

3차원 교량 거동 측정 기술 특허

대한민국 상이군경회 안전진단팀: 차장 나상우, 사원 박상현

요약

본 논문에서는 아두이노와 모듈을 사용하여, 교량의 교축, 교직, 상하 방향의 거동을 측정하는 방법을 제시하였다. 초음파 센서 모듈로 읽어들인 측정값을 메인 서버로 송신하기 위해 블루투스 모듈과 모바일 어플리케이션이 사용되었고 수 개월간의 측정 데이터를 장치에 저장하기 위해 Micro SD card 모듈을 사용하였다. 이 구조를 사용할 경우 기존에 사고 위험이 존재하던 안전 문제를 해결할 수 있고, 실시간으로 교량의 상태를 측정할 수 있어 구조물의 안전 진단 또한 용이하게 수행할 수 있다.

Keywords: 안전 진단, 교량, Arduino, Main Server, Bluetooth Application

I. 서 론

최근, 사람이 직접 현장에 가지 않고도 교량의 정밀 안전 진단 및 성능 평가를 수행할 수 있는 다양한 기술 장비들이 개발되고 있다. 이러한 기술 장비들은 기존의 육안 검사보다 정밀한 관측이 가능하도록 설계되었으며, 이를 통해 안전성을 항상시키는 데 기여하고 있다.

교량 구조물은 교량 형식 및 온도 변화에 따라 지속적으로 신축과 수축을 반복하며, 이에 대응하기 위해 도로 상부에는 신축이음이, 하부에는 교량받침이 설치된다. 그러나 이러한 거동량이 정확하게 계산되지 않을 경우, 구조물의 손상 및 안전 문제로 이어질 수 있다. 본 논문에서는 인력을 투입하지 않고도 교량의 거동량을 정밀하게 측정할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해 온습도 센서와 3개의 초음파 센서를 활용하여 측정 기준판을 기준으로 교축, 교직, 상하 방향의 3차원 이동 변위를 측정하고, 측정 당시의 온도 데이터를 함께 저장하는 시스템을 개발하였다.

구체적으로, 교량의 상부 구조물(거더)에 측정 장비를 설치하고, 하부 구조물(교대, 교각)에는 측정 기준판을 부착하여, 초음파 센서를 이용해 상부 구조물의 이동에 따른 변위를 정밀하게 측정한다. 변위량 및 온도 데이터는 일정 주기(1시간 단위)로 SD 카드에 저장되며, 사용자는 일정 시간이 지난 후 블루투스를 통해 SD 카드에 접근하여 데이터를 확인하고, 이를 인터넷 메인 데이터 서버로 전송할 수 있도록 설계하였다.

본 논문에서 제안하는 방법은 기존의 아날로그 측정 방식과 비교하여 보다 효율적이며, 정확한 데이터를 제공할 수

있다. 이를 통해 교량의 구조적 안정성을 보다 체계적으로 분석하고, 유지보수의 효율성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.



그림 1. 교량 3차원 거동 측정 장치 및 측정기준판

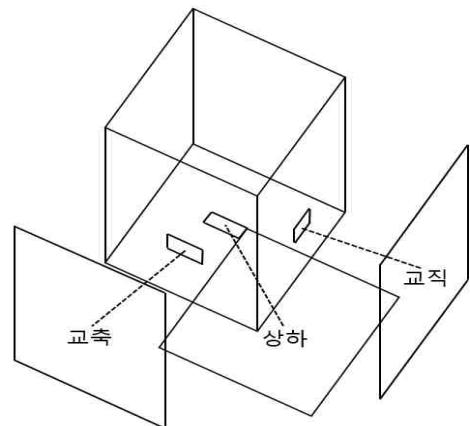


그림 2. 변위 측정 모델링

II. 본 론

1. 초음파 거리 센서 모듈(Ultrasonic Sensor)

초음파 거리 센서 모듈은 초음파 발생기와 수신기가 모듈 형태로 통합된 센서이다. 이러한 모듈은 보다 편리하고 쉽게 사용할 수 있으며, 많은 개발자들이 거리 측정과 장애물 감지를 위해 이 모듈을 선택한다. 본 논문에서는 아두이노를 메인 보드로 사용하여 그림 2와 같은 'HC-SR04'라는 모듈을 선택하여 사용하였다.

감지 방식은 정전식 방식으로 초음파 발생기와 수신기 사이가 전기적으로 연결되어 있다. 발생기에서 생성된 초음파가 수신기로 전달되어 반사되는 파동을 감지 한다. 감지된 신호는 전기 신호로 변환되어 거리 측정이 이루어진다. 공기 매질에서의 초음파 전파 속도는 약 343m/s로 이 속도를 알면 센서는 시간과 거리 간의 관계를 계산하여 정확한 거리를 측정할 수 있다.

그림 3 참조.

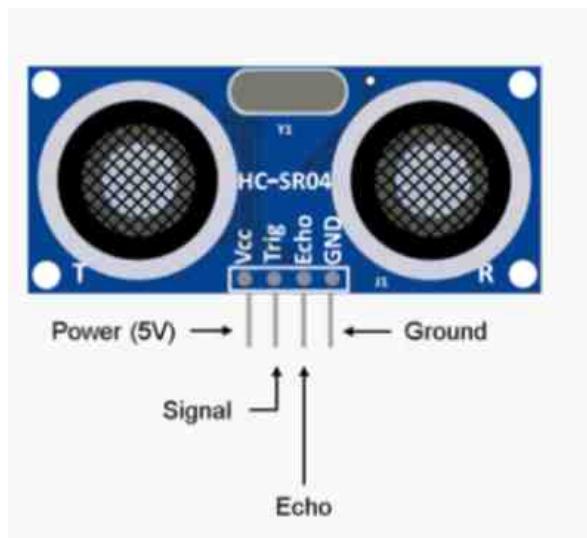


그림 2. HC-SR04

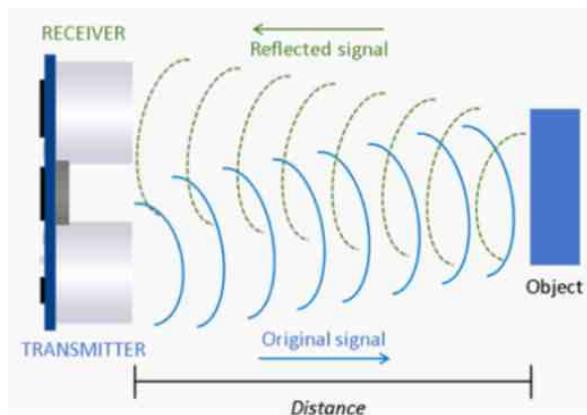


그림 3. 초음파 센서 거리 측정 원리

일반적으로 초음파 센서의 주파수 대역은 20kHz에서 200kHz 사이에 위치하며, 이는 인간의 청각 범위인 20Hz에서 20kHz의 주파수 범위를 초과한다. 초음파 센서는 인간이 감지하기 어려운 초음파 주파수를 사용하여 작동하며, 이는 교량 환경에서 다른 소리로부터의 간섭을 최소화할 수 있다.

2. Arduino와 모듈의 결합 및 배선도

초음파 모듈 이외에 사용되는 모듈로 블루투스 모듈(HC-06), SD카드 소켓 모듈(SZH-EKBZ-005), RTC(Real Time Clock)모듈(DS-1302), 온습도 센서 모듈(DHT-11 4핀 헤더)이 있다. 초음파 센서로 측정된 면위 데이터는 온습도 센서로 측정한 해당 시각의 온도와 함께 1시간 단위로 SD카드에 저장된다. 사용자가 장치 근처에 접근하여 블루투스 연결을 완료하면, 전용 어플리케이션을 사용해 구글 메인 서버로 기록된 데이터를 송신할 수 있다. 측정 장치의 설치 편의성을 위해 부피를 최소화할 수 있게 설계되었고, 이에 따라 아두이노 메인 보드 위에 프로토실드 DIY 확장보드가 사용되었다.

확장보드 위에 납땜을 통해 점퍼 케이블 배선 또한 간략화 시킬 수 있으며 장치보관 케이스는 장치가 움직이지 않고 고정될 수 있는 최소 사이즈로 13x13x13(cm) 정육면체 형태로 맞춤 제작되었다. 각 모듈별 Arduino pin number 매칭은 표 1에 기술되어 있다.

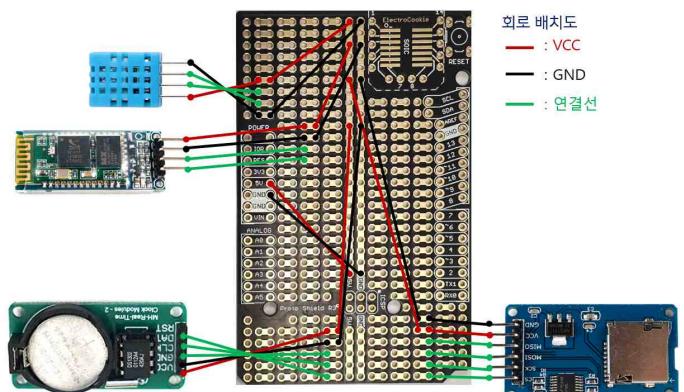


그림 4. DIY 확장보드 회로 배선도

표 1. Module Pin number matching Table

| | HC-SR04 | SD card | DS-1302 | HC-06 | DHT-11 |
|----------------|----------|---------|---------|-------|--------|
| Trig | A0/A2/A4 | - | - | - | - |
| Echo | A1/A3/A5 | - | - | - | - |
| CS | - | D4 | - | - | - |
| SCK | - | D13 | - | - | - |
| MOSI | - | D11 | - | - | - |
| MISO | - | D12 | - | - | - |
| CLK | - | - | D6 | - | - |
| DAT | - | - | D5 | - | - |
| RST | - | - | D3 | - | - |
| TX | - | - | - | D7 | - |
| RX | - | - | - | D8 | - |
| A0 (DHT-11) | - | - | - | - | D2 |

3. 데이터 제어 시스템 코드

RTC(Real Time Clock)모듈은 기본적으로 현재 시각의 시, 분, 초를 읽을 수 있고 해당 데이터를 아두이노 메인 보드에 변수로 할당시킬 수 있다. 조건문을 사용해 현재 시각의 분과 초가 모두 0일 때만 데이터를 기록하라는 명령을 내리면 매 1시간마다 데이터를 기록할 수 있다.

```
void loop() {
    // Get the current date and time
    RtcDateTime now = Rtc.GetDateTime();
    uint16_t year = now.Year();
    uint8_t month = now.Month();
    uint8_t day = now.Day();
    uint8_t hour = now.Hour();
    uint8_t minute = now.Minute();
    uint8_t second = now.Second();

    // Record data every hour
    if (minute == 0 && second == 0) {
```

Code 1. 데이터 기록 시간 제어

SD card에는 데이터 측정 년도/월/일/시간/분/교량위치/온도/교축/교직/상하 등이 기록되고(code 2) 해당 데이터들은 매 시간 한 줄 단위로 txt파일 형태로 저장된다. 데이터를 문자열(90% 숫자)로 저장할 경우 요구되는 저장 용량이 적고 블루투스 통신을 사용해 데이터를 송신할 때도 값을 읽어들이기 용이하다는 장점이 있다. 하루 24시간, 한 달 30일의 데이터를 문자열로 저장할 경우 약 40KB의 용량이 요구되며 이는 연간 480KB 수치로 저용량의 SD card를 사용해도 전혀 부담없는 수치다.

```
File dataFile = SD.open("RV1.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
    dataFile.print(year);
    dataFile.print("/");
    dataFile.print(month);
    dataFile.print("/");
    dataFile.print(day);
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(hour);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(minute);
    dataFile.print(",");
    dataFile.print("Bridge A");
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(t);
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(distance1);
    dataFile.print("mm,");
    dataFile.print(distance2);
    dataFile.print("mm,");
    dataFile.print(distance3);
    dataFile.print("mm");
    dataFile.print("\n");
    dataFile.close();
    Serial.println("Data saved to SD card.");
}
```

Code 2. 데이터 기록

기록된 데이터는 블루투스 모듈(HC-06)을 사용해 외부에서 데이터 읽기 명령이 하달되면 조건에 맞게 해당 데이터가 구글 스프레드 시트로 송신된다.

그림4, 5와 같이 만약 사용자가 2025년도 데이터를 읽기 위해 어플리케이션에서 25년도를 선택하고 데이터 읽기 버튼을 클릭한 경우, 모바일에서 블루투스 모듈로 '2025'라는 문자열을 송신한다. 아두이노에선 수신된 블루투스 문자열 값이 '2025'인 경우 txt파일에 기록된 값들 중 25년도 기록들만 필터링해 0.2초 간격으로 모바일로 데이터를 송신한다. 그림6과 같이 모바일에서 어떤 블루투스 데이터를 수신한 경우 데이터를 ','단위로 구분되어 지정된 구글 스프레드 시트 주소로 다시 데이터를 송신한다. 해당 과정은 한 달치의 데이터를 수집하는 데 약 2분 30초 정도 소요되며, 일 년치의 데이터 수집에는 약 30분 정도가 소요된다. 데이터 수집이 끝나면 스프레드 시트 끝 줄에 '-----'를 표기하는 코드를 추가해 데이터가 안전하게 수집되었음을 알 수 있고 사용자 편의를 위해 어플리케이션에는 리셋 기능이 버튼 형태로 구현되어 있다.

그림 4. Data Sorting Block Code

그림 6. Data Transmission Sorting Block code



그림 5. 날짜 선택 창

4. 교량 거동 실제 측정 장치

그림 7, 8 참조

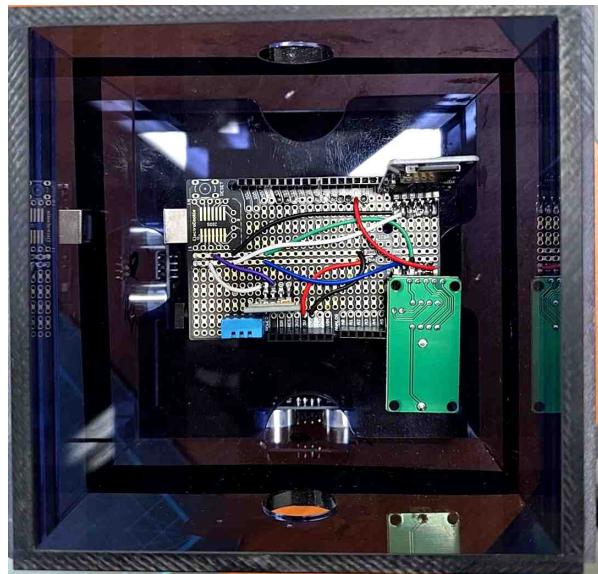


그림 7. 측정 장치 상면



그림 8. 측정 장치 측면

IV. 결 론

본 논문에서는 교량 구조물의 3차원 거동량을 보다 정밀하게 측정할 수 있는 시스템을 제안하고, 이를 구현하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어 설계를 수행하였다. 기존의 육안 검사 및 아날로그 방식의 측정 기법과 비교하여, 본 연구에서 개발한 초음파 센서 기반의 변위 측정 시스템은 자동화된 데이터 수집과 고정밀 측정을 가능하게 하며, 온습도 데이터를 동시에 저장하여 환경 변화에 따른 교량의 거동을 보다 정밀하게 분석할 수 있도록 설계되었다.

특히, 아두이노 기반의 시스템을 활용함으로써 제작 비용을 절감하면서도 실시간 데이터 수집 및 저장이 가능하도록 구현하였다. 블루투스 모듈을 통한 무선 데이터 송신 기능을 추가하여 유지보수 인력의 접근성을 높였으며, 데이터를 구글 스프레드 시트로 자동 전송하는 기능을 통해 실시간으로 데이터를 관리하고 분석할 수 있도록 하였다. 이러한 접근 방식은 교량의 유지보수 업무를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 돋고, 장기적으로 교량의 안전성을 향상시키는 데 기여할 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 보다 다양한 환경 조건에서의 실증 실험을 통해 본 시스템의 정확도를 검증하고, 인공지능(AI) 및 빅데이터 분석 기법을 접목하여 교량 거동 예측 및 이상 감지 시스템을 개발하는 방향으로 확장할 수 있을 것이다. 또한, 저전력 설계 및 태양광 충전 기능을 추가하여 장기간 유지보수가 필요 없는 독립형 계측 장비로 발전시킬 수 있는 가능성도 존재한다.

결론적으로, 본 논문에서 제안한 측정 시스템은 기존 교량 거동 모니터링 기법의 한계를 극복할 수 있는 새로운 접근 방식을 제시하며, 이를 통해 교량의 유지보수 효율성을 증대시키고, 안전성을 보다 체계적으로 관리할 수 있도록 하는 데 기여할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2023년 대한민국 상이군경회 안전진단 관련 특허 개발 연구 과제의 성과 중 일부로서 연구 및 현장 검증을 지원해주신 상이군경회 시설사업소 안전진단팀에게 감사드립니다.