

# 음원탐지 및 위치 추정 알고리즘을 이용한 방재용 IoT 디바이스 시스템 설계

길민식<sup>1</sup>, 곽동걸<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 방재전문대학원 박사수료, <sup>2</sup>강원대학교 방재전문대학원 교수

## The Design of IoT Device System for Disaster Prevention using Sound Source Detection and Location Estimation Algorithm

Min-Sik Ghil<sup>1</sup>, Dong-Kurl Kwak<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Student, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

<sup>2</sup>Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

**요약** 본 논문은 음원 탐지 및 음원 위치를 추정하는 IoT Device 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 복수의 마이크로폰 센서로부터 수집된 음원 신호의 도달 시간차를 분석하여 음원의 방향을 정확히 검출하고, IoT 센서를 이용하여 음원의 발생방향을 추적할 수 있는 음원 방향 탐지 Device를 이용한 시스템이다. 음파를 이용하여 위치를 추정하는 기술은 예전부터 군사적 목적으로 개발되어 왔지만 현재는 이를 응용하여 방범·방재 분야 등에 많이 쓰이고 있다. 이에 따라 본 시스템의 제작을 통해 옥외에 설치한 후 여러 방향에서 음원 발생시켜 성능 시험을 실시하였다. 그 결과 음향 탐지 영역 140dB, 반응시간 1초 이내, 방향 각도 분해능 1° 이내로 매우 정확하게 동작함을 확인할 수 있었다. 향후에는 본 설계안을 바탕으로 빅데이터 분석을 통한 인공지능 알고리즘을 반영하여 보다 신뢰성을 향상시켜 상용화할 계획에 있다.

**주제어** : 음원탐지, 사물인터넷, 위치 추정, 관제, 무선, 빅데이터

**Abstract** This paper relates to an IoT device system that detects sound source and estimates the sound source location. More specifically, it is a system using a sound source direction detection device that can accurately detect the direction of a sound source by analyzing the difference of arrival time of a sound source signal collected from microphone sensors, and track the generation direction of a sound source using an IoT sensor. As a result of a performance test by generating a sound source, it was confirmed that it operates very accurately within 140dB of the acoustic detection area, within 1 second of response time, and within 1° of directional angle resolution. In the future, based on this design plan, we plan to commercialize it by improving the reliability by reflecting the artificial intelligence algorithm through big data analysis.

**Key Words** : Sound Detection, IoT, Location Estimation, Monitoring, Wireless, BigData

### 1. 서론

소리에 의한 방향 감각은 양쪽 귀에 음파가 도달하는 차이에 의해 판별되는 것으로 사람의 경우에 16방향까지 인지가 가능하고, 개의 경우 32방향까지 인지가 가능하다. 오래전부터 이러한 음원의 방향 감지에 대해서 연

구가 진행되었고, 음원의 방향 감지 기술은 음원 국지와 기술의 바탕이 되었다. 이러한 음원 국지와 기술은 레이더(Radar), SONAR시스템, 인간과 로봇간의 상호작용, 스마트 감시 카메라 등 다양한 분야에서 적용 및 연구되고 있다. 음원 국지와를 위한 음원 방향 지각 방식에는 마이크로폰 어레이를 이용하는 방법이 있다[1,2].

\*Corresponding Author : Dong-Kurl Kwak(dkkwak@kangwon.ac.kr)

Received July 15, 2020

Accepted August 20, 2020

Revised August 3, 2020

Published August 28, 2020

기존에 개발된 2채널 마이크로폰 어레이를 이용하는 음원 방향감지 시스템은 2개의 마이크로폰을 통해 들은 신호를 이용하여 음원의 방향을 검출하는 방식이다. 이러한 방식의 음원 방향 감지 시스템은 특정 범위 이상에서는 비선형적인 결과를 보이기 때문에 음원의 방향을 검출하기 어려운 문제점을 가지고 있다[3,4].

또한 방법·방재 감시 시스템 중 가장 보편화된 장치가 CCTV이며, 화상 정보를 취득하여 관리자에게 모니터링해 주는 시스템이다. 주 사용 용도는 공공부문에서 방법용, 교통정보 수집, 불법 쓰레기 투기 감시 및 재난화재 방지용 등이 있고, 민간 부분에서는 거주지 방법 모니터링 및 학내 폭력 감시용으로 활용되며, 군수 분야에서는 군사용 울타리 경계, 시설물 감시 목적으로 활용되고 있다. 현재 운용중인 CCTV 시스템의 오류는 긴급 상황 발생시 관제실 관제 요원의 육안 감시를 놓치는 경우와 감시영역의 사각 지대에서 발생한 사건 및 화재에 대한 사전 대응이 어려워 사후 확인에 의존하는 실정이다[5,6].

이에 대한 대안으로 인체감지센서, 적외선 센서 등을 접목하여 구축되어 왔지만 잦은 오류 발생과 효과대비 비용적인 측면만 증가하여 효율적인 방법·방재 대책이 되지 못하는 상황이다[7].

본 연구에서는 마이크로폰 센서를 4개를 적용하였다. 2개 또는 3개의 마이크로폰을 적용하는 것에 비해 좀더 정확하고 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있었으며 주변 노이즈 및 잡음에 대한 분석 능력이 개선되는 점을 확인할 수 있었다[8,9].

따라서 본 논문은 기존 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 고정된 4개의 브라켓 단부에 마이크로폰 센서를 장착하고 그 장착한 센서로부터 수신된 신호들 간의 도달 시간차를 산출하여 산출된 도달 시간차를 기반으로 음원의 방향을 추정하도록 하는 음원탐지 및 분석 알고리즘을 적용한 방재용 IoT Device 시스템의 설계에 관한 것이다[10].

## 2. 기술개발 현황

### 2.1 기술개발의 필요성

최근 교통, 주차, 쓰레기 무단투기, 재해·재난 감시, 아동보호, 범죄취약구역 및 공공시설물 감시 등 개별 목적으로 설치된 CCTV는 기능을 못하고 있는 실정이다. 감시 인력의 집중력 문제로써 연속적으로 영상을 감시

한 지 12분이 넘으면 감시자는 현장 움직임을 45%까지 놓치고, 22분 이상이 되면 95%까지 놓치게 된다.

현재의 CCTV는 용도별 CCTV(방법, 재난, 시설 보호) 수가 너무 많아 사전 예방 보다는 사후 분석용으로 사용되고 있다. 그리고 Fig. 1에서 보듯이 고함비명 등 사건 사고의 각종 소리들을 탐지하여 범죄 현장에서 발생하는 소리들을 즉각적으로 탐지할 수 없는 문제점이 있어 보다 많은 시스템 보완이 필요하다.



Fig. 1. Accident examples

### 2.2 국내·외 기술 현황

#### 2.2.1 국내기술 현황

국내 지능형 CCTV 영상감시 기술은 보안SW, 보안 HW모듈, 보안 칩셋, 다중영상 보안시스템 연동 기반 광역 객체 추적 SW 및 증거 영상자료 SW 기술들이 있으나 야간 환경에 적용하는데 어려움이 있다[11].

음향 센서의 경우 건물 내의 보안감시용 음향의 경우 다중 방향에서 입사되는 미세한 음장 변화를 감지하기 위해서 pressure field형 기술이 쓰이고 있다. 주변의 벽 등에서 반사되어 들어오는 음장 변화에 의한 잡음 성분을 줄이기 위하여 위상 검출이 가능한 음향센서 어레이와 디지털 음향 센서등을 이용하고 있으나 오 인식이 많다는 단점과 실내에 한정해서 쓰이고 있다[13].

Fig. 2에서 보는 바와 같이 국내 업체의 경우 이안플러스와 아이에스테크놀로지 사가 개발을 진행하며 사업화를 추진하고 있다. 하지만 전체적으로 핵심 기술인 음원 수집 및 분석에 의한 정확도가 높은 제품은 아직 없는 상황이다.

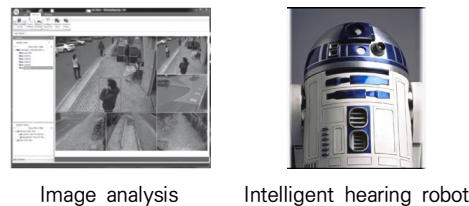


Fig. 2. Domestic Technology situation

### 2.2.2 해외기술 현황

영국제 회사인 Audio Analytic에서 개발한 ‘오디오 사건 검출기(Audio event detector)’는 실내 또는 주거 공간에서 발생할 수 있는 소리를 분류하여 특정 오디오 사건이 발생하면 사용자에게 정보를 전달하는 서비스를 제공한다. 또한 다양한 소리를 인지하는 인공지능 기반 오디오 검출 솔루션을 가지고 있으며 사용자의 환경에 적합한 솔루션을 제공한다.

이탈리아영국 회사인 ‘SELEX GALILEO’는 대포 발사 시 발생하는 파열음을 세 개 이상의 마이크로 포착하여 각 마이크에 도달한 상대적 시간 지연차로 대포 발사 위치를 파악하는 기술을 보유하고 있다.

BBN Technologies 사의 ‘Boomerang’ 제품은 탑재차량이 정지 상태나 이동 중에 상관없이 적 저격수가 발포하는 위치를 탐지할 수 있는 음향 센서 배열로 구성되어 있으며, 기후 조건이나 운용 환경에 무관하게 신뢰성 있는 성능을 제공한다. Fig. 3은 오디오 사건 검출기(Audio Analytic 社), HALO(SELEX 社)와 Boomerang(BBN社)제품을 나타낸다[12,13].



Fig. 3. Oversea Technology situation

캐나다 연구기관인 CCVG(Canada Computation Video Group)에서 카메라의 주변에 다수개의 마이크로폰을 통해 소리 발생 위치를 탐지한 다음, 소리 발생 위치로 카메라를 회전시키는 방법이 있으나 단점으로는 소리 감지에 소요되는 마이크로폰이 10개 이상 들어가는 구조로 제조비용이 높다는 문제점이 있다.

## 3. 방재용 IoT 디바이스 시스템

### 3.1 시스템 개요

본 방재 IoT Device 시스템은 다수의 브라켓 단부 각각에 장착되어, 음원으로부터 발생한 음향 신호를 수신하는 다수의 마이크로폰 센서, 다수의 마이크로폰 센서 각각으로부터 수신된 음향 신호들의 도달시간차를

산출하고 이를 이용하여 음원 발생 방향을 추정하는 알고리즘이 포함된 제어 모듈, 수집된 음원에 대한 분석 및 경고 알람을 송출하는 방재 모듈로 구성되어 있다.

### 3.2 음원탐지 및 분석 알고리즘

#### 3.2.1 음원발생 판별 기법

음향 신호들 간의 도달 시간차 연산 과정은 우선적으로 음원의 발생 여부를 판단한다. Fig. 4과 같이 다수개의 마이크로폰 센서로부터 수집된 음파를 샘플링하여 가장 먼저 수신된 음향 신호의 센서가 기 설정된 임계치 이상인지를 확인하고, 그 확인한 결과로 특정한 음원이 발생하였다고 판단하여 수행된다.

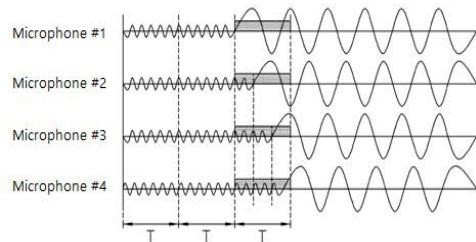


Fig. 4. Frequency Sampling of 4 array sound wave

#### 3.2.2 음원 방향 추정 알고리즘

음원 신호의 크기는 Fig. 4와 같이 기 설정된 주기 동안 수신된 음향 신호의 진폭 값에 대한 누적합산 값과 보정치를 적용하여 고속 마이크로 프로세서에 의해 연산을 수행한다. 우선 음원 신호의 크기 계산은 식 (1)을 적용한다.

$$S = \int_{kt}^{(k+1)t} |s(t)| dt \quad (1)$$

여기에  $s(t)$ 는 마이크로폰 센서에 도달하는 신호,  $t$ 는 샘플링 주기,  $S$ 는 샘플링 주기동안 음향신호 크기를 말한다.

TDOA 방식을 이용하는 경우, 도달시간차는 음원 발생 위치와 음향 센서들과의 거리의 차이에 비례하고, 음원 발생 위치와 마이크로폰 센서간의 거리 차 ( $r_{i+1, i}$ )는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다

$$c \Delta t_{i+1, i} = r_{i+1, i} = r_{i+1} - r_i \quad (2)$$

여기서  $c$ 는 음원의 전파 속도이고,  $c\Delta t_{i+1, i}$ 는  $i$ 번째 마이크론 센서와  $i+1$ 번째 마이크론 센서의 도달 시간차,  $r_{i+1}$ 는 음원발생 위치로부터  $i+1$ 번째 마이크론 센서까지의 거리,  $r_i$ 는 음원발생 위치로부터  $i$ 번째 거리를 나타낸다.

$r_{3,2}r_{2,1}r_{3,1}$ 을 계산하면 식 (3)으로 표현되며, 이와 같은 방식으로 식 (4)와 같이  $l_i, m_i, u_i, v_i$ 의 해를 구할 수 있으며 동일한 방법으로 반복하여  $(l_2, m_2, u_2, v_2), (l_3, m_3, u_3, v_3), (l_4, m_4, u_4, v_4)$ 값을 산출한 후 식 (5)와 같은 선형방정식을 도출하여 음원 발생 위치인  $(x, y, z)$  좌표를 구할 수 있고, 이로부터 음원 발생 방향을 추정할 수 있다.

$$r_{3,2}r_{2,1}r_{3,1} = r_{3,2}r_1^2 + r_{2,1}r_3^2 - r_{3,1}r_2^2 \quad (3)$$

$$r_{3,2}r_{2,1}r_{3,1} = l_1 + m_1x - u_1y + v_1z \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & u_1 \\ m_2 & u_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{3,2}r_{2,1}r_{3,1} - l_1 - v_1z \\ r_{4,3}r_{3,1}r_{4,1} - l_2 - v_2z \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} m_3 & u_3 \\ m_4 & u_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{4,2}r_{2,1}r_{4,1} - l_3 - v_3z \\ r_{4,3}r_{3,2}r_{4,2} - l_4 - v_4z \end{bmatrix}$$

### 3.3 IoT Device 시스템 설계

#### 3.3.1 IoT Device 구조 설계

음원 탐지 및 위치 추정 알고리즘을 이용한 IoT 디바이스 시스템은 다채널 센싱이 용이한 HW 플랫폼에 Embedded Linux기반 SW로 구성되며, 각종 장치 드라이버를 유연하게 지원하여 개발한다.

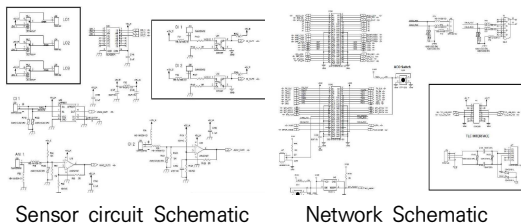


Fig. 5. Interface Schematic of IoT Device board

HW 시스템은 Fig. 5와 같이 ARM계열 MCU 기반으로 각종 센서 module과 다양한 센서 인터페이스, 실시간 데이터 추출 알고리즘 Logic구현 및 통신

Network I/F 부분으로구성 되어 있으며 전체 시스템 아키텍처는 Fig. 6과 같은 구조로 설계되어 있다.

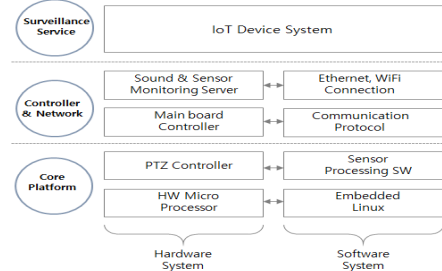


Fig. 6. System Architecture

소프트웨어 시스템은 센서 인터페이스를 위한 Sensor Processing SW, WiFi NW 연동 소프트웨어, 음원탐지 및 위치 추적을 위한 알고리즘, PTZ 제어를 구동하는 SW, 영상 저장 장치의 실시간 관제 모니터링을 지원하는 SW로 구성되어 있다.

#### 3.3.2 음향센서 모듈 설계

음향센서 탐지의 경우 10~140db 환경에서 특정 소음을 탐지하고 탐지 모듈 내 위치를 판별하는 알고리즘을 통해 방향성을 인식하며, 특정 소음을 추출, 분석, 수집하는 역할을 하며 Fig. 7은 마이크론 센서와 4 어레이 모듈에 대한 그림이다.



Fig. 7. Microphone sensor & 4 array sensor module

특히 감도 특성을 고려한 마이크로 센서 모듈 설계 및 임피던스 매칭을 위한 형상, 재질, 길이에 따라 여러 형태로 개발 튜닝과 더불어 음원 분석, 추출, 탐지 기능을 수행후 서버에 음원 DB에 데이터를 전송하며 동일 음원 분석 및 주파수의 거리별 측정하여 기준 음원 설정을 통해 수집 분석된 음원 DB를 통한 음원 추출 영역 설정한다. Table 1은 마이크론 센서 제원이다.

**Table 1. Specification of Microphone sensor**

Section	Contents
Directivity	Omnidirectional
Sensitivity	-46dB
Frequency Bandwidth	4kHz
Phase Difference	under $\pm 2^\circ$

3.3.3 서버 구조 설계

실시간 데이터 처리 및 관제 SW은 IoT 플랫폼 HW 구조에 기반하여 주제어 시스템과 노드 네트워크 시스템 구조로 되어 있으며, Table 2와 같이 서버와 Agent 간 메시지 프로토콜 정의에 따라 클라우드 기반 네트워크로 구성된다.

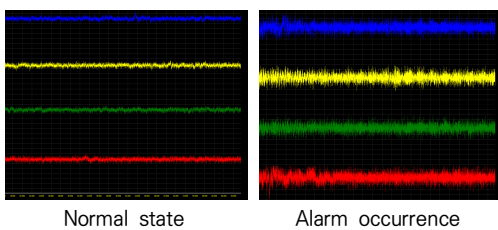
**Table 2. Design of Message Protocol**

Type	Define	Description	Packet
START_ON_AS	0x1001	Agent registration request	RQ
START_ON_SA	0x1002	Agent response registration request result	RP
AGT_THRH_CHG_SA	0x1007	Threshold value change request	RQ
AGT_THRH_CHG_AS	0x1008	Threshold value change request	RP
AGT_EVENT_REP_AS	0x1009	Report measurement	NOTI
CONTROL_STS_REP_AS	0x100b	Control device status	NOTI
CM_STS_REP_AS	0x100c	Camara status	NOTI
RESET_AGENT_SA	0x100d	Agent restart request	NOTI
FW_DOWN_SA	0x100f	Firmware request download	RQ
FW_DOWN_AS	0x1010	Agent firmware download request	RP
AGT_VALUE_REP_SA	0x2001	Agent transmission information request	NOTI
AGT_VALUE_REP_AS	0x2002	Agent information reporting	NOTI

4 음원 분석 시험

4.1 각종 음원 수집

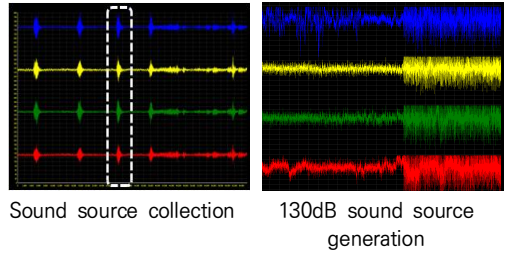
음원 분석 시험에 앞서 아래 Fig. 8과 같이 옥외에서 각종 음원을 수집한후 모니터링 화면을 통해 음원을 표출한 화면이다.



**Fig. 8. Collection of Acoustic Sounds**

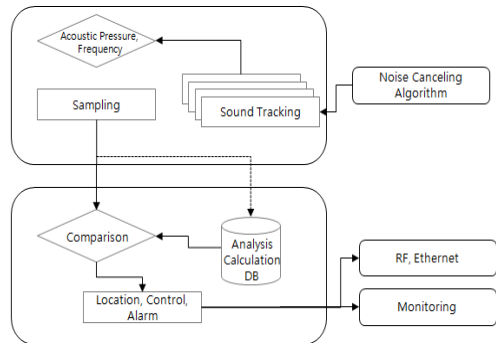
4.2 음원 분석

음원 분석 시스템은 특정 음원이 검출된 시계열데이터를 생성하기 위해 소리 데이터에서 저수준의 오디오 특징을 추출하는 기술을 적용하며, 소리 데이터의 기준 주파수 및 위상을 분석하여 음원 발생 위치를 판별 기능을 수행한다.

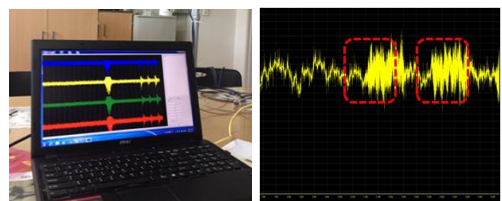


**Fig. 9. Analysis of 4 array Acoustic data**

음원 분석을 위해서는 Fig. 9와 같이 4방향 음원 센서 데이터의 주파수, 음압, 에너지 량을 수집 분석하여 수치 해석을 통하여 위치를 산출하며 이모든 과정은 Fig. 10와 같이 음원 분석 알고리즘 절차에 따라 수행되며 Fig. 11은 음원 분석 및 샘플링에 대한 결과 화면이다.



**Fig. 10. Acoustic detection Algorithm**



**Fig. 11. Acoustic data Analysis and Sampling**

4방향의 음원 센서를 통해 수집된 음원을 디지털 값으로 변환하여 음원 방향 추정 알고리즘을 적용하여 연산을 수행한 후 방향 분해능을 1° 단위로 산출하였으며 그 결과 값은 Fig. 12과 같이 도출되었다.

```

MSG RECEIVE READY...
[THREAD] MESSAGE RECEIVE <=====
LOW DATA:
0 3 0 44 71 0 0 92 b 42 63 0 0 1e 43 9 10 0 0
0 0 0 a 0 0 0 b 0 0 0 c 0 0 0 0 1 1
0 0 0 60 0 0 0 61 0 0 0 5f 0 0 0 0 1 1
0 0 0 10 e 5b 5a ff 71 0 0 57 c5 fb 3b 44 71 0 0
0 0 0 44 71 0 0 0 0 0 0 0 0 0 90 1 f9 3b
71 0 0 a0 88 8e 3b 44 71 0 0 1 0 0 0 0 0 0
e 5b 5a ff 71 0 0 10 3d 60 0 0 0 0 15 35 fc 3b
71 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6 0 0 0 0 0 0
40 60 0 0 0 0 0 b 40 0 0 0 0 10 40 60 0
0 0 0 c9 13 91 3b 44 71 0 0 2 0 0 0 0 0 0
e 5b 5a ff 71 0 0 10 3d 60 0 0 0 0 d7 24 40 0
0 0 0 a8 31 81 3b 44 71 0 0 ff ff 0 0 1 0 0 0
e 5b 5a ff 71 0 0 ec 24 40 0 0 0 0 3 0 0 0
0 0 0 3d 25 40 0 0 0
packet: packet :
packet_type = 3 source_ip_addr = 7144 source_ip_port = 0
dest_ip_addr = 63420b92 dest_ip_port = 17182
msg_id = 0x1009 connection_id = 0x0
reserved = 0x10 buffer_size = 0x0
insert_thread_id : cur_connection_id=0
RCV MESSAGE no 0x1009 AUD_EVENT_REPORT_AS processing
AGENT CustomerID : 10
AGENT GroupID : 11
AGENT ID : 12
AGENT ALD status : 0 0 1 1
dev 1 value : 91
dev 2 value : 96
dev 3 value : 97
dev 4 value : 95
AGENT FIRE status : 0 0 1 1
SEND MESSAGE(S->G) 0x0030 ALARM_REPORT_SG(S1 R:ALARM OCCURED) send ==
====
MultiSend : Multy Send
MultiSend : UI_INFC: ii= 1 addr(800a8c0) port(50158) send_cnt=1
    
```

Fig. 12. The results of calculation by 4way sounds

음원 분석의 결과를 평가하기 위해서 성능평가를 실시하였으며 성능시험을 한 결과 Table 3과 같이 음향 탐지 영역 140dB이내, 응답시간 1초 이내, 방향 각도 분해능 1° 이내로 매우 정확하게 동작함을 확인할 수 있었으며 그 결과는 Table 3과 같이 도출되었다.

Table 3. Performance Evaluation

Section	Results
Sensitivity	50mV/Pa
Response Time	under 1 sec
Angle Resolution	1°
Detection Area	under 140dB

### 5. 결론

본 논문에서는 실시간 음향을 검출하고 음원의 방향을 추정하여 재난 등 응급 상황을 대처하기 위하여 보다 기능화된 IoT Device 시스템을 고안하기 위한 방안으로 연구하였다. 복수개의 마이크로폰으로 부터 수신된 음향신호를 음원 분석추정 알고리즘을 적용하여 음향 환경의 변화에 따라 실험을 실시한 결과 양호한 결

과를 도출 하였으며, 이 연구 결과를 반영하여 신뢰성 있는 방재용 IoT시스템을 개발하는데 기초가 될 것이다.

향후 연구 과제로는 본 설계안을 바탕으로 한 저전력·모듈형 제어장치 HW개발, 빅데이터 기반 음원 분석 및 관제 모니터링 SW 개발을 통해 다양한 현장에 설치하여 현장시험을 실시할 계획이며 이를 바탕으로 시스템의 신뢰성을 향상시켜 상용화할 계획에 있다.

### REFERENCES

- [1] J. Rajagukguk & N. E. Sari. (2017). Detection System of Sound Noise Level (SNL) Based on Condenser Microphone Sensor, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 970*, 1-7. DOI : 10.1088/1742-6596/970/1/012025
- [2] D. Stowell, D. Giannoulis & E. Benetos. (2015). Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events, *IEEE TRANSACTIONS ON MULTIMEDIA*, 17(10), 1733-1746. DOI : 10.1109/TMM.2015.2428998
- [3] S. Jeon, K. W. Park, H. W. Ryu & Y. H. Kim. (2010). A Design of M2M BASED Intelligent Operating System for Effective Pollution Control Facilities, *2010 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 521-522. DOI : 10.1109/ICTC.2010.5674786
- [4] K. Kalgaonkar, P. Smaragdus & B. Raj. (2007). Sensor and Data Systems, Audio-Assisted Cameras and Acoustic Doppler Sensors, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1-2. DOI : 10.1109/CVPR.2007.383533
- [5] K. Yamaoka, N. Ono, S. Makino & T. Yamada. (2017). Abnormal sound detection by two microphones using virtual microphone technique, *Proceedings of APSIPA Annual Summit and Conference 2017*, 478-481. DOI : 10.1109/APSIPA.2017.8282079
- [6] C. Liu, B. C. Wheeler, W. D. O'Brien Jr., R. C. Bilger, C. R. Lansing & A. S. Feng. (2000). Localization of Multiple Sound Sources with Two Microphones, *Journal of the Acoustical Society of America*, 108(4), 1888-1905. DOI : 10.1121/1.1290516
- [7] A. Pourmohammad & S.M. Ahadi. (2012). Real Time High Accuracy 3-D PHAT-Based Sound



Source Localization Using a Simple 4-Microphone Arrangement, *IEEE Systems Journal*, 6(3), 455-468.  
DOI : 10.1109/JSYST.2011.2176766

- [8] B. Y. Whang, J. H. Jung & C. M. Lee. (2015). Advanced Sound Source Localization Study Using De-noising Filter based on the Discrete Wavelet Transform, *Journal of Institute of Control, Robotics and System*, 21(12), 1185-1192.  
DOI : 10.5302/J.ICROS.2015.15.0012
- [9] C. Y. Choi & D. M. Lee. (2013). Fuzzy Logic Based Sound Source Localization System Using Sound Strength in the Underground Parking Lot, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 38C(05), 434-439.  
DOI : 10.7840/kics.2013.38C.5.434
- [10] S. H. Chun & Y. J. Chun. (2019). Performance Analysis of Sound Event Detection Based on CRNN, *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, 17(5), 83-90.  
DOI : 10.14801/jkiit.2019.17.5.83
- [11] S. Adavanne, A. Politis & T. Virtanen. (2018). Sound Event Localization and Detection of Overlapping Sources Using Convolutional Recurrent Neural Networks, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13(1), 34-48.  
DOI : 10.1109/JSTSP.2018.2885636
- [12] G. Raboshchuk, C. Nadeu, P. Jancovic, A. P. Lilja, M. Kokuer, B. M. Mahamud & A. R. Veciana. (2017). A Knowledge-Based Approach to Automatic Detection of Equipment Alarm Sounds in a Neonatal Intensive Care Unit Environment, *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 6, 1-10.  
DOI : 10.1109/JTEHM.2017.2781224
- [13] S. W. Suh, W. T. Lim, Y. H. Jeong, T. J. Lee & H. Y. Kim. (2018). Dual CNN Structured Sound Event Detection Algorithm Based on Real Life Acoustic Dataset, *Journal of Broadcast Engineering*, 23(6), 855-865.  
DOI : 10.5909/JBE.2018.23.6.855

### 길 민 식(Min-Sik Ghil)

[정회원]



- 2017년 2월 : 강원대학교 방재전문대학원(공학석사)
- 2019년 2월 : 강원대학교 방재전문대학원(공학박사 수료)
- 2017년 7월 ~ 현재 : ㈜투비시스템 대표이사

- 관심분야 : IoT, 인공지능, 클라우드 컴퓨팅
- E-Mail : maxitghil@daum.net

### 곽 동 결(Dong-Kurl Kwak)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경남대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2007년 2월 : 한중대학교 전기전자공학과 조교수
- 2007년 7월 ~ 현재 : 강원대학교 방재전문대학원 교수

- 관심분야 : IoT 안전시스템, 전력전자, 인공지능, 디지털 회로 시스템
- E-Mail : dkkwak@kangwon.ac.kr