



중계소 야외 랙 환경 모니터링 시스템(RMS) 개발기

글. 김연재 한국도로교통공단 tbn교통방송대구본부 방송기술국

개발 배경

방송국 및 다양한 산업 현장에서 원격지에 설치된 방송 중계소 랙(RACK)의 환경을 실시간으로 모니터링하는 것은 시스템 안정성 유지와 장애 예방을 위해 필수적인 요소입니다. 현재 김천중계소는 연주소에서 자동차로 이동하면 1시간가량 소요되며, 차량 접근이 어려워 인력의 직접 등반이 요구됩니다. 이러한 지리적 특성으로 인해 주기적인 점검이 어려워, 이상 징후 발생 시 즉각적인 대응이 제한되는 문제가 존재합니다.

장비의 정상 동작을 보장하기 위해서는 온도, 습도, 유해가스 농도, CPU 상태, 신호 강도 등의 환경 요소를 실시간으로 모니터링할 필요가 있습니다. 온습도 변동에 따른 냉각 효율 저하, 유해가스 유출로 인한 전자 장비 부식, 전계 강도 감소에 따른 신호 품질 저하 등의 요인이 시스템의 신뢰성을 저하시킬 가능성이 존재합니다. 이에 따라, 다중 센서를 활용한 실시간 데이터 수집 및 분석, 임계값 초과 시 즉각적인 경고 시스템을 갖춘 환경 모니터링 솔루션을 개발하였습니다. 또한, 기존 모니터링 시스템의 단점을 보완하기 위해 원격지에서도 실시간 데이터를 확인하고 빠르게 조치할 수 있는 인터페이스를 구축하는 데 중점을 두었습니다.

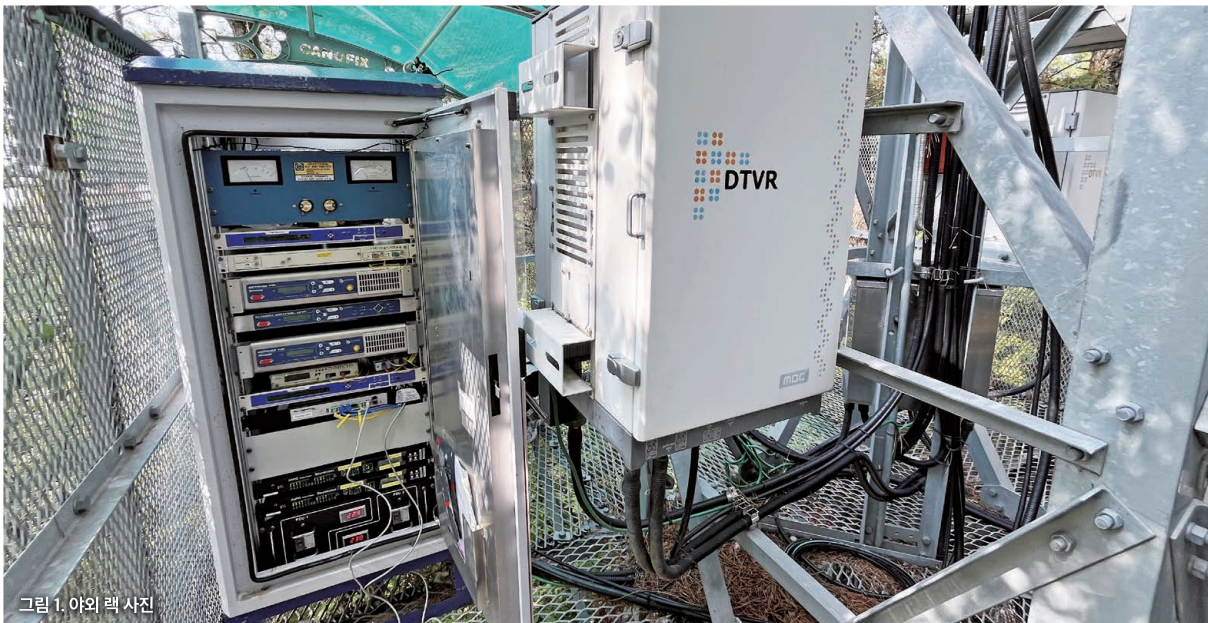


그림 1. 야외 랙 사진

시스템 설계

본 시스템은 방송 중계소 내부 환경을 실시간으로 모니터링하여 이상 징후를 조기에 감지하고, 연주소에서 운영자가 원격으로 즉각 확인할 수 있도록 설계되었습니다. 이를 위해 기온, 습도, 유해가스 농도, 전계 강도, CPU 온도 및 부하 상태 데이터를 취합하여 최적의 운영 환경을 유지하고, 수집된 데이터를 UI 화면에 실시간으로 표출하도록 하였습니다. 특정 임계값을 초과하면 시각적 경고 메시지와 함께 청각적 알람이 발생하도록 설계되었으며, 오디오 신호는 오디오 코덱 입력을 통해 연주소에서 직접 수신할 수 있도록 구성하였습니다. 또한, RTL-SDR을 활용하여 라디오 신호를 수신함으로써 방송 소리를 모니터링하고, 이상 상황 발생 시 특정 알람음을 송출하도록 하였습니다. 이를 통해 운영자는 중계소 환경 변화를 직관적으로 파악하고 신속하게 대응할 수 있으며, 장기적인 데이터 분석이 가능하도록 로그 저장 기능을 추가하여 장비 유지보수 및 문제 해결을 체계적으로 수행할 수 있도록 하였습니다.

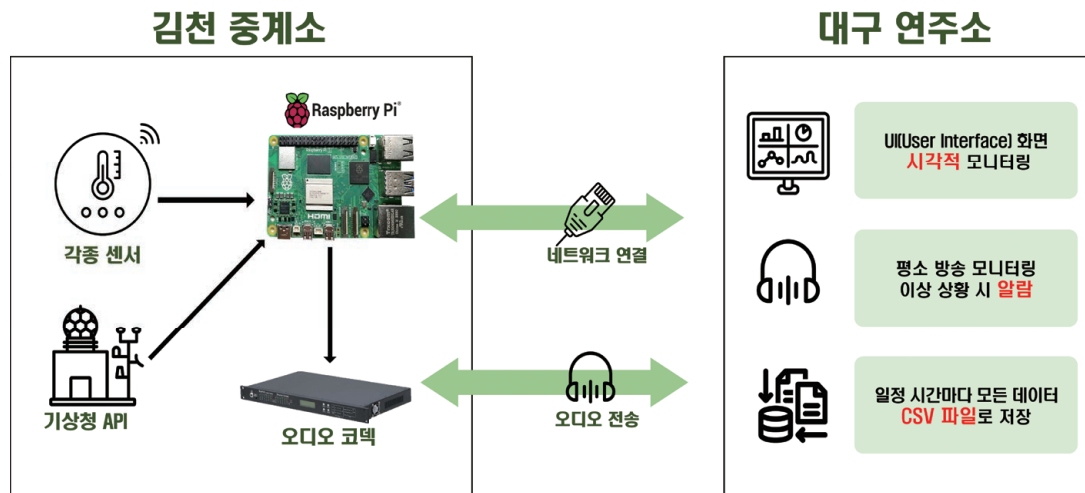


그림 2. 시스템 구성도

하드웨어

본 시스템의 하드웨어 구성은 신뢰성과 실시간 모니터링을 고려하여 선정되었습니다. 각 장치는 데이터 정확성, 네트워크 연결성, 원격 제어 기능을 강화하는 데 중점을 두고 선택되었으며, 실내외 환경 변화에 대응할 수 있도록 설계되었습니다.

메인보드 : Raspberry Pi 4B

메인 프로세스는 강력한 연산 성능과 저전력 운영이 가능하며, 다양한 GPIO 핀을 통해 다수의 센서를 연결하는 확장성이 뛰어납니다. 또한, 2.4/5GHz 듀얼밴드 Wi-Fi 및 유선 LAN 지원으로 네트워크 환경이 열악한 중계소에서도 안정적으로 데이터를 전송할 수 있습니다. Python 등 프로그래밍 언어를 활용할 수 있어 소프트웨어 개발 및 유지보수에도 용이합니다.

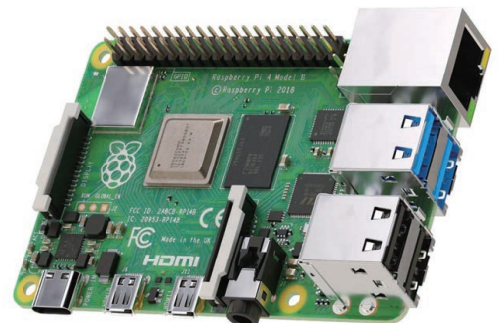


그림 3. 메인보드

온습도 센서 : DHT22

온습도 측정을 위한 DHT22 센서는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 온도 정밀도와 $\pm 2\%$ RH 습도 정확도를 제공하며, 디지털 신호 출력 방식을 채택하여 전자기 간섭(EMI) 영향을 최소화합니다. 이 센서는 기상청 API와 연동하여 실내외 환경을 비교 분석하는 데 활용되며, 중계소 내부 공조 시스템 제어 및 작동 여부를 결정하는 데 중요한 역할을 합니다. 또한, 장시간 연속 운영이 가능하여 유지보수의 부담을 줄일 수 있습니다.

유해가스 센서 : MQ2

CO(일산화탄소), H₂(수소) 등 유해가스를 감지할 수 있으며, 아날로그 및 디지털 출력을 모두 지원하여 실시간 데이터 수집과 임계값 초과 시 즉각적인 경보 기능을 구현할 수 있습니다. 특히, 중계소 내부의 배터리실이나 밀폐 공간에서 가스 누출 여부를 감지하고, 이상 징후 발생 시 경고 신호를 제공하여 장비 손상 및 안전사고를 예방할 수 있도록 설계되었습니다. 아래 사진은 순서대로 UPS 업체에 방문하여 연축전지 과충전, 방전 과정을 임의로 발생시켜 장비 검증을 하는 사진과 기성 일산화탄소 측정기를 구매하여 자체 제작한 시스템과 비교하는 사진입니다.



그림 4. 수소가스 검증

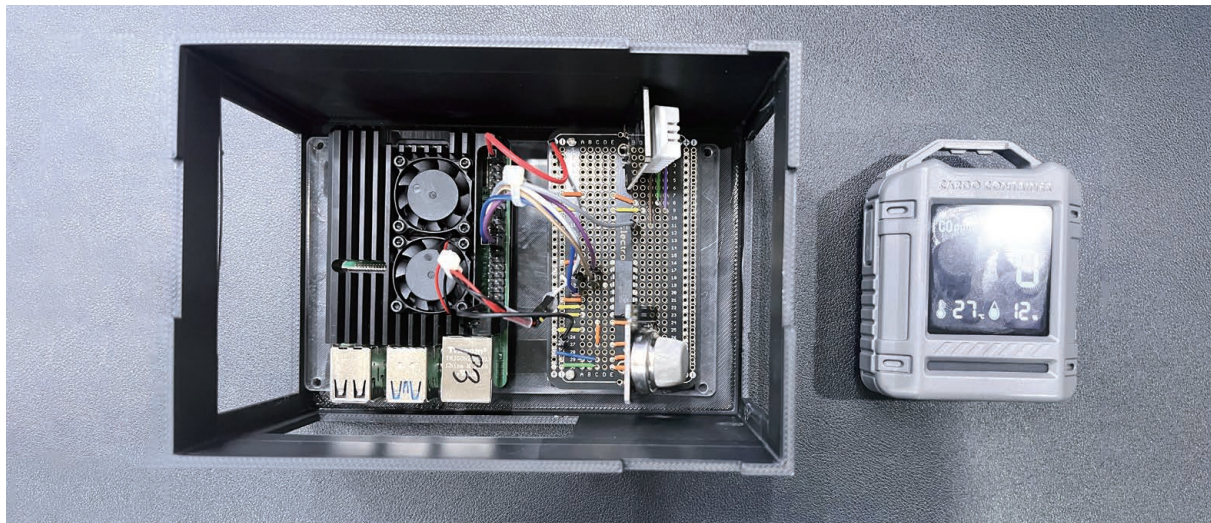


그림 5. 일산화탄소 측정기 검증

전계 강도 : RTL-SDR

신호 감지 모듈로 RTL-SDR(Software Defined Radio)을 활용하여 방송 송출 품질을 실시간으로 모니터링하고 신호 강도를 정밀하게 측정합니다. RTL-SDR 모듈은 25MHz에서 1.75GHz에 이르는 넓은 주파수 대역을 지원하며, 이를 통해 다양한 방송 신호를 수신할 수 있습니다. 수신된 신호는 I/Q 샘플(In-phase/Quadrature samples) 형태로 제공되며, 이는 신호의 진폭과 위상을 나타내는 복소수 형태로 표현됩니다. 이 데이터를 분석하여 신호 강도를 추정할 수 있습니다. 전계 강도는 I/Q 샘플에서 복소수의 절댓값을 구하고, 이를 평균하여 해당 시간대의 신호 세기를 측정합니다. 이 방식은 신호의 강도를 정확하게 계산할 수 있으며, 실시간으로 송출 신호의 품질을 모니터링하는 데 유용합니다. 신호 강도가 특정 임계값 이하로 떨어질 경우, 신호 품질 저하가 발생했다고 판단할 수 있으며, 이를 통해 방송 품질을 지속해서 평가할 수 있습니다.

시스템은 또한 실시간으로 송출 중계기의 전계 강도를 모니터링하며, 만약 전계 강도가 임계값 이하로 감소하면 즉시 경고 알림을 발생시켜 운영자가 신속하게 대응할 수 있도록 합니다. 이 기능은 송출 품질의 저하를 방지하고, 방송 송출 중에 발생할 수 있는 문제를 조기에 감지하여 빠르게 해결할 수 있는 중요한 역할을 합니다.

전원 관리 시스템 : 스마트 플러그

전원 관리를 위해 스마트 플러그 시스템을 적용하여 원격지에서도 장비의 전원을 효율적으로 제어할 수 있도록 하였습니다. 시스템의 CPU 온도가 일정 임계값을 초과하면 자동으로 전원을 차단하고, 냉각 후 다시 복구하여 발열 문제를 효과적으로 해결하도록 설계되었습니다. 이를 통해 장비 과부하를 방지하고 안정적인 장기 운영을 보장하며, 연주소에서 원격으로 장비를 재부팅하거나 전원 공급을 제어할 수 있는 기능을 제공합니다.

장비 케이스 : 3D 프린트

장비를 보호하고 효율적인 환기를 위해 3D 프린터를 활용해 맞춤형 케이스를 제작했습니다. 이를 통해 내부 공기 흐름을 최적화하여 발열 문제를 최소화하고, 외부 환경으로부터 장비를 효과적으로 보호할 수 있었습니다. 또한, 조립식으로 제작하여 추후 유지보수가 용이하도록 설계하였습니다.



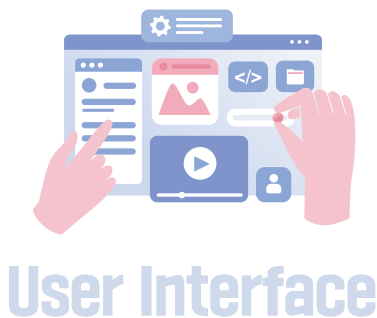
그림 6. 케이스 내부



그림 7. 케이스 외부

사용자 인터페이스

본 시스템의 UI는 직관적인 데이터 확인과 빠른 조치를 가능하게 하기 위해 대시보드 형태로 구성되었습니다. 주요 데이터는 시각적으로 분석하기 용이하도록 구성되었으며, 사용자 경험(UX)을 고려하여 데이터를 쉽게 파악할 수 있도록 설계되었습니다.



User Interface

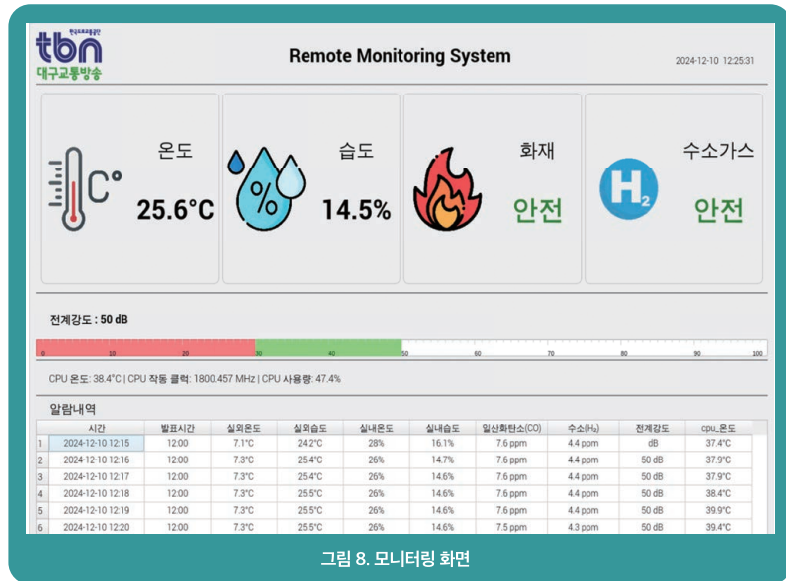


그림 8. 모니터링 화면

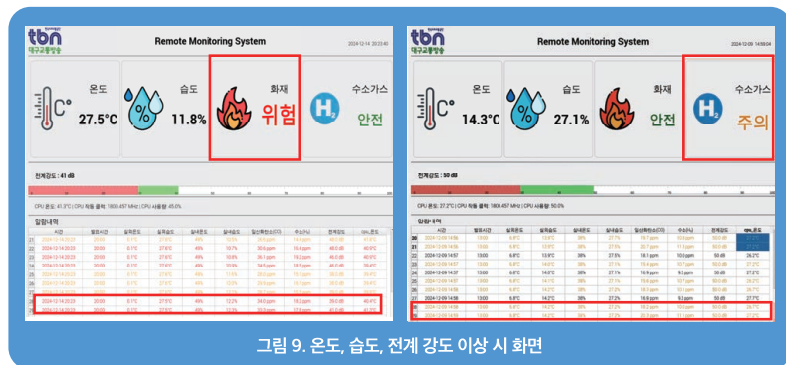


그림 9. 온도, 습도, 전계 강도 이상 시 화면

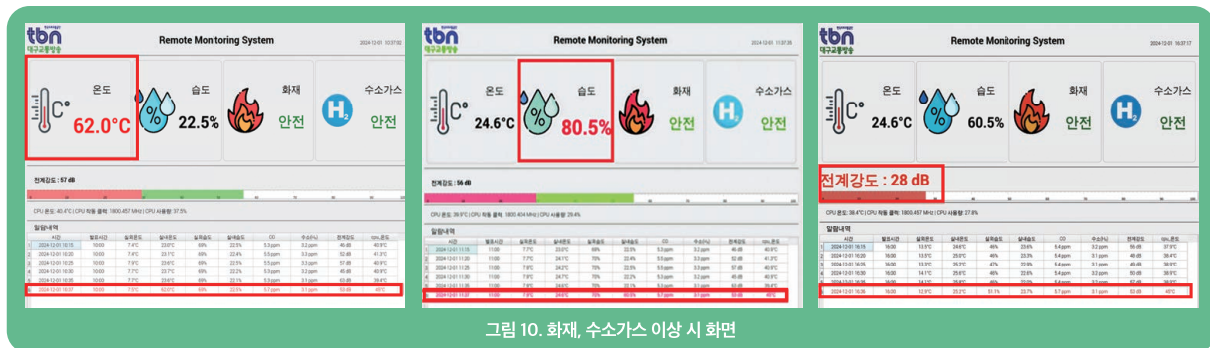


그림 10. 화재, 수소가스 이상 시 화면

▶▶ 각종 센서 부분

온도, 습도의 데이터를 실시간으로 확인하며, 설정한 임계값 초과 시 경고 알림이 활성화됩니다. 화재 부분은 안전, 주의, 위험 세 단계로 단계를 설정하여 주의 단계에서는 설정한 일산화탄소 농도 수치 이상일 때 나타나며 위험 단계는 임계치 이상의 일산화탄소 농도와 연기 두 가지 모두 측정되었을 때 발생하게 하였습니다. 수소가스 부분은 화재 부분과 동일하게 세 단계로 나누고 각 단계는 수소가스 농도로 임계치를 구분하여 설계하였습니다.

▶▶ 전계 강도 및 신호 품질 분석

실시간으로 송출 신호의 변화를 모니터링하고, 설정한 신호 강도보다 저하될 경우 경보가 발생합니다.

▶▶ 메인보드 상황

장비의 CPU 온도 및 전력 상태를 실시간으로 파악하여 과부하시 스마트 플러그를 활용하여 전원을 차단 또는 재부팅합니다.

▶▶ 로그 데이터 조회

설정된 시간마다 모든 기록을 리스트박스과 CSV 파일로 저장하도록 하여 환경 데이터 변화 및 분석이 가능하고 오류 발생 시점을 정확히 추적하여 원인 파악이 용이합니다.

모든 센서의 알림은 공통으로 텍스트 색상변화와 크기 변화를 통해 시각적 알림을 제공하고 알람 오디오 신호를 발생하여 청각적 알림을 제공합니다.

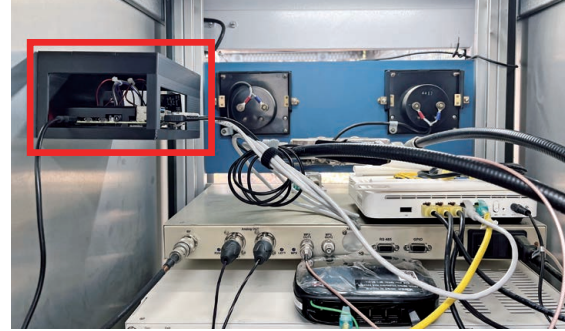


그림 11. 설치 사진

향후 계획

본 시스템은 방송 중계소뿐만 아니라 데이터 센터, 산업 설비, 연구소 등 다양한 원격지 시설에서 적용 가능성이 높습니다. 향후에는 센서 확장성을 활용하여 미세먼지 센서, 소음 감지 센서, 이산화탄소 센서 등을 추가하여 더욱 정밀한 환경 모니터링이 가능하도록 개선할 계획입니다. 또한, 머신러닝 기반의 패턴 분석을 도입하여 데이터 변화를 예측하고 이상 징후를 사전에 감지할 수 있도록 시스템을 고도화할 예정입니다.

데이터 분석 부분에서는 클라우드 연동을 통해 다중 중계소 데이터를 통합적으로 분석하고, 운영 최적화를 지원하는 기능을 추가할 계획입니다. 이를 통해 실시간 데이터뿐만 아니라 장기적인 운영 데이터를 축적하고 패턴을 분석하여 자동화된 운영 관리가 가능하도록 발전시킬 것입니다.

또한, 모바일 애플리케이션과의 연동을 통해 연주소 및 기술 담당자가 이동 중에도 실시간 모니터링이 가능하도록 기능을 확장할 예정입니다. 이를 통해 더욱 신속한 대응이 가능해지고, 장비의 유지보수 효율성을 극대화할 수 있을 것입니다.

결론

본 시스템은 방송국 및 원격지 장비 관리에서 실시간 환경 모니터링을 가능하게 하여 장비의 안정성을 향상하고, 장애 발생 가능성을 최소화하는 데 기여할 것입니다. 또한, 지속적인 데이터 분석과 개선을 통해 더욱 정교한 환경 감지 및 예측 시스템으로 발전시킬 계획입니다. 향후에는 방송기술과 인공지능 기반의 분석 기술을 결합하여, 보다 스마트한 방송 중계소 관리 솔루션으로 자리매김할 것입니다. 이를 통해 방송 산업에서 더욱 효과적이고 안정적인 운영을 가능하게 하며, 장비 유지보수 비용 절감과 효율적인 자원 운용에도 기여할 것으로 기대됩니다.

마지막으로 이 시스템의 개발과 실험을 진행하는 과정에서 많은 도움을 주신 tbn대구교통방송국 동료 여러분께 깊은 감사를 드립니다. 현장의 피드백을 반영하여 더욱 실용적인 솔루션을 개발할 수 있었으며, 이를 통해 방송기술의 발전에 기여할 수 있었다고 생각합니다. 🙏