|  |
| --- |
| **1. 주제**  CCTV 영상 분석을 통한 실시간 도시 강수량 측정 및 시각화 시스템  **분반, 팀, 학번, 이름**  1반, 9팀, 20243280, 박정빈 |

|  |  |
| --- | --- |
| **2. 요약**  본 프로젝트는 특정 지점의 강수량만 측정하는 기존 점 단위 강우계의 공간적 한계를 극복하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 도시 전역에 설치된 CCTV 영상을 실시간으로 분석하여, 넓은 강수 현황을 한눈에 파악할 수 있는 면 단위의 강수량 정보를 제공하는 시스템을 설계하고자 한다.  시스템의 핵심은 인공지능의 지도 학습이다. 특정 장소의 CCTV 영상과 동일한 위치에서 강우계로 측정한 실제 강수량 데이터를 한 세트로 묶어 학습 데이터로 구축한다. AI는 이런 수많은 학습 데이터를 통해 영상에 나타나는 빗줄기의 패턴, 명암 대비의 변화, 전반적인 이미지 왜곡 수준, 가시거리 등 복합적인 시각적 특징과 실제 강수량 값 사이의 상관관계를 스스로 학습한다.  본 시스템은 고가의 관측 장비 없이 기존 CCTV 인프라를 활용하므로 비용 효율적이고, 넓은 지역의 강수 분포를 실시간으로 촘촘하게 파악이 가능하다. 이를 통해 최근 빈번해지는 국지성 집중호우나 돌발 홍수와 같은 기상 재해에 더욱 신속하고 정밀하게 대응이 가능해져 도시 재난 관리 효율성을 크게 향상시킬 것으로 기대된다. | **3. 대표 그림**  <그림 1 – 초기화면>    <그림 2 – 지역 선택 시 화면>  개발 배경  - 기후 변화로 인한 국지성 호우 감시에 기존 관측망이 한계를 보임  예상 결과  - 시 전역의 강수량을 실시간 시각화하는 웹 대시보드를 통해 신속한 재난 대응 의사결정을 지원할 수 있다. |

|  |
| --- |
| **4. 서론**  1. 배경 설명 및 사례 분석  최근 우리 사회는 ‘기후 변화’를 넘어 ‘기후위기시대’로 접어들고 있다. 해마다 기후 재해의 규모와 빈도가 증가하고 있으며, 특히 짧은 시간에 많은 양의 비가 내리는 집중호우가 도시 기반시설과 시민 안전을 위협하는 주요 원인으로 떠오르고 있다. 과거에는 여름 장마철에 주로 발생했지만, 최근에는 계절의 구분 없이 전국적으로 나타나고 있다. 예를 들어, 2024년 5월 어린이날에는 경남 남해와 하동 지역에 하루 200mm의 폭우가 쏟아져 인명 피해와 이재민이 발생했다. 기상청과 환경부의 『이상기후 보고서(2023)』에 따르면, 겨울철 1월에도 호우특보가 발효되는 등 강수 시기와 양상이 점차 불규칙해지고 있다.  기상 전문가들은 이러한 현상이 단순한 강수량 증가가 아닌 기후 시스템의 구조적 변화에서 비롯된 것으로 분석한다. 시간당 30mm 이상의 집중호우 빈도는 1980~1990년대보다 20~60% 증가했으며, 폭염, 가뭄, 산불 등 극한기후가 복합적으로 발생하면서 여름철 전체가 장마처럼 이어지는 ‘우기화’ 현상도 뚜렷하다. 서울대 손석우 교수는 “시간당 100mm의 집중호우가 잦아지고, 변동성이 커지며 예측이 어려워지고 있다”고 지적했다. 이처럼 도시 내 국지성 집중호우와 복합 재난의 위험이 커지는 상황에서 기존 예보 체계만으로는 신속한 대응이 어렵다. 이에 따라 도시 단위의 실시간 강수 감시 및 시각화 시스템 구축이 필수적이다. (이세진(2025), LG헬로비전), (김순강(2024), KOFST)  2. 문제 정의  기존의 도시 강수 관측 체계는 기상 레이더와 우량계에 주로 의존하고 있지만, 두 관측 방식 모두 공간적·시간적 해상도와 정확도 측면에서 본질적인 한계를 가진다. 우량계는 지상에서의 점 단위 측정치로 정밀도는 높지만, 국지적 강수의 공간 변동성을 충분히 포착하지 못한다. 반면 레이더는 넓은 범위의 측정이 가능하지만, 강수량을 직접 측정하지 않고 반사도 신호를 통한 간접 추정에 의존하여, 지형 차폐, 클러터, 감쇠, 밝은 띠 등의 오차 요인에 의해 정확도가 떨어진다.  특히 도시 환경에서는 도시 유역의 협소한 면적과 포장 면적의 비율이 높아 빗물이 빠르게 흘러내리는 특성 때문에 1km 이하 1-5분 수준의 초고해상도 강수 정보가 필요하다. 그러나 기존 레이더 자료는 보통 1km-1시간 수준의 관측 해상도만 제공하여, 도시 침수나 돌발 호우 예측에 적합하지 않다. 이를 보완하기 위해 레이더–우량계 데이터를 병합하는 연구가 진행되고 있으나, 충분한 밀도의 우량계 네트워크 구축과 유지보수 비용 부담의 문제가 발생할 수 있다. (Ochoa-Rodríguez et al., 2019), ( Ośródka, K., Szturc, J., & Jurczyk, A. (2021))  또한 집중호우는 발생 예측이 어렵고 지속시간이 짧아, 재난 예·경보 시스템이 작동되더라도 침수 피해가 이미 진행된 뒤 대응이 이루어지는 경우가 많다. 실제로 2022년 강남역 침수, 2023년 오송차도 참사 등은 국지성 폭우가 실시간으로 관측·전파되지 못한 결과로, 시민 대피 및 차량 통제가 제때 이뤄지지 않았다. 이는 단순한 예보의 정확도 문제가 아니라, 실시간 감지·시각화 체계의 부재로 인한 대응 공백임을 알 수 있다.  3. 극복 방안  이러한 한계를 극복하기 위해서는 도시 단위에서 고해상도·저비용의 실시간 강수 감시 체계를 구축할 필요가 있다. 기존의 레이더-우량계 기반 관측망은 하드웨어 확장에 한계가 있으므로, 이미 도시 곳곳에 설치된 CCTV 네트워크를 활용한다. 핵심 기술은 추가적인 인프라 설치 없이 기존 영상 데이터를 활용해 강수의 시각적 특성을 분석 및 추정하는 이미지 기반 딥러닝 기술을 활용하는 것으로, 이는 비용 효율성과 확장성이 높다.  모델 학습을 위해, 과거에 기록된 CCTV 영상 기록과 해당 시각의 강우계 측정 강수량 데이터를 하나의 쌍으로 묶어 훈련 데이터셋을 구축한다. 딥러닝 모델은 이 데이터셋을 통해 강수량에 따른 영상의 빗줄기의 패턴, 밀도, 크기 또는 강수 강도에 따른 시야의 흐림 정도 등 복합적인 시각적 특징과 강수량 값 사이의 상관관계를 스스로 학습한다. 이렇게 학습된 딥러닝 모델은 새로운 영상 데이터가 입력되었을 때 해당 지역의 강수량을 유의미한 정도로 실시간 추정할 수 있으며, 추정된 강수량 정보는 웹 대시보드 형태로 시각화 하여 제공이 가능하다. 나아가, 이러한 시스템은 도시 홍수 경보 · 교통 통제 · 배수 펌프 자동 제어 등 실시간 재난 대응 시스템과 연동되는 방향으로 확장이 가능하다. |

|  |
| --- |
| **5. 본론**  1. 시스템 개요 그림    2. 필요한 기술 요소  1) 인공지능 모델  - 언어/프레임 워크: Python, PyTorch / TensorFlow  - 핵심 라이브러리: OpenCV(영상 처리), Pandas(데이터 처리), Scikit-learn(성능 평가)  - 모델 아키텍처: 이미지 인식에 강점을 가진 CNN을 기반으로 한다.  2) 백엔드  - 언어/프레임 워크: Python, Flask  - 역할: AI 모델의 예측 결과를 받아 처리하고, 프론트엔드로 데이터를 전송한다.  3) 프론트엔드  - 언어/프레임워크: Python, Dash (by Plotly) / Streamlit  - 핵심 라이브러리: Plotly Express(인터랙티브 차트), Dash Leaflet(지도 시각화)  - 역할: 사용자가 접속하여 실시간 강수량 맵과 관련 정보를 확인할 수 있는 파이썬 기반의 웹 대시보드를 개발한다.  3. 구현 방법 및 개발 방향  1단계: 데이터셋 구축 및 AI 모델 개발  - 데이터 수집 및 전처리: 모델 학습을 위한 CCTV 영상과 데이터를 확보한다. OpenCV를 사용하여 영상에서 불필요한 노이즈 제거 후 Pandas를 활용하여 영상과 실제 강수량 값을 매칭시키는 학습용 데이터셋을 구축한다.  - CNN 모델 구현 및 학습: PyTorch 또는 TensorFlow를 사용하여 이미지 인식에 최적화된 CNN 모델 아키텍처를 설계한다. 구축된 데이터셋을 이용하여 모델을 학습시키고, Scikit-learn의 성능 지표를 통해 목표 정확도를 달성할 때까지 모델을 검증하고 튜닝한다.  2단계: 백엔드 서버 개발  - 서버 환경 구축: Flask 프레임워크를 사용하여 서버 환경을 구성한다.  3단계: 프론트엔드 대시보드 개발  - 대시보드 레이아웃 설계: Dash 또는 Streamlit을 사용하여 사용자가 상호작용할 웹 대시보드의 전체적인 구조와 레이아웃을 설계한다.  - 핵심 기능 구현: Dash Leaflet을 이용해 실시간 강수량 분포를 보여주는 지도 기반 인터페이스를 구현하고, Plotly Express를 활용하여 시간대별 강수량 변화 등 다양한 정보를 인터랙티브 차트로 시각화한다.  향후 이 프로젝트는 더 다양한 환경(야간, 악천후 등)의 데이터를 추가로 학습시켜 모델의 예측안정성과 범용성을 향상시키고, 단일 CCTV를 넘어 여러 지역의 다양한 CCTV 영상을 동시에 처리할 수 있는 분산 처리 시스템으로 확장 가능하다. 또한 예측된 강수량 데이터를 외부 재난 경보 시스템과 연동하여 실제 도시 문제 해결에 기여하는 데이터 인프라로 발전시킬 수 있다. |

|  |
| --- |
| **6. 결론**  본 프로젝트 제안서는 기후 변화로 심화되는 국지성 집중호우 문제에 대응하기 위해, 기존 점 단위의 강수량 관측망이 가진 공간적 공백의 한계를 인식했다. 이를 해결하기 위해, 도시 전역의 CCTV 인프라를 활용하는 이미지 기반 딥러닝 모델을 제안했다. 이를 통해 고비용의 추가 장비 없이도 넓은 지역의 강수량을 정밀하게 추정하고, 그 결과를 실시간 웹 대시보드로 시각화하여 도시 재난 관리의 효율성을 높이는 시스템 구축 방안을 제시했다.  향후 본 프로젝트는 제안된 구현 계획에 따라 데이터셋 구축, CNN 모델 개발 및 학습, 그리고 백엔드와 프론트엔드를 포함한 시스템 프로토타입 구현을 순차적으로 진행할 것이다. 프로토타입 개발 완료 후에는 실제 환경에서의 테스트를 통해 모델의 성능과 시스템의 안정성을 검증하고 개선해 나갈 계획이다. 궁극적으로는 모델의 정확도를 지속적으로 고도화하고 다양한 카메라 소스를 통합하여 시스템의 범용성을 확보하며, 외부 재난 대응 시스템과의 연동을 통해 실질적인 도시 안전망의 핵심 기술로 발전시키는 것을 목표로 한다. |

**7. 출처(참고 자료)**

[1] 이세진(2025.08.07), “[헬로이슈토크] 집중호우 더 늘었다…지구의 경고”, LG헬로비전, https://news.lghellovision.net/news/articleView.html?idxno=515214

[2] 김순강(2024.7.23), “기후변화로 늘어난 여름철 자연재해 어떻게 대비할까?”, KOFST, <https://online.kofst.or.kr/news/304747>

[3] Ochoa-Rodriguez, S., Wang, L.-P., Willems, P., & Onof, C. (2019). A review of radar–rain gauge data merging methods and their potential for urban hydrological applications. *Water Resources Research*, *55*(8), 6356-6391. <https://doi.org/10.1029/2018WR023332>

[4] Ośródka, K., Szturc, J., & Jurczyk, A. (2021). Analysis of precipitation totals based on radar and rain gauge data. *Atmosphere*, *12*(7), 831. [https://doi.org/10.3390/atmos12070831](https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.3390/atmos12070831)