거나 미흡한 부분은 보완하여 체계를 강화할 수 있음
- 이러한 접근은 시스템의 전반적인 효과성을 높이고, 더 나은 감염병 대응체계를 구축하는 데 기여할 수 있음
- 최신 기술과 데이터 분석 방법을 통합하여 질병 조기경보체계의 기능을 한층 강화할 수 있음
 - 새로운 시스템은 기존 체계의 한계를 극복하고, 더욱 정확하고 신속한 경보를 제공하도록 설계될 수 있으며, 이를 통해 조기경보체계는 감염병 대응의 핵심 요소로 자리 잡으며 공중보건 수준을 크게 향상시킬 수 있음
- 지역별 특성에 맞춘 예측 모델을 개발하여 해당 지역에서 더욱 효과적인 조기경보를 가능하게 함
 - 국가적 차원에서도 맞춤형 지표를 활용하여 다양한 환경에 적합한 데이터 기반 의사결정을 지원할 수 있으며, 이는 시스템의 활용도를 극대화하고, 감염병 확산 방지 및 관리에 실질적인 도움을 줄 수 있음

□ 기후변화와 감염병 발생 양상

- 기후변화가 공중보건에 미치는 영향은 감염병 확산, 영양실조 증가, 호흡기 질환 악화 등 다양한 건강 문제를 야기함
 - 평균 기온 상승, 해수면 상승, 기상 재해 빈도 증가로 감염병, 영양실조, 호흡기 질환 등 건강 문제가 심화되며, 이러한 변화는 특히 빈곤층과 의료 접근성이 낮은 지역에 심각한 영향을 미침
 - 엘니뇨와 라니냐 현상은 Dengue열과 세균성 이질 등 특정 감염병 발생 증가에 기여하며, 이는 특정 지역의 질병 발생 패턴을 크게 변화시킴
 - 말라리아와 Dengue열 전파를 유발하는 모기의 증가로 피해가 확대되고, 고온 다습한 환경은 모기의 번식에 유리하여 관련 질병의 확산 속도가 더욱 가속화됨
- 북한의 감염병 문제는 결핵과 말라리아 같은 주요 질병과 관련이 있으며, 기후변화는 이러한 감염병의 확산을 더욱 악화시키는 요인으로 작용함

- 북한은 결핵과 말라리아 등 감염병의 주요 피해 지역으로, 2018년 기준 결핵 환자 수는 약 13만 명, 연간 사망자 수는 약 2만 명에 달하며, 제한된 의료 자원과 인프라가 문제를 더욱 악화시키고 있음¹⁰⁾
- 제약된 방역 시스템과 의료 인프라로 인해 기후 변화로 인한 감염병 피해가 가중될 가능성이 높으며, UN 제재로 인한 기술 및 재정적 제약이 대응 노력을 크게 제한함
- 국제적 사례를 통해 얻은 교훈은 효과적인 감염병 대응과 예방을 위해 협력적 접근과 과학 기반의 정책 수립이 필수적임을 시사함
 - 동남아시아에서는 뎅기열과 말라리아 예방을 위해 빅데이터와 위성 데이터를 기반으로 한 감염병 예측 시스템을 활용하며, 이 시스템은 시공간 예측의 정확성을 높이고 예방적 조치를 강화하는 데 기여함
 - 우리나라는 과학기술정보통신부와 질병관리청 주도로 감염병 데이터 플랫폼을 구축하고 조기경보 체계를 운영하며, 이는 국가 주도의 데이터 통합과 분석을 통해 효과적인 감염병 대응을 가능하게 함

□ 조기경보체계의 평가

- 1단계는 감염병 및 기후 예측 변수를 정의하는 과정으로, 기후와 비기후 요인을 분석하고 질병 발생 임계값을 설정하여 예측의 정확성과 신뢰성을 확보함
 - 온도, 습도, 강수량 등 주요 기후 요소를 측정하고 분석하여 감염병 발생 가능성을 과학적으로 평가함
 - 인구밀도, 사회경제적 상태, 이동 패턴 등 감염병 발생에 영향을 미치는 다양한 요인을 포함하여 분석의 정확성을 높임
 - 질병 유형, 지역적 특성, 시스템 역량 등을 고려해 임계값을 설정하여 과잉 경보와 경보 실패를 최소화함
- 2단계는 Early Warning Alert and Response System(이하 EWARS)¹¹⁾의 구조적 특징을 평가하는 과정으로, 시스템의 설계와 기능적 요소를 분석하여 효율성과 효과성을 검토함
 - 데이터 수집 및 처리(1): 데이터의 양, 질, 사용 가능성을 평가하고, 데

10) WHO. (2019). Global tuberculosis report 2019. Geneva: World Health Organization; 2019

11) Early Warning Alert and Response System (EWARS)은 조기경보 대응 시스템을 의미함.

- 이터의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위한 표준화 작업을 실시함
- 데이터 수집 및 처리(2): 기후 데이터와 감염병 데이터를 결합하여 신호 추출 방법을 분석하고, 보다 정교한 예측을 가능하게 함
 - 시공간 예측 모델 분석(1): 공간 예측을 통해 감염병 발생 핫스팟을 식별하고 위험 지도를 작성하여 예방 활동의 효과성을 높임
 - 시공간 예측 모델 분석(2): 시간 예측을 통해 질병 발생 시점과 지속기간을 예측하고 조기 경고를 발령할 수 있도록 지원함
- 3단계는 EWARS의 통계적 기술을 평가하는 과정으로, 데이터 분석 방법과 예측 모델의 정확성을 검토하여 시스템의 신뢰성을 확보함
- 예측 정확성 평가(1): 민감도(SE), 특이도(SP), ROC 곡선을 활용하여 각 모델의 성능을 측정하고 최적화함
 - 예측 정확성 평가(2): 오류를 최소화하고 경고의 신뢰도를 높이기 위해 최적화된 임계값을 설정함
 - 오류 관리(1): 오경보(False Positive)와 경보 실패(False Negative)를 최소화하여 모델의 신뢰도를 높이기 위한 추가적인 검증이 필요함
 - 오류 관리(2): 질병 발생과 기후 변수 간의 시간적 관계를 반영하기 위해 다양한 시차 모델을 활용함
- 4단계는 EWARS의 비용·효과성을 평가하는 과정으로, 시스템 운영에 따른 비용 대비 효과를 분석하여 효율적 자원 활용과 정책적 가치를 검토함
- 비용 대비 효과 분석(1): 준실험적 설계와 모델링 기반 접근을 통해 제한된 자원을 효율적으로 활용할 수 있도록 설계함
 - 비용 대비 효과 분석(2): 감염병 감소와 비용 간의 관계를 분석하여 비용 대비 최대 효과를 도출하기 위한 방안을 마련함

나. 기후변화 모니터링 시스템 구축을 위한 예비분석

□ 기후 및 건강 데이터베이스 구축

- 북한 기후변화 데이터베이스 구축을 위한 파일럿 테스트를 위하여 서울대학교 관악 캠퍼스에 위치한 서울대학교 보건진료소¹²⁾와 협력하고 대한민국 기상청에서 운영 중인 기상자료개방포털¹³⁾에서 서울시 기상자료 얻어 기후 민감 질환 조기경보체계 구축에 필요한 자료를 구성하였음
- 서울시 기상자료는 기상청에서 일반에 개방하고 있는 기상자료개방포털에서 종관기상관측(Automated Surface Observing System, ASOS) 자료를 활용함¹⁴⁾
 - 서울시 관측소의 위치는 서울특별시 종로구 송월길 52로, 서울대학교 보건진료소와의 거리 내에서 오차범위가 미세하다고 판단되며, 대부분의 국가에서 기상관측소 간의 거리가 평균적으로 5-50km이고, 세계기상기구(WMO)의 권고 또한 10-50km이기 때문에 서울관측소와 보건진료소와의 거리가 약 15km 인 것을 감안하면 거리로 인한 편향은 미미할 것으로 보임
 - 북한의 경우, 기상청에 따르면, 세계기상기구의 기상통신망을 통해 27개 지점의 관측 자료를 제공하고 있고, 관측소 간 거리는 평균적으로 50-100km 정도로 추정됨 [그림 5]
 - 본 연구에 사용된 기상자료는 시간별 최저, 최고, 평균 기온(°C), 시간별 총강수량(mm), 시간별 평균 습도(%)가 사용되었고, 바람의 경우 분석을 위해 확보하였으나, 관측소와 관악 캠퍼스와의 지형 차이 등으로 인하여, 본 분석에서는 사용되지 않았음

12) 서울대학교 관악캠퍼스 보건진료소 웹페이지(<https://health4u.snu.ac.kr/index.do>)

13) 대한민국 기상청 기상자료개방포털 웹페이지(<https://data.kma.go.kr/cmnmn/main.do>)

14) 기상청 기상자료개방포털의 종관기상관측 자료 웹페이지 (<https://data.kma.go.kr/data/gnd/selectAsosRltmList.do?pgmNb=36>)



[그림 5] 북한의 27개 기상관측소 위치
(출처: 기상청 기상자료개방포털 북한기상관측자료)

- 건강자료는 2013~2023년 간 서울대학교 관악 캠퍼스 보건진료소를 방문한 대상의 건강자료를 개인의 인적 정보를 삭제하고, 분석에 필요한 자료만 사용하였음
 - 사용된 건강 변수는 방문 일시, 상병코드(KCD6/7), 진료과목으로 간략하게 구성되었고, 진료과목의 경우, 내과, 정신과, 외과, 정형외과, 부인과, 안과, 이비인후과, 피부과, 가정의학과, 그리고, 진료 이외에 예방접종과 금연이 포함되었음
 - 대학이라는 특성상, 주말, 방학, 휴일 등 진료소의 비영업일과, 학교의 휴교일을 고려하여, 여름, 겨울 방학 기간과 공휴일을 분석에 적용하였음
- 선택된 기상자료와 건강자료를 매칭시켜 데이터 DB 구축을 하기 위하여, 시간별 측정된 기상자료를 일별 자료로 변환하고, 건강자료는 상병코드별 일일 총 진료 횟수(total count)를 구하여, 2013년 1월 1일부터 기상자료와 건강자료를 매칭시킴

- 북한의 경우도 기상자료를 세계기상기구에서 권고하는 수준으로 시간별 자료를 27개 관측소에서 측정이 되고 있고, 건강자료의 경우 본 연구 1차년도 탈북의료인과의 조사에 따르면 보건지소에서 한 달에 한 번씩 상부 보건의료기관으로 건강자료를 보고하는 식이나, 진료 날짜 정보를 이용하여 일별 진료 횟수를 얻을 수 있어, 데이터 DB 구축에는 문제가 없을 것으로 사료됨

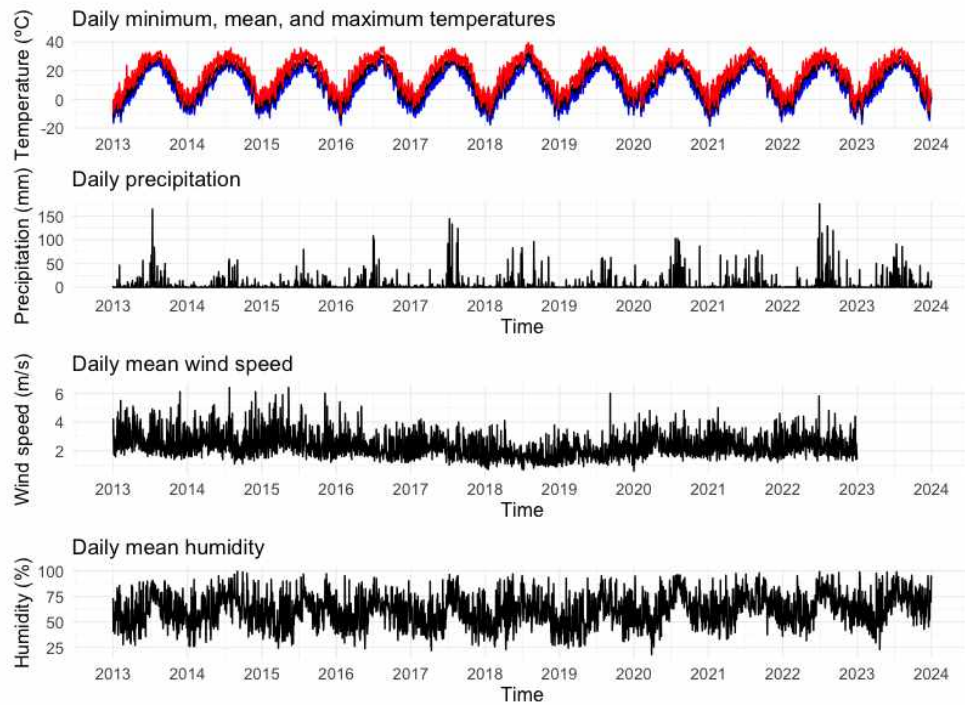
□ 기후와 건강의 연관성 분석

- 구축된 기후변화 데이터 DB를 바탕으로 기후와 건강 간의 역학 관계를 분석하였으며, 2013~2023년 간 서울시 기상 변수의 평균값을 기술하고, 건강 변수는 세부 진단을 1차로 분석한 뒤 2차로 소분류와 대분류로 그룹화하여 분석함 <표 1>

Variable	Completeness rate (%)	Mean	Standard Deviation (SD)	Minimum	25 th percentile	Median	75 th percentile	Maximum
Diagnosed date	100% (N = 4017 days)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Mean temperature (℃)	100%	13.4	10.6	-14.9	4.5	14.5	22.9	33.7
Minimum temperature (℃)	99.98%	9.3	10.9	-18.6	0.2	9.9	19.0	30.3
Maximum temperature (℃)	99.98%	18.2	10.7	-10.7	9.0	20.1	27.6	39.6
Hourly precipitation (mm)	100%	5.8	5.7	0.0	1.5	3.8	8.6	24.0
Total precipitation (mm)	100%	3.4	12.4	0.0	0.0	0.0	0.4	176.2
Wind speed (m/s)	99.90%	8.5	2.5	3.5	6.7	8.0	9.7	28.3
Maximum wind speed (m/s)	99.90%	4.9	1.4	1.6	3.9	4.7	5.6	12.6
Mean wind speed (m/s)	90.83%	2.3	0.8	0.6	1.8	2.2	2.7	6.4
Minimum wind speed (m/s)	9.04%	2.3	0.6	1.1	1.8	2.2	2.5	5.4
Minimum humidity (%)	99.98%	40.0	16.5	7.0	28.0	38.0	50.0	97.0
Mean humidity (%)	100%	61.3	15.0	17.9	50.3	61.1	71.5	99.8
Diagnosis	99.66%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

〈표 1〉 기상과 건강 변수의 기술 분석(NA: Not Applicable)

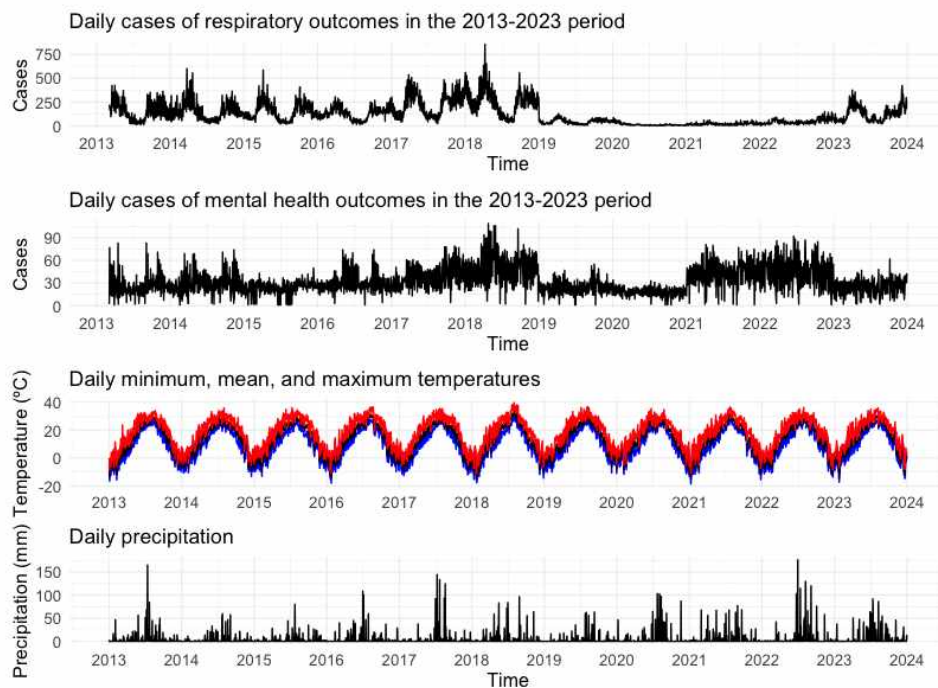
- 기상 변수의 시계열 분석(Time-series Analysis)를 통해 2013~2023
년 기간 동안의 트렌드를 보았음 [그림 6]



[그림 6] 기상 변수의 시계열 분석(2013~2023)

○ 1차 세부 진단 분석 결과, 호흡기 진단과 정신과 진단에 대해 각각 분석을 수행하였음

- 코로나19 기간 동안 두 진단 모두 일별 진단 횟수가 감소했으며, 호흡기 질환은 코로나19 종료 이후에도 감소 현상이 나타난 반면, 정신건강 진단은 코로나19 이후 다시 상승하는 경향을 보임 [그림 7]



[그림 7] 기상자료와 건강자료의 시계열 분석(2013~2023)

○ 위의 변수를 바탕으로 "Cases = temperature + rainfall + humidity + long term trends + vacation + day of week" 형태의 통계 모델이 설정되었음

- 호흡기 질환의 경우, 온도와 건강 간 선형적 연관성을 가정했을 때 최고, 최저, 평균 온도 모두에서 통계적으로 유의한 연관성을 보임 <표 2>

Temperature variable	RR (95% CI)	Remarks
Mean temperature (Linear assumption)	1.012 (1.007, 1.016)	Statistically significance positive association
Max temperature (Linear assumption)	1.01 (1.006, 1.014)	Statistically significance positive association
Min temperature (Linear assumption)	1.008 (1.004, 1.013)	Statistically significance positive association

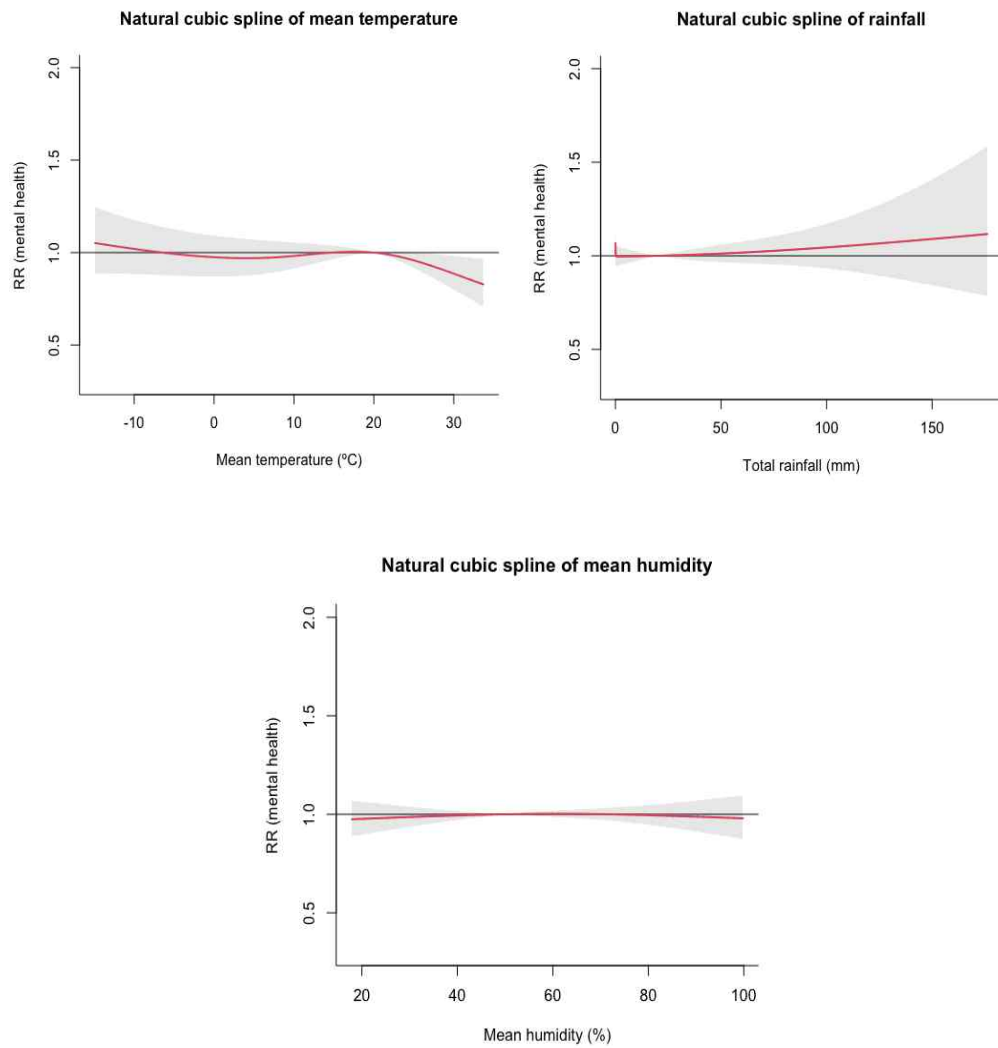
<표 2> 온도 변수와 호흡기 진단의 연관성

- 비선형 모델에서 최적의 모델을 찾기 위해 Quasi-likelihood under the Akaike Information Criterion(QAIC)를 활용하였으며, 각 모델 별로 변수의 degree of freedom(df)을 조정하여 최적의 모델을 도출하였고, 최종 변수별 df는 <표 3>에 기술하였음

변수별 Degree of freedom
Mean temperature: df=4
Min temperature: df=4
Max temperature: df=4
Rainfall: df=4
Mean humidity: df=2
Long-term trends: df=70 (7*num_year)

<표 3> 기상 변수별 최적 모델을 위한 Degree of freedom

- Natural Cubic Spline(NCS)을 이용한 비선형 분석에서는 강수량과 습도는 호흡기 진단과 연관성이 없는 것으로 관찰되었고, 평균온도의 경우 20℃ 이상부터 감소하며 30℃ 정도에서 통계적으로 유의하게 감소하는 현상을 보이며, 최고, 최저 온도도 같은 현상을 보임 [그림 8]
- 평균 온도의 경우, 20℃를 기준으로 온도가 상승하면 호흡기 진단이 급격히 감소하는 관계를 보이며, 일반적인 상관관계와는 달리 20℃ 미만으로 온도가 감소할 경우에도 호흡기 진단이 감소하는 현상을 보임
 - 이 같은 현상은 최고, 최저 온도에서도 동일하게 나타남
 - 강수량(rain fall)의 경우, 70mm를 기준으로 강수량이 감소하면 호흡기 진단이 증가하고 비가 오지 않는 날에 가장 높게 나타남



[그림 8] Natural Cubic Spline(NCS)을 이용한 기상 변수와 호흡기 진단의 연관성

- 정신건강 진단의 경우, 선형 관계 가정하에 최고, 최저, 평균 온도 모두에서 연관성이 없음이 관찰되었음 <표 4>

Temperature variable	RR (95% CI)	Remarks
Mean temperature (Linear assumption)	0.998 (0.994, 1.002)	No statistical significance
Max temperature (Linear assumption)	0.999 (0.995, 1.003)	No statistical significance
Min temperature (Linear assumption)	0.997 (0.993, 1.001)	No statistical significance

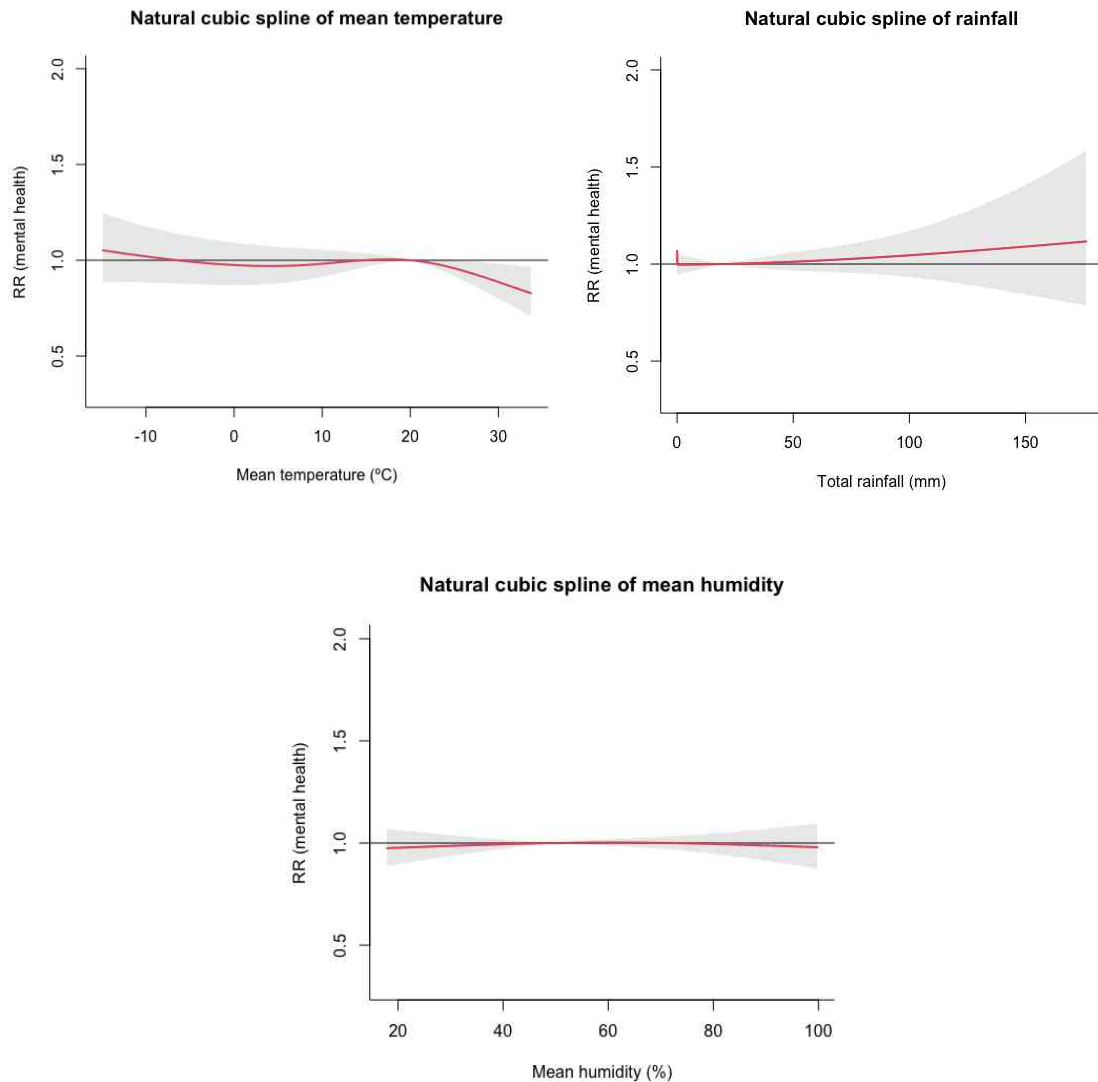
<표 4> 온도 변수와 정신건강 진단의 선형적 상관관계

- 정신건강 진단은 호흡기 진단과 동일하게 최적의 모델을 찾기 위해 각 변수별 degree of freedom(df)이 분석되었고, 최종 df는 아래와 같음 <표 5>

변수별 Degree of freedom
Mean temperature: df=3
Min temperature: df=3
Max temperature: df=3
Rainfall: df=4
Mean humidity: df=2
Long-term trends: df=60 (6*num_year)

<표 5> 기상 변수별 최적 모델을 위한 Degree of freedom

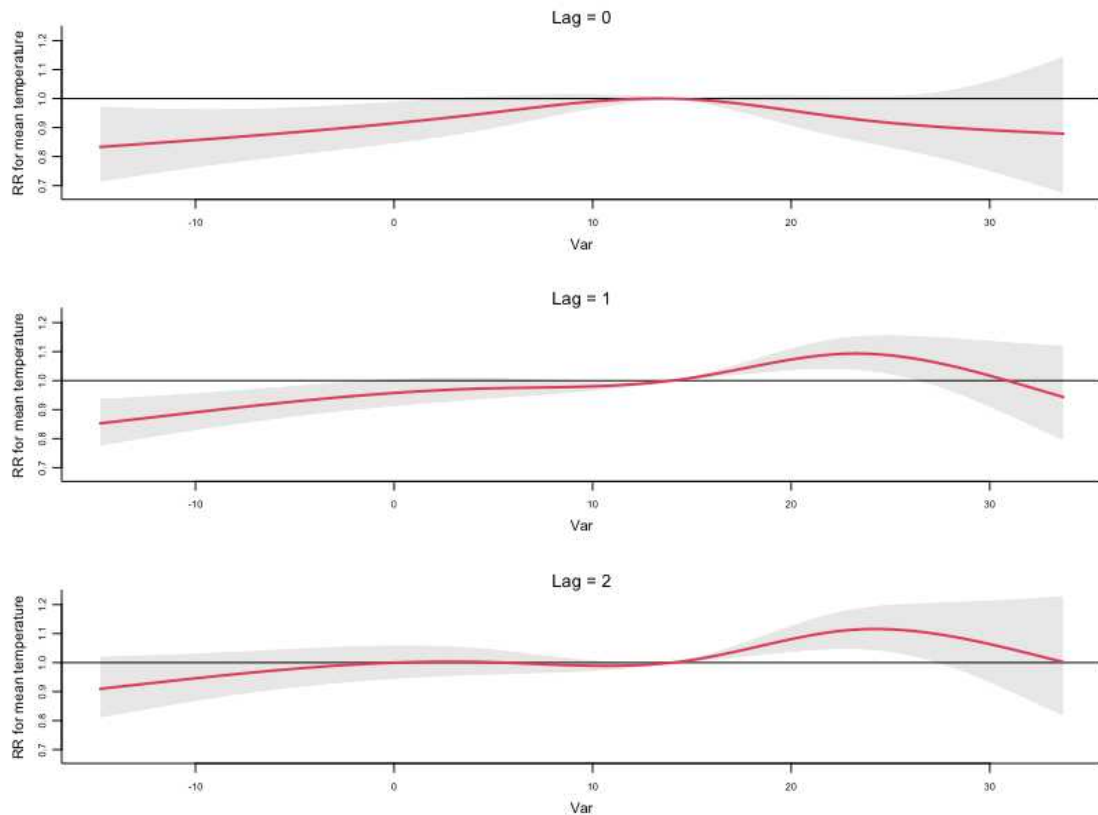
- Natural Cubic Spline(NCS)을 이용한 비선형 분석 결과, 강수량과 습도는 정신건강 진단과 연관성이 없는 것으로 관찰되었으며, 평균 온도는 20°C 이상에서 감소하기 시작하며 30°C에서 통계적으로 유의하게 감소하는 현상이 확인됨 [그림 9]
- 최고 온도와 최저 온도에서도 평균 온도와 유사한 경향이 나타남



[그림 9] Natural Cubic Spline(NCS)을 이용한 기상 변수와 정신건강 진단의 연관성

○ 기상 변화와 진단 사이의 시차를 고려하여 시차 분석을 수행하기 위해 이동 평균 모형(Moving-Average model)과 분산 시차 모형(Distributed Lag model)을 사용하여 각 모델에 7일 및 14일의 시차를 적용하였음

- 평균 온도는 시차를 적용하지 않은 모델에서 20°C 이상과 이하 모두 호흡기 진단이 감소하는 경향을 나타내며, 7일 시차를 적용한 모델에서도 15°C 이상에서 호흡기 진단이 상승하고, 30°C 이후 다시 감소하는 경향이 관찰되었음 [그림 10]



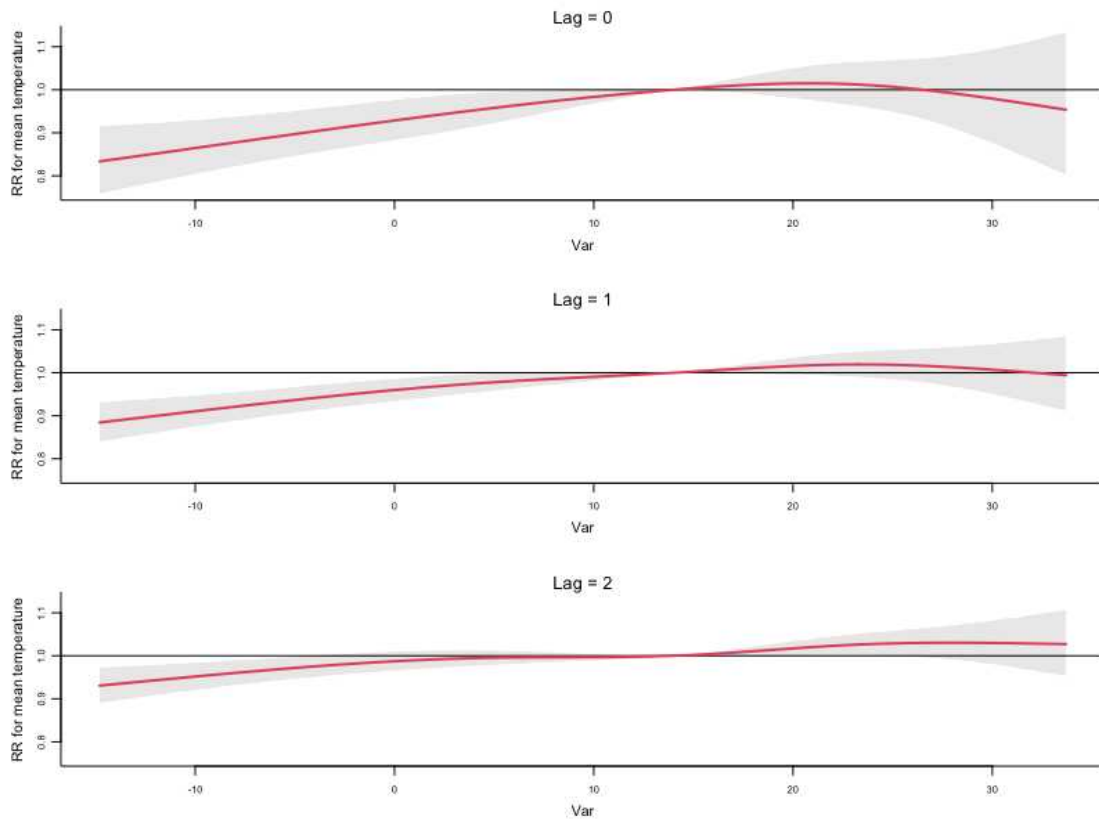
[그림 10] 7일 시차 적용 평균 온도와 호흡기 진단의 상관관계
(Lag=0: same as same-day model; Lag=1: moving-average model lag; Lag=2: distributed lag model)

- 최저 온도의 경우, 15°C 이후 호흡기 진단이 상승하는 경향을 보이나 통계적으로 유의하지 않았으며, 최고 온도의 경우에는 평균 온도와 동일한 경향이 관찰되었음 <표 6>

Model No.	Temperature variable	RR (95% CI)	Remarks
A1.1 (7-day moving average)	Mean temperature (Linear assumption)	1.007 (1.001, 1.013)	Marginal statistical significance
A1.2 (7-day moving average)	Max temperature (Linear assumption)	1.004 (0.998, 1.009)	No statistical significant
A1.3 (7-day moving average)	Min temperature (Linear assumption)	1.008 (1.002, 1.014)	Statistically significant positive association (but effect estimate is very small)
A2.1 (14-day moving average)	Mean temperature (Linear assumption)	1.010 (1.001, 1.018)	Statistically significant positive association (but effect estimate is very small)
A2.2 (14-day moving average)	Max temperature (Linear assumption)	1.008 (0.999, 1.015)	No statistical significant
A2.3 (14-day moving average)	Min temperature (Linear assumption)	1.010 (1.001, 1.019)	Statistically significant positive association (but effect estimate is very small)

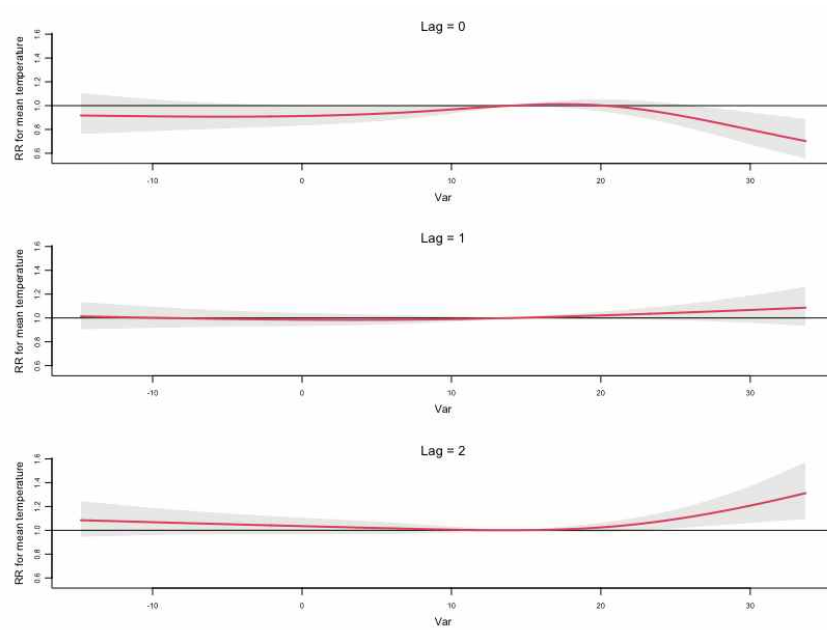
〈표 6〉 시차 적용 후 온도 변수와 정신건강 진단의 선형적 상관관계

- 14일 시차를 적용한 모델에서는 평균 온도 15℃ 이하에서 호흡기 진단이 유의하게 감소하는 현상이 나타났으나, 15℃ 이상에서는 유의한 관계가 관찰되지 않음 [그림 11]
- 최고 온도와 최저 온도에서도 같은 현상을 나타냄

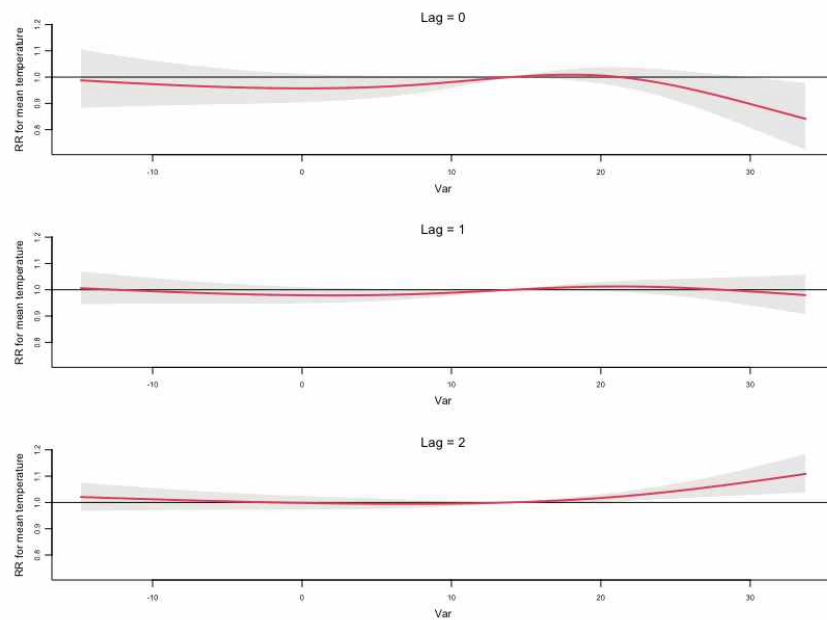


[그림 11] 14일 시차 적용 평균 온도와 호흡기 진단의 상관관계
(Lag=0: same as same-day model; Lag=1: moving-average model lag; Lag=2: distributed lag model)

- 정신건강과의 시차 적용 분석 결과, 7일 시차 모델은 [그림 12]에서 보이는 것처럼 유의한 상관관계를 나타내지 않음
- 반면, 14일 시차 모델에서는 20도 이상에서 정신건강 진단이 유의하게 상승하는 현상이 관찰되며, 최저 온도와 최고 온도와의 상관관계에서도 동일한 경향이 확인됨 [그림 13]



[그림 12] 7일 시차 적용 평균 온도와 정신건강 진단의 상관관계 (Lag=0: same as same-day model; Lag=1: moving-average model lag; Lag=2: distributed lag model)



[그림 13] 14일 시차 적용 평균 온도와 정신건강 진단의 상관관계 (Lag=0: same as same-day model; Lag=1: moving-average model lag; Lag=2: distributed lag model)

다. 소결론

□ 북한에서의 조기경보체계 실행 전략

- 대북제재 환경에서의 도전과 해결 방안은 UN 제재로 인한 기술 및 재정적 제약을 극복하기 위해 인도적 지원 예외를 활용하고, 저비용 기술 및 현지 자원을 기반으로 한 지속 가능한 솔루션을 마련하는 데 중점을 둠
 - UN 제재로 인해 기술 이전과 국제 협력이 제한되므로, 국제적 지원 프로그램과 협력을 통해 우회적 해결 방안을 모색함
 - UN 1718 제재위원회의 인도적 지원 승인 절차를 활용하여 인도적 지원 예외를 적극적으로 활용함
 - 수동 기상 관측소나 오픈소스 소프트웨어 등 저비용 기술과 현지 자원을 활용하여 문제를 해결함
 - 지역사회 중심의 역량 개발 프로그램을 통해 현지 인력을 교육하고 훈련하여 지속가능성을 강화함
- 실행 방안은 법적 틀 활용, 국제협력 강화, 저비용 기술 적용, 지역 협력 및 지속가능성 확보를 통해 제재 환경 속에서도 효과적인 감염병 대응과 기후 변화 적응을 실현하는 데 중점을 둠
 - 유엔 안보리 결의안 내 인도적 지원 조항을 적극적으로 활용하여 제약을 완화함
 - 기후 민감 조기경보체계가 공중보건 개선, 재난 대비 강화, 식량 안보 확보 등 인도적 목표에 부합함을 입증함
 - WHO와 국제적십자사 등 인도적 단체와의 협력을 통해 효과적인 대응 방안을 마련함
 - 중국, 한국, 일본 등 인접국과 기술 및 데이터 공유를 통해 제약을 극복하고 협력적 환경을 조성하여 감염병 대응 및 기후 예측 강화
 - 수동 기상 관측소와 오픈소스 소프트웨어 등 저비용 기술을 활용하여 경제적 부담을 줄임
 - 현지 인력의 교육과 역량 강화를 통해 지역 인프라를 기반으로 시스템 유지 보수가 가능하도록 함
 - 대북제재 완화 시 점진적으로 기술을 업그레이드하여 지속 가능한 발전을 도모함

4. 재생에너지 모니터링 시스템 구축

가. 국내 보건지소 태양광 발전 시스템 적용 사례

□ 북한지역 적정 재생에너지 고찰(1차년도 연구) 결과

- 1차년도 연구를 통해 개발도상국의 재생에너지 활용 사례와 북한 지역의 지형 및 기후를 고려한 적정 재생에너지원에 대해 고찰하였음
 - 북한지역은 지역에 따라 활용 가능한 재생에너지원이 상이하기는 하나, 태양광, 풍력, 소수력 등을 활용할 수 있는 지형 및 기후 여건이 발달 되어 있음을 확인하였음
- 그러나 소수력의 경우, 북한지역의 연평균 기온이 낮고 겨울과 영하의 온도 기간이 길어 에너지 생산으로 연계되기에는 많은 제약이 있을 것으로 예상되었음
 - 태양광과 풍력의 하이브리드 발전이 북한지역에 적용 가능한 재생에너지원으로 판단하였음
- 2차년도 연구에서는 1차년도 연구결과로 도출된 북한지역 적정 재생에너지원 중, 보다 광범위한 지역에서 활용 가능한 태양광 발전을 대상으로 하는 스마트 모니터링 시스템을 구축하고, 북한지역과 유사한 지역에서 기후와 연계한 태양광 발전 모니터링 가능성을 검증하였음

□ 국내 보건(지)소 태양광 발전 적용 현황

- 제주시, 서산시, 논산시, 밀양시, 음성군, 함양군, 예산군, 평창군 서울특별시 노원구 등 국내 다수의 지자체에서 보건(지)소 그린 리모델링 사업의 일환으로 보건(지)소에 태양광 발전설비를 설치하여 운영 중에 있음 [그림 14]
- 국내 보건(지)소의 태양광 발전설비 설치 목적은 태양광 발전 에너지의 직접 활용보다는 탄소중립 실천이라는 국가시책 추진에 중점을 두고 있으며, 태양광 설비로부터 생산되는 재생에너지의 운용은

한국전력과의 협약을 통해 전기사용료 차감 외에 별도 활용은 없는 실정임



(a) 안동시 임동보건지소¹⁵⁾ (b) 밀양시 단장보건지소¹⁶⁾ (c) 예산군 오가보건지소¹⁷⁾

[그림 14] 국내 보건지소 태양광 발전 적용 현황

□ 평창군 보건(지)소 태양광 발전 적용 사례

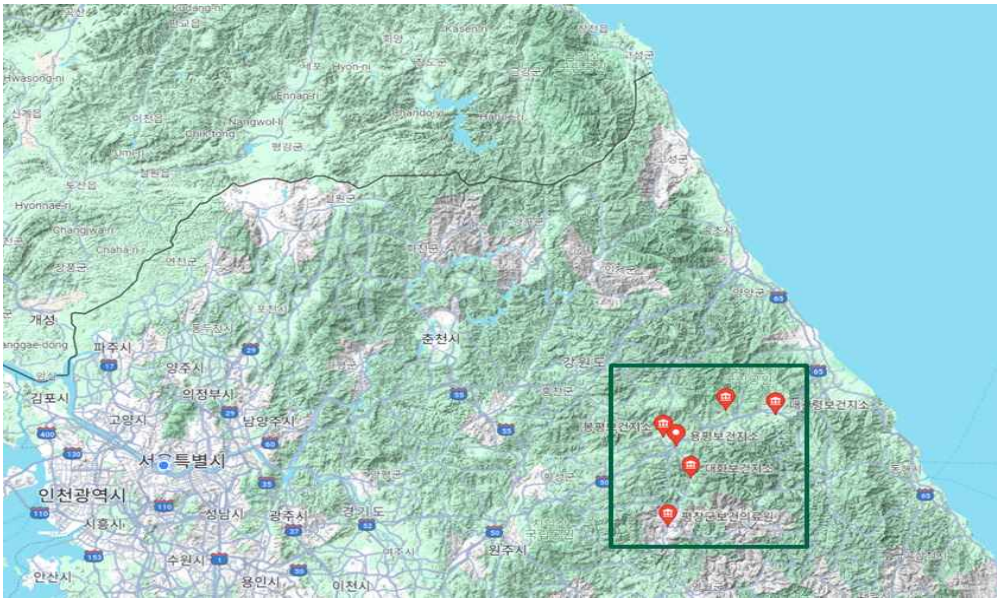
○ 강원도 평창군은 평균 고도 600m 이상의 산악지형으로, 동·북·서 방향 삼면이 높고 험준하여 북한지역과 유사한 지리적 특성을 보임

- 평창군 지역의 보건(지)소는 평창군 일대 전 지역에 약 10여 개소가 분산되어 지역 주민의 건강 증진과 질병 예방 및 관리를 위한 활동을 추진하고 있음 [그림 15]

15) Retrieved from <https://www.yeongnam.com/web/view.php?key=20131205.010100720040001>

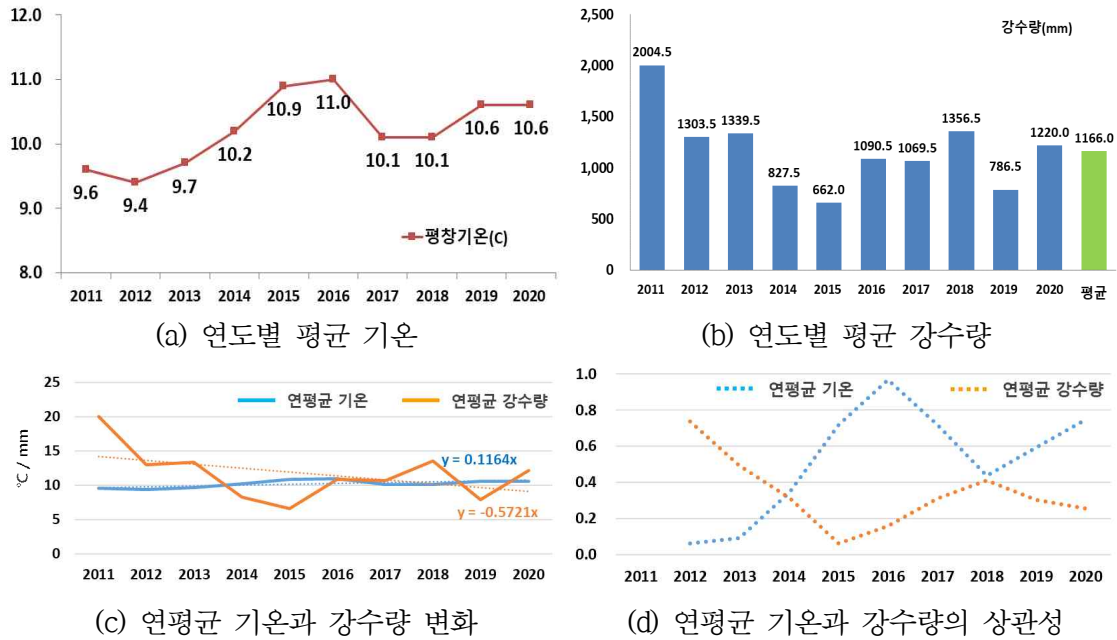
16) Retrieved from <https://www.knnews.co.kr/news/articleView.php?idxno=1293324>

17) Retrieved from <http://www.ikbn.news/news/article.html?no=118380>



[그림 15] 평창군 보건(지)소의 지리적 위치

- 평창군 지역의 최근 10년간 연평균 기온은 최저 9.4℃에서 최고 11.0℃의 분포로 평균 10.2℃ 수준을 보이고 있으며, 최근 10년간 연평균 강수량은 최저 662.0mm에서 최고 2,004.5mm로 평균 1,166.0mm 수준임⁴⁾ [그림 16(a), (b)]
- 최근 10년간의 평창군 지역 기후변화는 연평균 기온이 약 1℃ 상승하였으며 연평균 강수량은 약 6mm 가까이 감소하고 있는 추세를 보임 [그림 16(c)]
 - 한편, 연평균 기온 변화와 연평균 강수량 변화의 상관성을 살펴보면, 기온이 낮은 연도에는 강수량이 높고 기온이 높은 연도에는 강수량이 낮은 모습을 보임 [그림 16(d)]



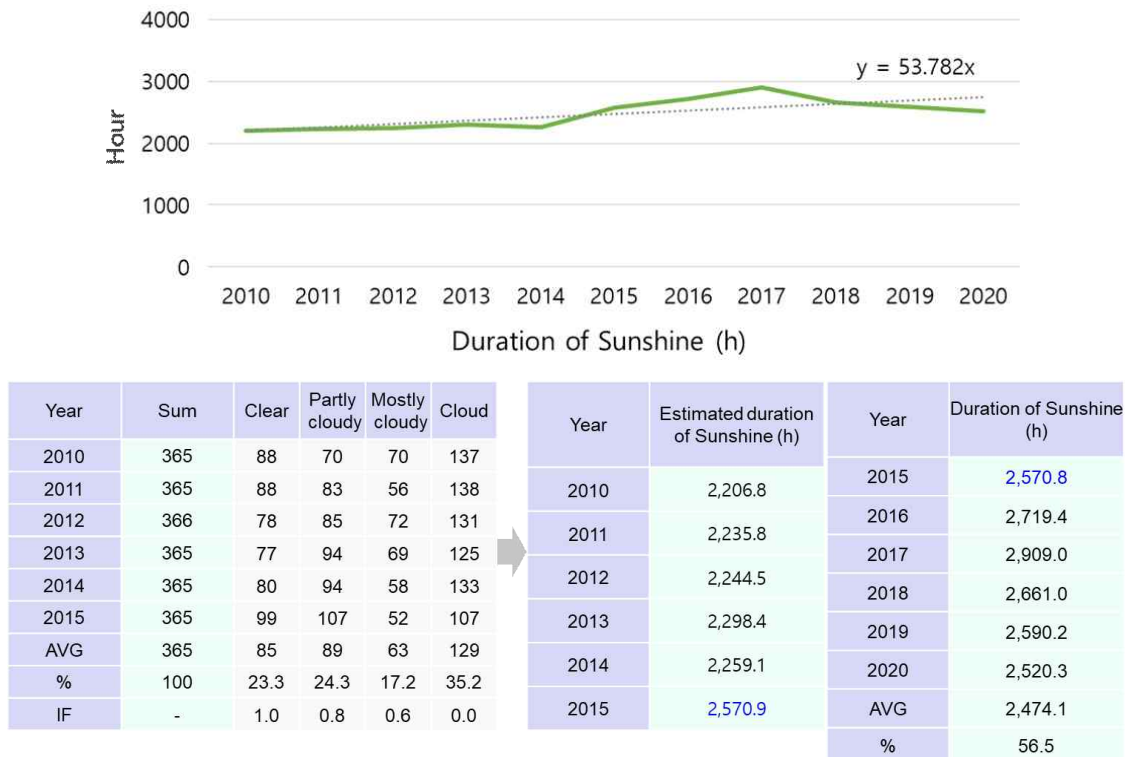
[그림 16] 평창군 지역의 기후적 특성¹⁸⁾

- 강원도 평창군 지역의 해발고도가 평균 600~700m 수준으로 북한 북동부 지역의 약 500~2,000m에 비해 다소 낮고, 연평균 기온 또한 북한지역보다 4~7°C 높기는 하나, 남한지역의 지리적 특성을 고려할 때, 강원도 고성군과 더불어 북한지역의 지형 및 기후 특성과 가장 유사한 지역으로 판단할 수 있음
- 또한, 한국에너지기술연구원의 조사에 따르면, 강원도 평창군 일대의 일사량과 일조시간, 풍력 잠재량 등이 북한지역에 대비하여 낮지 않은 것으로 확인되었음¹⁹⁾
- [그림 17]은 최근 10년간의 평창군 지역 일조시간을 조사한 결과로, 2014년 이후의 자료는 평창군의 통계자료를 반영하였으며, 2014년 이전의 자료는 일조시간 데이터가 없어 기상 개황을 기반으로 추정한 결과임
 - 북한지역의 연간 일조시간은 2,280~2,680H로 추정되고 있는데, 최근 10년간 평창군 지역의 연간 일조시간은 2,206~2,909H 수준으로, 가

18) 평창군 통계연보(<https://www.pc.go.kr/portal/part/info-statistics>) 재구성

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

장 낮은 2010년 데이터와 가장 높은 2017년 데이터를 제외하면 북한 지역의 연간 일조시간과 거의 유사함을 알 수 있음



[그림 17] 평창군 지역 일조량의 변화¹⁸⁾

- 상기의 조사 결과를 바탕으로, 평창군 지역이 북한지역과 지형적, 기후적, 재생에너지 발전 환경적으로 가장 유사한 남한내 지역으로 판단되어, 본 연구의 대상 지역으로 선정하고 해당 지역내에 운영되고 있는 보건(지)소 현황과 이와 연계되어 설치된 태양광 발전 설비 현황을 조사하였음
- <표 7>은 평창군 보건지소의 협조로 확인한 평창군 보건의료원 이하 10개 보건진료소 및 보건지소 현황으로, 10개소 모두 2021~2022년간 보건지소 리모델링 사업을 통해 태양광 발전 설비를 구매하여 설치함
 - 1차년도 사업(2021년)에는 5개 보건(지)소에 9.6kW급 태양광 발전 설비를 설치하였으나, 2차년도 사업(2022년)에는 설비 용량을 5.95~7.14kW로 하향하여 설치하였음

- 설치된 태양광 발전 설비를 통해 생산된 전력은 한국전력의 국가 전력망과 연동되어 발전된 전력량에 따라 사용한 전력량을 차감하는 방식으로 운용되고 있으며, 각 보건지소별로 별도의 운영유지를 위한 관리를 수행하지는 않는 것으로 확인함

번호	건축물명	주 소	사업 내역	발전설비용량(kw)	설치금액(원)	설치시기
1	도돈보건진료소	평창군 평창읍 평창강로 854	태양광발전설비 구매설치 (보건지소 리모델링 사업)	5.95	23,717,000	2022.12.
2	거문보건진료소	평창군 진부면 거문길 13-3		7.14	25,964,000	
3	유천보건진료소	평창군 대관령면 전나무길 8		7.14	26,727,000	
4	봉평보건지소	평창군 봉평면 기풍8길 32-4		7.14	27,715,000	
5	면온보건진료소	평창군 봉평면 진조길 14		7.14	27,222,000	
6	미탄보건지소	평창군 미탄면 창리 710-1		9.6	28,671,000	2021.11.
7	대화보건지소	평창군 대화면 남산1길 36		9.6	28,040,000	
8	용평보건지소	평창군 용평면 갈정지길 10		9.6	28,559,000	
9	계촌보건진료소	평창군 방림면 운지로 294-14		9.6	28,392,000	
10	두일보건진료소	평창군 진부면 방아다리로 338-3		9.6	27,874,000	

<표 7> 평창군 보건지소 태양광 발전설비 설치 현황²⁰⁾

20) 평창군 보건의료원 보건정책과 제공(2024.06.11)

○ [그림 18]은 평창군 보건지소에서 운영 중인 태양광 발전 설비의 모습으로, 대부분 주차 차양대 및 전기차 충전소 등으로 활용하고 있음



[그림 18] 평창군 보건지소 태양광 발전설비 설치 모습²¹⁾

21) 평창군 보건의료원 보건정책과 제공(2024.06.11)

- 평창군 보건지소의 태양광 발전 적용 사례를 확인한 결과, 아래와 같은 착안 사항을 확인할 수 있었음
 - 태양광 발전 설비 구축 및 운용 측면: 전 설비가 주차장 차양대로 구축되었으며 대부분 전기차 충전시설과 연동되어 활용되고 있음
 - 일부 설비는 태양의 방향에 따라 최적 위치 선정 및 수목 등으로 인한 태양광 패널 가림 현상 등 주변 차폐물에 대해 관리가 소홀한 부분이 있었음 [그림 19]
 - 태양광 발전 에너지 운용 측면: 한국전력의 상전과 통합하여 발전량을 전기 사용량 차감 분으로 계상하는 방식으로 운용하고 있었으며, 보건지소별 전기 사용량 및 발전 설비별 발전량 확인이 제한되었음
 - 또한, 생활 전력 및 전기차 충전 등과 의료 및 의료행정 전력 통합 운용으로 각 보건지소의 진료와 관련하여 실제 사용된 전력량의 확인이 제한됨
 - 평창군 지역 보건지소의 태양광 발전 적용 사례를 조사한 결과, 에너지 운용 측면에서는 태양광 발전 설비를 설치한 목적이 다소 모호하였음
 - 설비 구축 및 운용 측면에서는 태양광 발전의 효율을 극대화하기 위한 환경적 측면의 고려가 필요할 것으로 판단되었으며, 이러한 상황은 국내의 다른 보건지소에서도 유사할 것으로 추정됨
- 평창군 지역 보건지소의 태양광 발전 운영 사례를 통해, 평창군 지역에서의 태양광 발전은 가능성이 있는 것으로 확인되었으며 설비 구축 및 운영 착안사항을 고려하여 북한지역 보건지소에서 운영 가능한 태양광 발전 시스템 구축의 설계가 가능할 것으로 판단됨



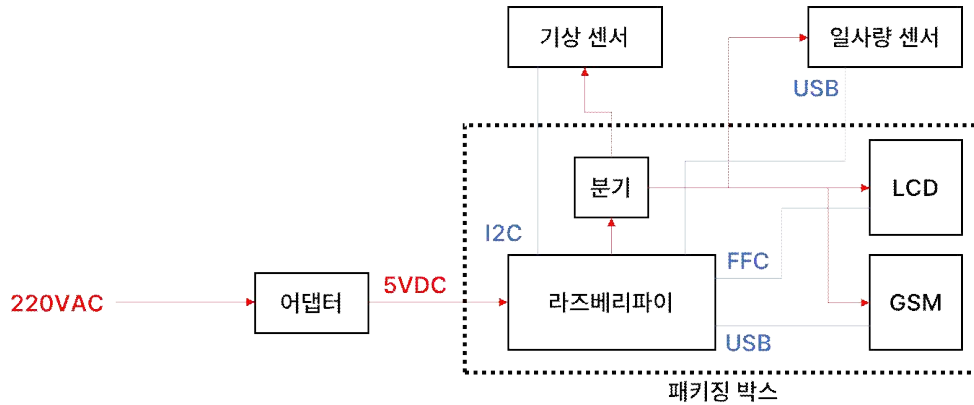
[그림 19] 태양광 발전설비 사후관리 착안 사항

나. 태양광 발전 스마트 모니터링 시스템 구축

□ 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템 설계

- 1차년도 연구를 통해 개념 설계한 북한지역 적정 재생에너지 생산 시스템은 주전력 재생발전원(태양광-풍력 하이브리드 등)과 예비전력 발전원(디젤 발전기 등)에서 생산된 전력량을 기반으로 발전 및 저장량을 예측하고, 보건의소의 설비 및 운영에 소요되는 사용량을 기반으로 사용량을 예측하는 시스템이었으나, 2차년도 연구에서는 예산의 제약으로 재생 발전원을 태양광으로 한정하는 한편, 태양광 발전량이 아닌 일사량의 측정을 통해 발전량을 예측하는 시스템으로 일부 조정하였음
 - 또한, 기후 민감 질병 연구팀의 요청으로 해당 지역의 질병 민감 기상 조건을 모니터링하기 위하여 기상 데이터를 확보할 수 있는 시스템을 추가하여 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템을 설계하였음
- [그림 20]은 2차년도 연구를 통해 보완한 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템의 개요도이며, 센서를 통해 데이터를 수집하고 통신이 가능한 저가형 경량 컴퓨터인 라즈베리파이를 주 컴퓨팅 장치로 하여 일사량 센서를 통해 태양광 발전량 추정을 위한 태양광 정보를 수집하는 것으로 설계하였음
 - 기상 센서를 장착하여 기후연계 질병 정보 분석에 활용하고자 온도,

습도, 풍향 및 풍속, 기압 등의 데이터를 수집하도록 구상하였음



[그림 20] 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템 설계 개요도

- 통신의 경우, 북한지역 통신 환경을 고려하여 문자 및 데이터 통신을 동시에 가능토록 설계에 적용하였음
 - 모니터링 시스템의 패키징은 기상 및 일사량 측정을 위해 외부에 노출되는 점을 고려하여 방수 및 방진이 가능한 패키징 박스의 적용을 판단하였음
- 요구 기능을 고려한 설계 결과, 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템은 컴퓨팅 모듈(라즈베리파이 및 모니터), 일사량 센서 모듈, 기상 센서 모듈, 통신 모듈, 전원 공급부 및 패키징 박스로 구성하였음
- [그림 21]은 조사를 통하여 선정된 일사량 및 기상 센서의 사양으로, 일사량 센서는 우리나라에서 측정되는 일사량이 범위가 최대 약 $1,000\text{W/m}^2$ 인 점을 고려하여 여유 있는 범위의 센서를 선정하였으며, 기상 센서는 온도, 습도, 풍향 및 풍속, 기압 등 기본 기상 요소를 측정할 수 있는 통합센서로 선정하였음
 - 다만, 최근 기상악화의 심화 및 북한지역의 기상 조건을 고려하면, 차후 북한지역에 설치될 모니터링 시스템의 기상 센서는 온도와 풍속 등의 측정 범위가 보다 광범위한 모델을 선정할 필요가 있을 것으로 판단됨

태양방사/일사량 모니터링 센서 (Solar Radiation/Pyranometer Sensor)	통합 기상 모니터링 센서 (Lark Weather Station)
	
✓ 측정 범위 : 0 ~ 2000 W/m² ✓ 정확도 : ± 5 % ✓ 분해능 : 1 W/m² ✓ 스펙트럼 범위 : 400 ~ 1100 nm ✓ 데이터 통신 : RS485 ✓ 작동 전압 : 3.9~30V DC	✓ 측정 범위 • 온도: -20~60°C ±0.2°C • 습도: 0~99%RH ±2%RH • 풍향: Eight directions • 풍속: 0.5~12 m/s • 기압: 300~1100hPa ±1Pa ✓ 데이터 통신: I2C/UART ✓ 작동 전압: 3.3 ~ 5.5V DC ✓ 크기 및 무게 : 160x55mm, 270g

[그림 21] 본 연구에 적용된 일사량 센서 및 기상 센서 사양

○ [그림 22]는 다양한 통신 모듈 및 유심을 조사하여 본 연구에 적용한 무선통신 모듈 및 유심칩의 모델임

- 북한지역의 오지 환경을 고려하여 선정하였으며, SMS(Short Message Service) 전송 방식(2G 통신망 사용)과 통신량의 제약을 보완할 수 있도록 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 데이터 통신을 동시에 적용하였음
- 유심의 선정은 통신 품질 및 운영유지 비용과 연계되는 부분이므로, 복수의 통신사를 활용하여 음영지역을 최소화하는 동시에 장기간(10년) 동안 데이터를 사용할 수 있는 모델을 선정하였음
- 운용 측면에서는 중요한 상태 메시지는 SMS를 활용하고, 측정된 일사량 및 기상 데이터는 MQTT 통신을 통해 저용량 데이터로 전송하는 방식을 적용하였음



[그림 22] 2G 무선통신 모듈 및 저가형 유심

□ 태양광 발전 모니터링 시스템 제작 및 평가

- 운영 환경과 운용 방식을 고려한 설계 결과를 기반으로 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템을 제작하였음 [그림 23]
 - 일사량 센서 모듈과 기상 센서 모듈은 측정의 용이성을 위하여 장치의 상단에 위치시켰으며, 컴퓨팅 모듈과 통신 모듈, 전원부는 패키징 박스 내부에 배치하여 외부 환경의 영향을 받지 않도록 하였음
- 측정된 데이터는 통신 안정성 및 데이터 절약을 위해 1분 단위로 측정하여 10분에 1회 클라우드 서버(구글)로 전송하도록 알고리즘을 구성하였음



[그림 23] 개발된 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템

- 개발된 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템을 강원도 평창군 면온보건진료소에 설치하고 시험 운용을 수행하였음 [그림 24]
- 장치 고정 지그의 설치가 제한되어 주변 시설물에 거치하여 태양광 패널 상단부와 유사한 환경에서 테스트를 수행하였음



[그림 24] 태양광 발전 모니터링 시스템 시험 운용(평창군 면온보건진료소)

- <표 8>은 평창군 면온보건진료소에서 실시한 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템 시험 운용 결과임
- 모니터링 장치에서 수집된 데이터는 구글 클라우드 서버로 전송되어 스프레드시트에 <표 8>과 같이 10분 주기로 기록됨
- 약 3시간의 시험 운용 결과 시스템이 잘 작동되는 것을 확인하였으며, 현장에서 실제 기상 상황과 연계하여 수집된 데이터의 정합성을 확인한 결과도 양호한 것으로 판단되었음
- 시험 운용 당일 현장의 기상은 일사량이 높은 오후 2시를 기준으로 맑고 기온이 높으며 뭉게구름이 일부 지나는 전형적인 한여름 날씨로, 일사량은 구름이 지나는 경우 $91 \sim 120 \text{W/m}^2$, 구름이 전혀 없는 상태에서 $693 \sim 812 \text{W/m}^2$ 수준을 보였는데, 이는 기상청의 기상 기후 빅데이터 분석 플랫폼²²⁾에 시연되는 데이터와 거의 유

사한 수준으로 확인되었음

- 기상 데이터로는 기온이 35~39℃, 습도 31~38%, 풍속 1m/s 이하, 풍향 NE, 기압 941hPa 등으로 측정되었음

Time	Solar radiation [W/m ²]	Temperature [C]	Humidity [%]	Wind speed [m/s]	Wind orientation	Pressure [hPa]
2024-08-30 14:00:17	92	37.62	32.68	0.90	N	941.69
2024-08-30 14:01:17	91	37.43	33.40	0.40	NE	941.71
2024-08-30 14:02:17	97	36.87	34.75	0.40	NE	941.74
2024-08-30 14:03:17	118	36.12	35.92	0.90	NE	941.76
2024-08-30 14:04:17	120	35.96	36.04	0.00	NE	941.75
2024-08-30 14:05:17	812	35.67	38.45	0.00	E	941.77
2024-08-30 14:06:17	810	35.71	36.89	0.40	NE	941.77
2024-08-30 14:07:17	768	36.01	37.02	0.50	E	941.74
2024-08-30 14:08:17	747	36.08	37.01	0.70	NE	941.72
2024-08-30 14:09:17	739	36.79	36.63	0.00	NE	941.70
2024-08-30 14:10:17	729	37.27	35.16	0.60	NE	941.66
2024-08-30 14:11:17	718	37.30	35.12	0.80	NE	941.62
2024-08-30 14:12:17	709	37.90	34.82	0.80	E	941.61
2024-08-30 14:13:17	701	37.86	34.50	0.70	N	941.59
2024-08-30 14:14:17	694	37.98	33.93	0.50	NE	941.59
2024-08-30 14:15:17	695	37.97	33.97	0.80	E	941.55
2024-08-30 14:16:17	705	38.02	34.25	0.70	NE	941.58
2024-08-30 14:17:17	715	38.26	33.54	0.80	NE	941.57
2024-08-30 14:18:17	730	38.50	32.33	0.00	NE	941.57
2024-08-30 14:19:17	369	39.16	31.16	0.60	NE	941.56
2024-08-30 14:20:17	435	38.65	32.20	0.00	NE	941.56
2024-08-30 14:21:17	105	39.18	31.03	0.00	E	941.55
2024-08-30 14:22:17	100	39.09	31.02	0.00	E	941.57
2024-08-30 14:23:17	107	38.75	32.39	0.00	NE	941.54
2024-08-30 14:24:17	746	37.94	35.99	0.00	NW	941.65
2024-08-30 14:25:17	722	38.43	32.11	0.00	NE	941.63
2024-08-30 14:26:17	248	37.95	33.06	0.70	NE	941.60
2024-08-30 14:27:17	709	37.85	32.78	0.40	N	941.59
2024-08-30 14:28:17	693	38.04	31.90	0.80	E	941.57
2024-08-30 14:29:17	677	38.44	32.38	0.90	NE	941.54
2024-08-30 14:30:17	668	38.73	32.48	0.00	NE	941.58

<표 8> 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템 시험 운용 결과

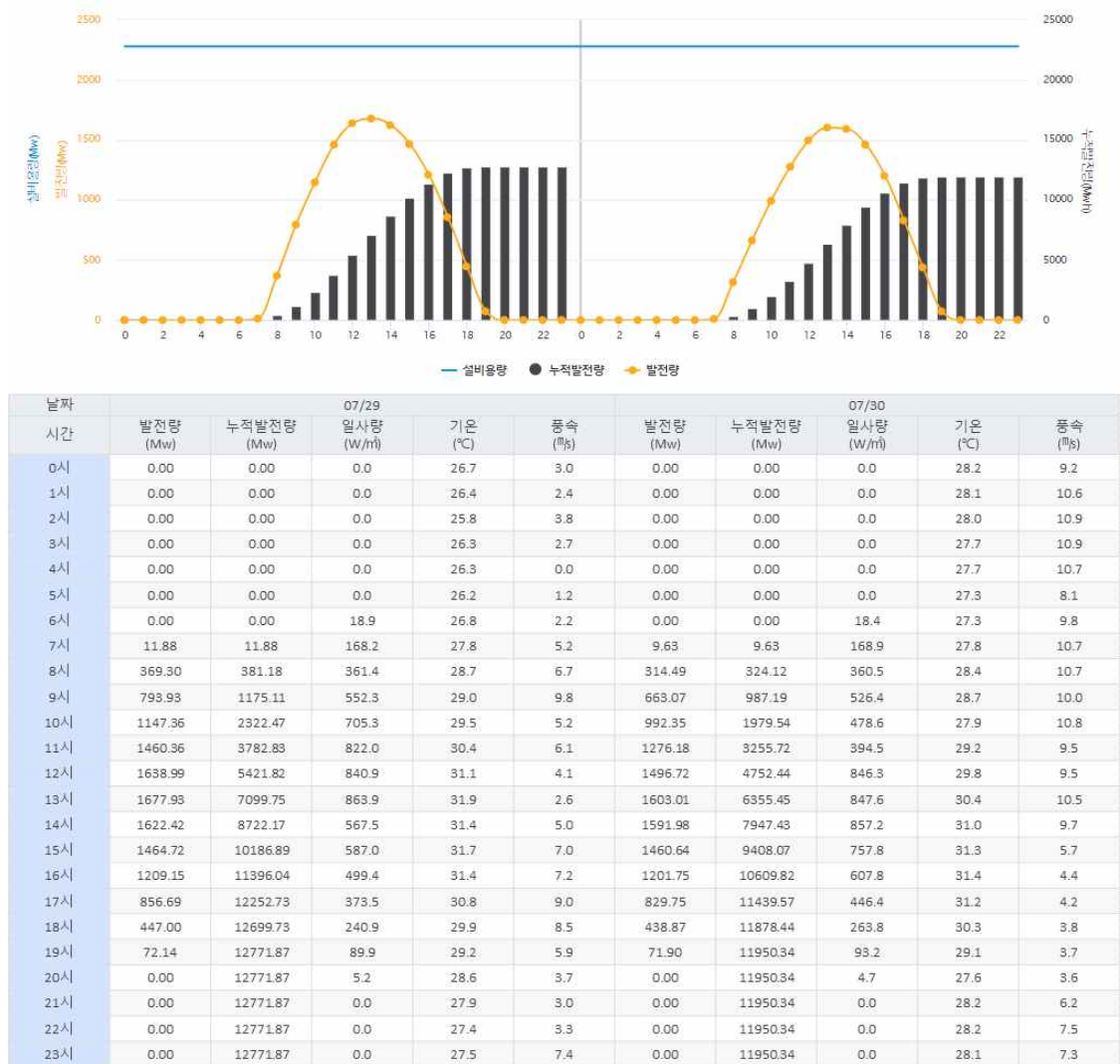
□ 일사량 기준 태양광 발전량 시뮬레이션

- 일사량을 기준으로 태양광 발전량을 계산하는 공식은 아래와 같음

$$\begin{aligned}
 \text{태양광 발전량} &= \text{일사량}(W/m^2) \times \text{태양광 설치 면적}(m^2) \\
 &\quad \times \text{태양광 모듈 발전 효율}(\%) \\
 (\text{예} : 1000(W/m^2) \times \{1(m^2) \times 10(\text{장})\} \times 20(\%) &= 2kW)
 \end{aligned}$$

- [그림 25]는 기상청의 태양광 발전량 시뮬레이터 모습임

22) Retrieved from <https://bd.kma.go.kr/kma2020/fs/energySelect2.do?menuCd=F050702000>



[그림 25] 태양광 발전 시뮬레이션²²⁾

- 본 연구를 통해 개발한 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템은 기상청의 태양광 발전 시뮬레이션에 적용되는 데이터 및 계산 방법을 동일하게 활용 가능함
- 따라서, 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템을 이용하여 특정 지역에 태양광 발전 설비 설치시 생산 가능한 전력량과 기상 정보를 보다 신뢰성 있게 확보 가능함

다. 소결론

□ 2차년도 주요 추진 결과 요약

- 1차년도 연구결과를 기반으로 북한지역과 유사한 지형 및 기상 환경을 가지는 강원도 평창군 지역의 보건지소에 대한 태양광 발전 시스템 적용 사례를 확인하고 착안 사항을 도출하였음
- 기후 민감성 질병과의 상관관계를 분석하기 위하여 기상 데이터 수집과 태양광 발전량 예측이 가능한 태양광 발전 모니터링 시스템을 설계하고 시작품을 제작하여 사례 지역으로 선정한 평창군 일대 보건지소에서 시험 운영을 실시하였음
- 남태평양 피지 지역 보건지소에서 진료 설비 및 진료소 운영을 위한 소요 전력량을 약 10kW 수준으로 판단한 결과를 고려하면, 현재 평창군 일대 보건지소에 설치된 태양광 발전 설비는 본 연구와 연계하여 유용한 테스트 베드로 활용될 수 있을 것으로 판단됨
 - 다만, 개발된 기상 연계 태양광 발전 모니터링 시스템을 운영하기 위한 관련 기관과의 협조, 장치 고정 지그 설치 등의 확인이 필요함

5. 주요 사업 성과

가. ICEAS(International Conference on Energy, Aquatech and Sustainability) 2024 특별세션

□ ICEAS 2024 개요

- 일시: 2024년 7월 31일(수) ~ 8월 2일(금)
- 장소: 서울대학교 글로벌공학교육센터 5층
- 주제: 에너지, 물과 환경, 적정기술, 기후변화와 지속가능개발, 스마트 기술이라는 다양한 주제로 미래 사회의 도전과 해결 방안을 모색하고자 함

□ 세션 개요

- 일시: 2024년 8월 2일(금)
- 장소: 서울대학교 글로벌공학교육센터 5층
- 주제: Development of a smart health center model to strengthen climate change and health impact monitoring functions in North and South Korea
- 발표 주제 및 발표자

발표 주제	발표자
Early Warning and Response System (EWARS) for climate-sensitive diseases in North Korea	김현 교수 (미네소타대학 보건대학원)
Case Study on Solar Power Monitoring System for Smart Health Center	정우균 교수 (서울대학교 기계공학부)

<표 9> 「ICEAS 2024」 특별세션 발표 주제 및 발표자

□ 컨퍼런스 포스터 및 현장 사진



[그림 26] 「ICEAS 2024」 포스터 및 현장 스케치

6. 결론 및 향후 사업 계획

가. 결론

□ 북한의 언론매체 기사 분석을 통해 기후변화 이슈에 대한 관심도를 확인하고, 추후 인도적 지원 및 국제협력 가능성을 확인함

- 본 연구에서는 북한의 주요 언론매체를 분석하여, 기후변화와 질병 관련 기사의 빈도와 내용을 평가함으로써 북한이 기후변화 이슈를 어떻게 인식하고 있는지 파악하였으며 이를 통해 북한 내부에서의 기후변화 인식 수준과 대응 방향을 이해할 수 있었음
- 기사 분석 결과, ‘기후변화’와 관련된 기사가 가장 많았으며, 이는 북한이 이 이슈를 주요 환경 및 경제적 위협으로 인식하고 있음을 시사함
 - 특히, 2020년 이후 관련 기사의 빈도가 급격히 증가한 것으로 나타나, 북한이 최근 들어 기후변화 문제를 보다 심각하게 인식하고 있음을 보여줌
- 또한, 열파, 한랭, 대기오염과 같은 기후변화로 인한 구체적인 문제들이 농업, 에너지 사용, 보건의료 등 다양한 분야에서 중대한 영향을 미치고 있다는 점을 북한이 강조하고 있음을 확인함
 - 이는 기후변화가 북한 사회 전반에 걸쳐 실질적인 위협으로 작용하고 있음을 반영함
- 이를 바탕으로, 북한이 기후변화에 대해 보다 구체적인 국제협력 방안을 모색하거나, 인도적 지원의 필요성을 강조하는 행보를 보일 가능성이 있음을 확인하였으며, 이는 향후 북한과의 교류협력 사업을 계획할 때 중요한 고려 요소로 작용할 것으로 사료됨

□ 기후 데이터 및 건강 데이터를 활용한 모니터링 시스템 구축과 대북 제재 상황에서의 우선순위 설정의 기초자료를 제공함

- 본 연구에서는 북한과 지리적 및 기후적으로 유사한 지역의 기후 데이터를 수집·분석하여 기후와 건강 간의 연관성을 평가하고자 하

였으나 이는 3차년도에 도입될 예정으로 특히 강원도 평창군과 같은 지역의 데이터를 활용하여 기후 관련 질환의 발생 패턴과 주요 영향을 구체적으로 파악함

나. 향후 사업 계획

- 3차 연도 연구에서는 남북 기후변화 및 건강영향 모니터링 기능 강화를 위한 스마트 보건지소 모델을 구체적으로 제시하고자 함
 - 평창군 보건의료원과 협조하여 보건지소의 태양광 발전시설과 연계한 발전량 추정 및 질병 발생과 기상조건의 상관성을 연구
 - 최종적으로 북한에서 적용이 가능한 기후변화 모니터링 시스템 및 재생에너지 기반 보건의료 시스템 구축을 위한 종합적인 매뉴얼을 개발함
 - 해당 매뉴얼은 기후변화 데이터 수집 방법, 재생에너지 활용 방안, 원격 모니터링 시스템 운영 전략 등을 포함하며, 북한의 지역적 특성과 인프라 수준을 고려하여 맞춤형으로 설계될 예정임
 - 또한, 실험 및 분석을 통해 축적된 데이터를 바탕으로 북한 내 보건지소에서의 적용 가능성을 평가하고, 단계별 실행 계획을 수립함
 - 이를 통해, 북한 내 지속 가능한 보건의료 환경 조성을 위한 실질적인 정책 방향을 제시하고, 남북 협력 기반의 기후변화 대응 모델을 완성하는 것을 목표로 함

[참고문헌]

[논문 및 학위논문]

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

명수정. (2017). 「북한의 환경인프라 조성을 위한 환경협력 연구」, 한국환경 정책·평가연구원, p.14.

박종민 외 2. 한편 북한 언론은 지난 20년간 대한민국 대통령과 정부를 어떻게 보았는가?, 2023, p.143.

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.

[보고서 및 도서]

DPRK. (2021). Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda. United Nations.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2020). The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000-2019). Retrieved from <https://www.undrr.org>

WHO. (2019). Global tuberculosis report 2019. Geneva: World Health Organization; 2019

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

[인터넷 문헌, 언론보도]

기상청 기상자료개방포털의 종관기상관측 자료 웹페이
(<https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltnList.do?pgmNo=36>)

기상청. (n.d.). 태양광 발전량 시뮬레이션. 날씨마루.
(<https://bd.kma.go.kr/kma2020/fs/energySelect2.do?menuCd=F050702000>)

김해뉴스. (2019년 4월 22일). 김해시, 친환경 에너지 보급 확대. 김해뉴스.
(<https://www.knnews.co.kr/news/articleView.php?idxno=1293324>)

대한민국 기상청 기상자료개방포털 웹페이지
(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)

서울대학교 관악캠퍼스 보건지료소 웹페이지
(<https://health4u.snu.ac.kr/index.do>)

이두영. (2013년 12월 5일). 안동 청정에너지에 한발짝 다가서다. 영남일보.
(<https://www.yeongnam.com/web/view.php?key=20131205.010100720040001>)

인터넷한국방송. (2021년 6월 15일). 정부, 재생에너지 3020 이행계획 발표.
인터넷한국방송. (<http://www.ikbn.news/news/article.html?no=118380>)

통일부, 북한정보포털, 북한이해
(<https://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/pge/view.do>)

평창군 통계연보 (<https://www.pc.go.kr/portal/part/info-statistics>) 재구성

VOA, “북한, 기후변화에 적극 관심…정상국가 면모 부각, 국제 관여 모색

“. 2021 (Retrieved from <https://www.voakorea.com/a/6288236.html>)