

## 오픈소스 컨트롤러를 사용한 층간 소음 방지 시스템

김태훈 · 장혁재 · 이원영\*

## An Inter-floor Noise Prevention System using an Open-source Controller

Tae-Hoon Kim · Hyuk-Jae Jang · Won-Young Lee\*

## 요약

본 논문은 다세대 공동 주택에서 윗층과 아래층 간에 발생하는 층간 소음을 줄일 수 있도록 도와주는 층간 소음 방지 시스템을 제안하고 있다. 제안하는 시스템에서는 오픈소스 컨트롤러 중 하나인 아두이노 보드에 소리 감지 센서와 진동 감지 센서를 연결하여 층간 소음으로 판단하는 소리와 진동을 입력 받고 이를 고속 푸리에 변환을 이용하여 주파수 대역에서의 신호 분석을 수행한다. 특정 주파수 대역의 신호 크기가 구조물의 투과 손실을 고려한 기준을 넘을 때에는 LCD화면에 경고 메시지를 보내고 휴대폰으로 이메일 또는 메시지를 전송하도록 하였다. 이를 통해 시스템은 사용자가 소음 발생 상황을 인지하여 스스로 주의할 수 있도록 돕는다. 시스템 검증을 위한 실험에서 제안하는 시스템은 외부 입력 신호에서 130 Hz~1040 Hz의 대역 성분 추출을 수행하였으며, 추출된 신호의 크기와 투과 손실의 차이 값이 45 dB를 초과할 경우 기기의 연결된 디스플레이와 Wi-Fi로 연결된 모바일 기기에 현재 소음이 발생하고 있음을 공지하는 동작을 수행하였다.

## ABSTRACT

This paper proposes an inter-floor noise prevention system using an open-source controller. In the proposed system, Arduino which is a widely used open source controller analyzes sound signals and vibration signals with fast fourier transform. When the magnitude of the band-passed signal exceeds the noise reference considering transmission loss of a panel or a wall, the system displays warning messages on an LCD module and a mobile device for users to be aware of the noise condition. In the experiment, the system has succeeded extracting and processing the band-passed signals between 130 Hz ~ 1040 Hz. When the magnitude of the extracted signal that is subtracted from the transmission loss exceeds 45 dB, the system has displayed the warning message on an LCD module and a mobile device for noise reduction.

## 키워드

Inter-Floor Noise Prevention System, Open Source Controller, Arduino, Fast Fourier Transform  
소음 방지 시스템, 오픈 소스 컨트롤러, 아두이노, 고속 푸리에 변환

\* 교신저자 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 • Received : Aug 09, 2017, Revised : Sep 13, 2017, Accepted : Oct 18, 2017  
• 접수일 : 2017. 08. 09 • Corresponding Author : Won-Young Lee  
• 수정완료일 : 2017. 09. 13 Dept. Electronic and IT Media Engineering, Seoul National University of  
• 게재확정일 : 2017. 10. 18 Science and Technology,  
Email : wylee@seoultech.ac.kr

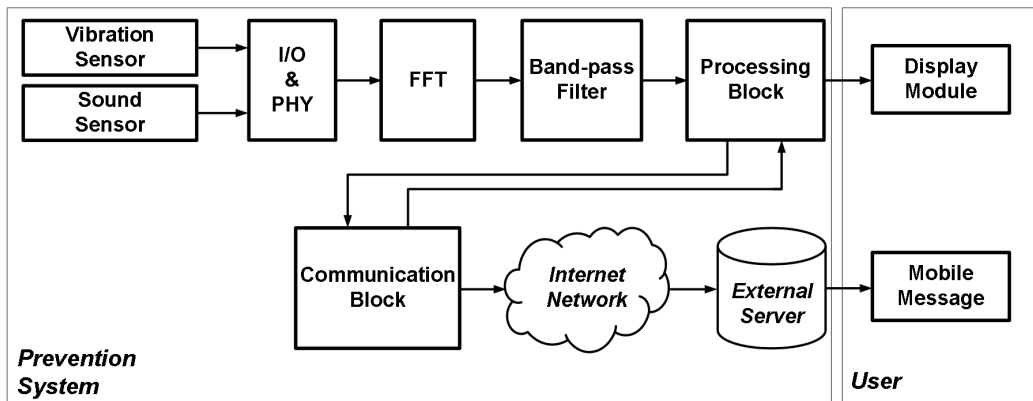


그림 1. 층간 소음 방지 시스템의 전체 구조  
 Fig. 1 Block diagram of the inter-floor noise prevention system

I. 서론

층간 소음이란 다세대 주택, 아파트 등 공동주택에서 발자국 소리, 망치질 소리와 같은 생활 소리로 인해 발생한 소음을 칭하는 말이다. 2012년 8,795건이던 층간 소음민원건수는 2013년 18,524건으로 증가한 이후, 매년 약 2만 여건의 층간 소음민원이 접수되고 있으며, 살인사건 및 방화와 같은 다양한 층간 소음관련 분쟁사례들이 발생하고 있다. 즉, 층간 소음으로 인해 많은 사람들이 스트레스를 겪고 있으며, 그로인한 다양한 사건들이 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 층간 소음문제는 더 이상 단순한 개인 간의 문제가 아니라 사회적으로 큰 이슈라고 말할 수 있다. 층간 소음 문제 해결을 위해 제도적인 측면 뿐 만 아니라 시스템도입이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 오픈소스 컨트롤러 중 하나인 아두이노 보드를 활용한 층간 소음 방지 시스템을 제안하고 있다. 다음 장에서는 시스템의 구조와 동작 알고리즘에 대해서 설명한다. 제 3장에서는 시스템의 구현 및 동작 검증에 대해서 논의하고 제 4장에서 본 연구에 대한 결론을 정리한다.

II. 본론

2.1 시스템의 구조

그림 1은 층간 소음 방지 시스템의 전체적인 구조를 보여주고 있다. 층간 소음 방지 시스템은 소음, 진동을 발생시키는 층에 설치되어 노이즈 발생 시 이를 사용자에게 경고함으로써 소음, 진동 원인을 스스로 억제할 수 있도록 하는 방식을 사용한다. 신호처리를 위한 프로세싱 모듈 역할은 오픈소스 컨트롤러가 맡게 되며, 본 시스템에서는 AVR 마이크로 컨트롤러 기반의 아두이노(arduino)를 사용하였다[1-4]. 아두이노에는 소리 형태의 노이즈를 감지하기 위한 소리 센서 역할을 하는 마이크와 바닥으로 전달되는 진동 형태의 노이즈를 감지하기 위한 진동 센서가 연결된다. 노이즈 발생 시, 아두이노는 진동센서와 소음센서로 입력 받은 데이터를 주파수 영역 분석이 가능하도록 고속 푸리에 변환(fast fourier transform)을 수행하게 된다. 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환된 노이즈 데이터는 바닥이나 벽의 투과 손실을 고려하기 위해 필터링 과정을 거치게 된다. 필터링된 데이터는 프로세싱 블록으로 전달되어 일반적인 벽 또는 바닥재의 투과 손실 값을 고려한 연산 과정을 거치게 된다. 연산의 결과가 층간 소음 법적 기준치를 초과했을 경우 LCD를 통해 메시지를 나타내고, Wi-Fi shield를 통해 외부 서버로 상황 데이터를 전송함으로써 서버가 메

시지를 사용자에게 전달하게 된다. 이를 통해 사용자가 소음 발생 상황을 인지할 수 있도록 돕는다.

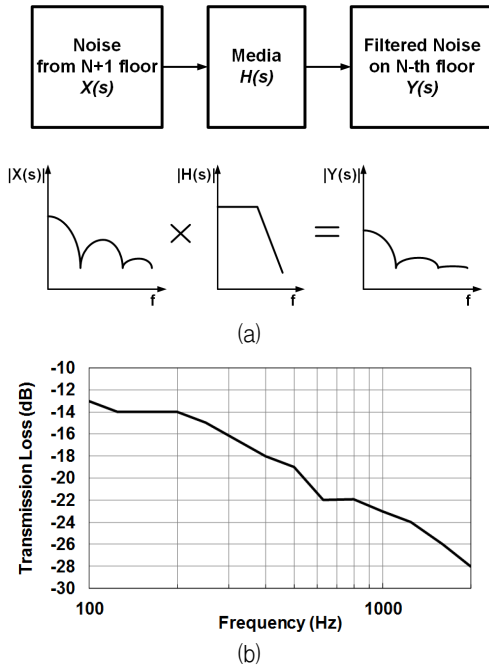


그림 2. (a) 신호 전달 매개체에 의한 노이즈의 고주파 성분 감쇄와 (b) 패널의 투과 손실 그래프  
Fig. 2 (a) High frequency attenuation of a noise signal by transmission media and (b) the transmission loss graph of a panel

### 2.2 투과 손실

위층에서 발생한 노이즈는 위층과 아래층 사이의 바닥재를 통과하여 전달된다. 노이즈 전달 매개체인 공기나 바닥재는 저역 통과 필터(low pass filter)와 같은 특성을 가지므로 위층에 발생한 노이즈에는 그림 2(a)와 같이 주파수가 증가할수록 감쇄가 커지는 필터링 현상이 발생하게 된다[5]. 관계 기관에서 마련한 층간 소음의 법적 기준은 진동의 경우 주간 1분 평균 43 dB, 야간 1분 평균 38 dB이며, 소음의 경우 주간 5분 평균 45 dB, 야간 5분 평균 40 dB를 초과하는 경우이다[6]. 이러한 기준치는 위층이 노이즈 발생지라고 할 때 아래층에서 측정할 것을 의미한다. 본 시스템은 노이즈 발생 층에 설치되어 동작하므로 아래층에 전달되는 노이즈의 크기를 예측하여 처리할

필요가 있다. 아래층에 전달되는 노이즈의 크기를 예측하기 위해서는 신호처리 및 연산 과정에서 그림 2(b)와 같은 투과 손실 값을 입력 노이즈 값에 보정함으로써 예상 노이즈 전달 값을 생성하게 된다[7]. 예를 들어 1kHz의 노이즈 신호가 발생한 경우, 예상 손실 값인 -23 dB를 입력 신호에 보정함으로써 입력 신호가 주간 평균 68 dB를 넘는 것에 대하여 신호처리를 하게 된다. 투과 손실 값은 건물의 구조와 자재 특성에 따라 변경하여 사용하거나 사용자 생활 패턴에 맞게 조정이 가능하다.

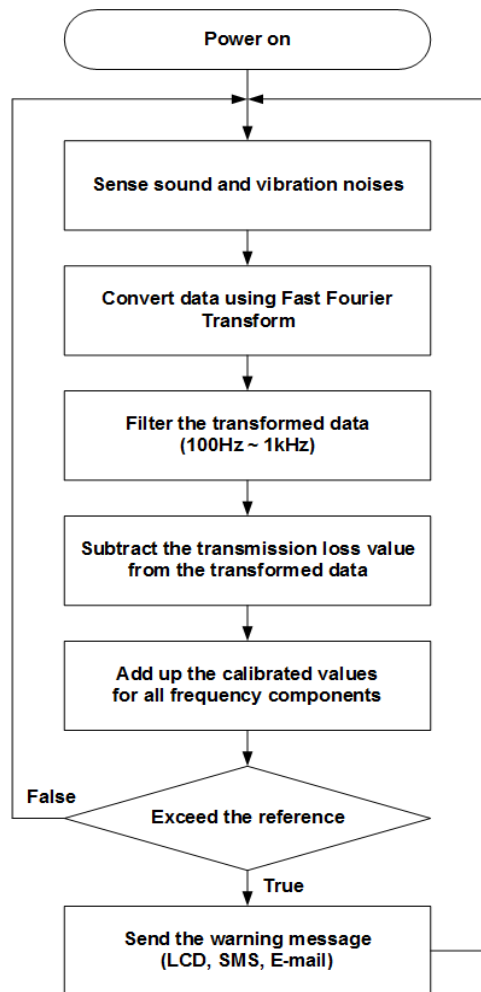


그림 3. 소음 방지 시스템의 동작 순서도  
Fig. 3 Flow chart of the noise prevention system

### 2.3 알고리즘

위층에서 그림 3은 제안하는 시스템의 동작 순서를 보여주고 있다. 층간 소음 방지 시스템은 진동 혹은 소리로부터 발생한 소음이 둘 중 하나라도 일정 기준을 초과 할 경우, 경고 메시지를 나타내게 된다. 소음 측정의 원리는 주파수별 투과손실 차이를 이용한다. 일정 시간 동안 소리센서, 진동센서를 통해 얻어진 측정값들을 고속 푸리에 변환 연산을 통해 주파수 대역 신호로 변환하여 주파수별 소음의 크기를 구한다[8-10]. 고속 푸리에 변환(FFT)은 이산푸리에변환(discrete fourier transform)의 주기적으로 반복되는 연산을 생략하여 그 속도를 향상시키는 연산방법이다. 아두이노에서는 라이브러리에서 제공하는 FFT 함수를 사용할 수 있다. 그림 4는 FFT 연산 결과를 처리하는 코드를 보여주고 있다. FFT 연산은 일반적인 연산에 비해 결과를 얻기 까지 많은 시간이 소요된다. 아두이노에서 사용하는 AVR 계열 마이크로컨트롤러는 멀티태스킹이 불가능하므로 노이즈가 발생하지 않는 상황에서도 FFT 연산을 수행하게 되면 그동안 다른 센서로부터의 입력 신호 감지 및 연산 기능을 할 수 없다. 따라서 본 시스템에서는 불필요한 FFT 연산을 방지하여 동작 효율을 증가시키기 위해서 센서 입력으로부터 받은 신호의 크기가 설정 값보다 큰 경우에만 FFT 연산을 수행할 수 있도록 설계하였다. 이를 통해 소음이 없는 경우나 매우 작은 경우는 FFT 연산을 생략함으로써 빠르게 다른 기능을 수행할 수 있도록 하였다.

노이즈 발생 층에서 발생한 노이즈 신호 중 고주파 대역 성분은 큰 투과 손실로 인해 소멸되어 아래층으로 전달되지 않으므로 연산 속도 증가 및 사용 리소스 감소를 위해 입력 신호의 주파수 성분 중 100Hz에서 1kHz 이하의 성분만 필터링하여 사용하였다. FFT 연산 시 FFT size를 양의 방향으로 총 64개의 결과를 보여주도록 설정하였다. FFT size를  $W_N$ , 아두이노의 샘플링 클럭 주파수를  $f_s$ , N 번째 FFT 결과의 주파수를  $f_N$ 이라고 할 때와의 관계는 식 (1)과 같다.

$$f_N = N \frac{f_s}{W_N} \quad (1)$$

설계에서는 8.333 kHz의 샘플링 클럭을 사용했으므로 100Hz~1kHz의 신호 값을 추출하기 위해 N 값을 1~8

```
int lossArray = {13, 14, 16, 18, 19, 21, 21, 23};
// transmission loss values of 100Hz ~ 1kHz (dB)
float cal_in = 0.0; // calibrated noise input
float Avg_in = 0.0;
int j = 0;
void loop()
{
  int ain = analogRead(AUDIO_IN);
  if(ain > 100)
  {
    for (int i = 0; i < (FFT_N*2) ; i +=2)
    {
      int k = analogRead(AUDIO_IN);
      fft_input[i] = k;
      fft_input[i+1] = 0;
    }
    fft_window();
    fft_reorder();
    fft_run();
    fft_mag_log();
    while(j<11)
    {
      for (byte i = 0; i <9; i++)
      {
        if(fft_log_out[i] - lossArray[i] > cal_in)
        {
          cal_in = fft_log_out[i] - lossArray[i];
          if(cal_in<0)
          {
            cal_in=0;
          }
        }
      }
      Avg_in = Avg_in + cal_in;
      j++;
      cal_in = 0;
      delay(100);
    }
  }
}
```

그림 4. FFT를 통한 센서 입력 신호 처리 코드  
Fig. 4 Code example for input data processing including FFT

까지로 설정하여 사용하였다. 이 경우 필터링되어 선택된 실제 주파수 값은 130 Hz~1.040 kHz 이 된다. 주파수 성분 별로 정리된 추출 데이터는 lossArray에 주파수 별 미리 설정된 전송 손실 값을 빼서 저장된다. 주파수 성분 별 데이터 값이 해당 주파수의 전송 손실 값과 같거나 작은 경우는 연산 결과가 0 또는 음수가 나오게 되는데 이는 발생한 노이즈 성분이 아

래측으로 전달되지 않음을 의미한다. 따라서 연산의 결과가 0보다 클 경우만 소음 판단을 위해 저장된다. 이와 같이 연산된 각 주파수별 데이터는 모두 더해져 저장되고 이 값을 사용자가 정한 기준치와 비교하여 이를 초과할 경우 LCD에 경고 메시지를 표시하고 인터넷망과 전송 서버를 통해 모바일 기기로 문자 메시지를 전송하게 된다.

### III. 시스템의 구현

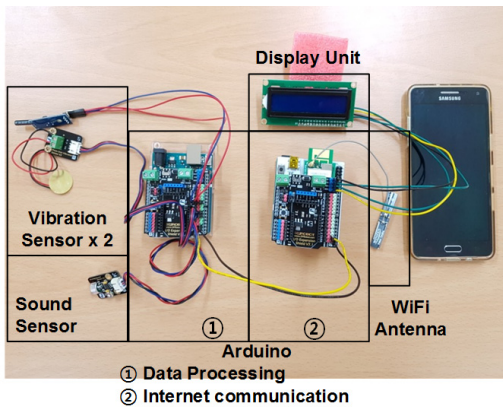


그림 5. 구현된 소음 방지 시스템  
Fig. 5 Implementation of the noise prevention system

그림 5은 센서 모듈, 프로세싱 모듈, 디스플레이 모듈로 구현된 증강 소음 방지 시스템의 전체 구성을 보여주고 있다. 센서부는 사운드 센서 1개와 진동 센서 2개로 구성되어 있다. 진동 센서가 인지할 수 있는 물리적인 입력 범위가 협소하기 때문에 센서를 2개 배치하고 2개의 센서의 신호를 OR연산하여 사용하였다. 센서로부터 받은 데이터를 연산하고 처리하는 모듈은 아두이노를 2개 사용하여 구현하였으며 센서로부터 신호를 받아 FFT 연산과 데이터 처리를 하는 주 컨트롤러 역할의 아두이노와 노이즈 상황을 디스플레이하고 모바일 메시지 전송을 위해 서버로 전송하는 보조 컨트롤러 역할의 아두이노로 나뉘게 된다. 2장에서 설명했듯이 아두이노의 탑재된 프로세서의 특성 상 멀티태스킹이 불가능하므로 메시지를 전송하는 기능과 모바일 기기로 메시지를 전송하는 기능은

동시 병렬 수행될 수 없고 그림 6(a)와 같이 순차적으로만 수행이 가능하다. 또한 이 두 개의 기능을 수행하는 동안에 발생하는 노이즈 입력에 대해서는 시스템이 인지할 수 없다는 문제가 있다. 따라서, 본 시스템에서는 센싱 측면에서 블랙아웃이 되는 이러한 구간을 최소화하기 위해서 데이터 프로세싱을 위한 아두이노와 결과 출력 및 데이터 통신을 위한 아두이노로 분리하여 병렬처리가 가능하도록 설계하였다. 그림 6(b)에서 볼 수 있듯이 만약 주 컨트롤러 역할을 하는 아두이노가 소음이 발생했음을 시스템이 인지하게 되면 UART를 통해 보조 컨트롤러 역할을 하는 아두이노로 알람 신호를 보내게 된다. 인터럽트를 통해 UART 입력을 받은 보조 컨트롤러는 동작 순서에 따라 LCD 메시지를 경고 메시지로 변경하고 Wi-Fi shield를 통해 외부 서버로 상황 데이터를 전송한다. 외부 서버는 보조 컨트롤러로부터 받은 데이터를 인식하여 미리 설정된 메시지를 모바일 기기로 전송하게 된다. 이때 만약 소음방지 시스템이 노이즈에 장시간 노출 되는 경우 시스템의 보조 컨트롤러에서 짧은 시간에 대량의 상황 데이터를 서버로 전송함으로써 서버가 대량의 문자메시지를 연속적으로 전송하는 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 서버는 보조 컨트롤러로부터 상황데이터를 최초로 받았을 때만 1회 메시지를 전송하고 내부 마스크(mask) 신호를 활성화함으로써 이후 입력되는 동일한 상황데이터에 반응하지 않게 된다. 사용자가 모바일 기기에 전송된 소음 경고 메시지를 확인하고 마스크 신호를 초기화할 때까지 서버는 대기하게 되며, 사용자에게 의한 초기화 이후 메시지 전송 기능을 활성화 할 수 있게 하였다. 그림 7은 시스템의 동작 결과를 보여주고 있다. 외부 노이즈를 입력으로 받아 FFT를 수행했을 때의 내부 결과를 확인하기 위해 입력 데이터를 PC로 전송하여 확인하였다. 외부 환경에 노이즈가 많게 되면 FFT 결과 값이 기준치를 초과하게 되고 이 경우 LCD에 소음이 발생하고 있음을 그림과 같이 알리게 되며, 모바일 기기로도 메시지를 전송하여 사용자 하여금 자신이 소음 발생의 원인이 되고 있음을 알게 하여 스스로 주의할 수 있도록 돕는다.

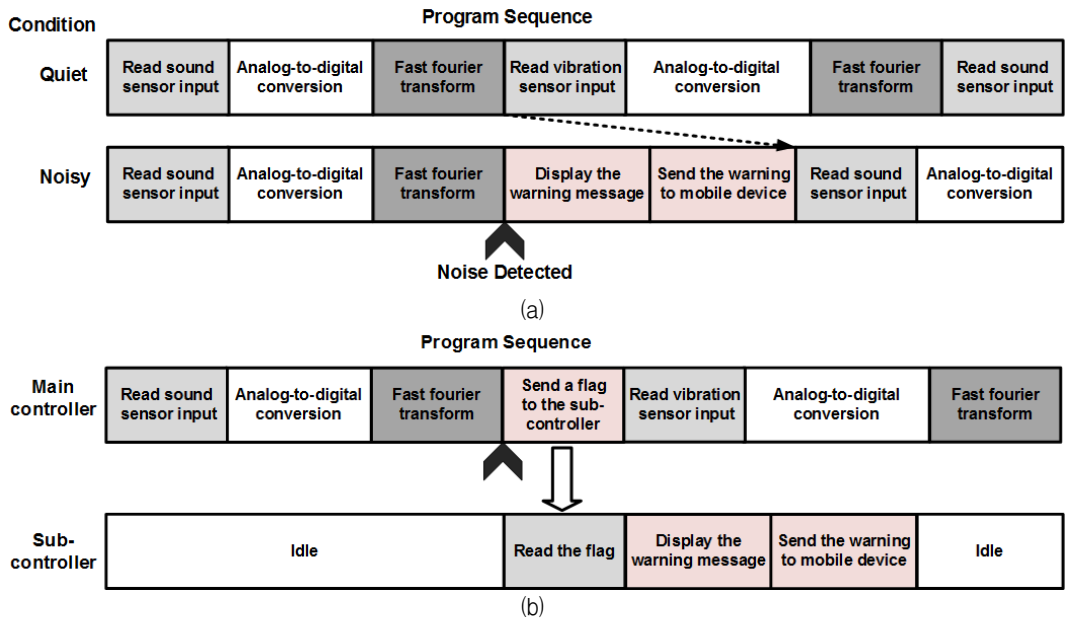


그림 6. (a) 단일 컨트롤러 사용한 기본적인 시스템의 동작 순서와 (b) 듀얼 컨트롤러를 사용한 제안 시스템의 동작 순서

Fig. 6 Program sequences of (a) the conventional system with a single controller and (b) the proposed system with dual controllers

#### IV. 결 론

본 논문에서는 오픈소스 컨트롤러 중 하나인 아두이노를 사용한 층간 소음 방지 시스템 설계 방법에 대해 소개하고 있다. 제안하는 시스템에서는 동작 효율을 증가시키기 위해 각각 역할이 다른 2개의 아두이노 보드를 사용한다. 주 컨트롤러 역할의 아두이노에서는 소리 감지 센서와 진동 감지 센서를 연결하여 층간 소음으로 판단하는 소리와 진동을 입력 받고 이를 고속 푸리에 변환을 이용하여 주파수 대역에서의 신호 분석을 수행한다. 특정 주파수 대역의 신호 크기가 벽 또는 패널의 투과 손실을 고려한 기준이 넘을 때에는 UART를 통해 알람신호를 전송한다. 보조 컨트롤러 역할을 하는 아두이노가 주 컨트롤러로부터 받은 신호를 인식하여 경고 메시지를 사용자에게 전송하고 이를 통해 사용자로 하여금 스스로 주의할 수 있도록 유도한다. 제안하는 시스템은 실험을 통해 신호 인식, 푸리에 변환을 통한 주파수 영역으로의 신호 변환, 인간 인지 영역에 대한 필터링 및 신호 처리,

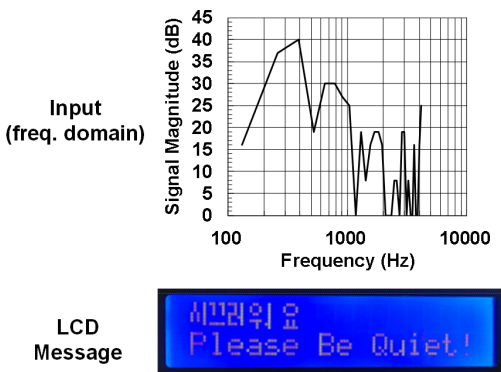


그림 7. 노이즈 환경에서의 구동 결과  
Fig. 7 Experimental result under noisy conditions

프로세싱 모듈 간 통신, 네트워크를 이용한 서버 통신 등에 대한 동작 확인을 완료하였다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] H. Lee and J. Oh, "Design and implementation of a small server room environment monitoring system by using the Arduino," *J. of the Korea institute of Electronic Communication Science*, vol. 12, no. 2, 2017, pp. 385-390.
- [2] D. Ryu and T. Choi, "Development of open IoT platform based on open source hardware & cloud service," *J. of the Korea institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 5, 2016, pp. 485-490.
- [3] X. Hao and C. Kim, "Design and implementation of LED lighting control system using Arduino Yun and cloud in IoT," *J. of the Korea institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 10, 2016, pp. 983-988.
- [4] S. Park, C. Hwang, and D. Park, "Internet of Things(IoT) ON system implementation with minimal Arduino based appliances standby power using a smartphone alarm in the environment," *J. of the Korea institute of Electronic Communication Science*, vol. 10, no. 10, 2015, pp. 1175-1182.
- [5] J. Kim, "Design and Data Analysis of Signal Measurement System for In-Building Propagation Characteristics," *J. of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 52, no. 2, 2015, pp. 3-6.
- [6] Enforcement Rules of the Scope and Standards of Inter-floor Noise of the Apartment House, Article 3.
- [7] I. Kim, J. Lee, and J. Son, "Comparison of Sound Transmission through Single and Double-layer Polymer Panels," *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, vol. 36, no. 9, 2014, pp. 597-603.
- [8] M. Chung and I. Ko, "Representative Melodies Retrieval using Waveform and FFT Analysis of Audio," *J. of KISS : Software and Applications*, vol. 34, no. 12, 2007, pp. 1037-1044.
- [9] D. Chi, D. Cho, K. Jun, and M. Sung, "Sliding FFT based Algorithm for Detecting Specific Sound," in *Proc. of the 35th KIISE Conference*, 2008, pp. 92-97.
- [10] J. Choi, "Speech and Noise Recognition System by Neural Network," *J. of the Korea institute of Electronic Communication Science*, vol. 5, no. 4, 2010, pp. 357-362.

저자 소개

**김태훈(Tae-Hoon Kim)**



2011년~현재 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 학사과정  
 ※ 관심분야 : 임베디드 디바이스 프로그래밍

**장혁재(Hyuk-Jae Jang)**



2011년~현재 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 학사과정  
 ※ 관심분야 : 임베디드 디바이스 프로그래밍

**이원영(Won-Young Lee)**



2006년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학사)  
 2008년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
 2012년 KAIST 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)  
 2012~2015년 삼성전자 메모리사업부 책임연구원  
 2015년~현재 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 조교수  
 ※ 관심분야 : High-speed Serial Interface

