

Implementation of a Harmful Bird Repellent System using Directional Speakers

Hwa-La Hur*, Myeong-Chul Park**

*Professor, School of Software, Kyungwoon University, Gumi, Korea

**Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose a harmful bird repellent system using directional speakers. Existing sound systems for the extermination of harmful birds have the disadvantage of reducing effectiveness due to the learning effect of birds due to problems caused by noise pollution and monotonous sounds. In this paper, directional speakers are used to minimize surrounding noise. In addition, the up-down and left-right angles of the speaker driving device were freely adjusted to maximize usability. Additionally, the problem of performance degradation due to learning effects was solved by using various scanning patterns. In the future, we plan to develop a platform capable of central control by applying remote control functions and a deep learning model that can recognize bird species.

▶ **Key words:** Harmful Bird Repellent, Directional Sound, Scanning Patterns, Actuator Control

[요 약]

본 논문은 지향성 스피커를 이용한 유해조류 퇴치 시스템을 제안한다. 유해조류 퇴치를 위한 기존 사운드 시스템은 소음공해로 인한 문제와 단조로운 소리로 인하여 조류의 학습효과로 효과가 저하되는 단점을 가진다. 본 논문에서는 지향성 스피커를 이용하여 주변의 소음을 최소화하고 스피커 구동 장치에 대해 상하 및 좌우 각도를 자유롭게 하여 활용성을 극대화하였다. 또한 다양한 스캐닝 패턴을 이용하여 학습효과로 인한 성능저하 문제를 해결하였다. 향후, 원격제어 기능과 조류 종류를 인식할 수 있는 딥러닝 모델을 적용하여 중앙통제가 가능한 플랫폼으로 발전시키고자 한다.

▶ **주제어:** 유해조류 퇴치, 지향성 사운드, 스캐닝 패턴, 구동체 제어

-
- First Author: Hwa-La Hur, Corresponding Author: Myeong-Chul Park
 - *Hwa-La Hur (haru@ikw.ac.kr), School of Software, Kyungwoon University
 - **Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
 - Received: 2023. 11. 03, Revised: 2023. 12. 08, Accepted: 2023. 12. 08.

I. Introduction

최근 농작물 피해를 유발하는 야생동물의 개체수가 급증하여 피해규모가 매년 증가하고 있다. 2023년 기준으로 농작물 피해액은 최근 5년간 542억 원이며 농작물재해보험에 접수된 조수해 피해 건수는 4만9천여 건에 달한다. 야생 동물별 피해액은 멧돼지 330억 원, 고라니 90억 원, 까치 41억 원, 평 17억 원 순으로 조사되었으며 작물별 피해는 포유류로 인한 채소가 121억 원으로 가장 많았고 조류로 인한 사과의 피해액이 77억 원으로 뒤를 이었다[1]. 이는 연평균 5%이상씩 증가하고 있는 추세이다. 야생동물의 개체보호와 다양성 증진을 통한 생태계의 균형 유지와 공존하는 건전한 자연을 목적으로 시행되는 있는 ‘야생생물 보호 및 관리에 관한 법률’에 따라 야생동물의 포획은 엄격히 제한되고 있으며, 정부에서는 사람의 생명이나 재산에 피해를 주는 유해야생동물을 지정하여 관련 지침에 의해 포획 기준을 정하여 관리하고 있지만 동물단체 및 환경단체의 입장이 상반되어 적절한 대책수립이 어려운 실정이다.

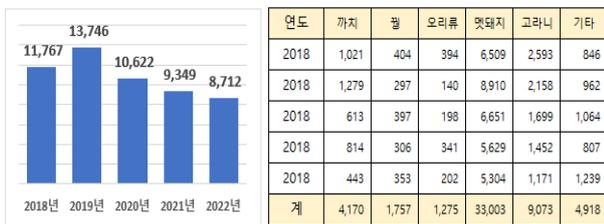


Fig. 1. Crop damage caused by harmful animals over the past 5 years (KRW million)

또한 지침에 의한 포획방법 중 총기류, 엽건, 올무, 덫 등은 위험성을 내재하고 있으며, 지정된 목표 종이 아닌 타 동물을 무분별하게 포획하는 문제점을 가진다. 일반 농가측면에서는 농작물로부터 야생동물의 접근을 막는 방법으로 피해를 줄일 수 있기 때문에 직접적인 포획보다 퇴치하는 방법을 우선하고 있다. 대표적인 유해야생동물 퇴치 방법은 출입 억제를 위한 철조망 설치, 기피제 사용을 통한 접근 억제, 센서를 통한 움직임 파악 및 음향, 광원 발산 등의 방법이 있다. 사과의 경우 전국 4만여 농가에서 약 62%의 농가가 경상북도에 위치하여 유해조류의 피해가 가장 큰 것으로 조사되었다. 유해조류의 퇴치방법은 대부분 음향 방출을 통해 이루어지고 있는데, 무지향성 스피커로 인한 불필요한 소음으로 2차적인 문제를 야기하고 있다. 이에 본 논문에서는 농가에 소음공해 피해를 주지 않고 유해조류를 퇴치할 수 있는 지향성 음향 방출기를 제안

하고자 한다. 제안하는 음향 방출기는 목적물에 따라 방향 및 높낮이 조절이 가능하고 유해조류의 음향학습을 통한 효과저하를 해소하기 위하여 다양한 음향패턴을 적용하였다. 본 논문의 구성은 2장에서 유해동물에 퇴치하기 위한 기존 연구와 지향성 사운드 시스템에 대해 살펴보고 3장에서 구체적인 설계 및 구현에 대해 기술한다. 4장에서 구현된 유해조류 퇴치 시스템의 성능 결과에 대해 설명하고 5장에서 결과에 관해 기술한다.

II. Background

1. Related works

농가에서는 유해조류 퇴치를 위해 그물설치, 소음 방출, 천적 모형 설치, 화학 약품 사용 등 다양한 방법으로 피해를 줄이고자 하는 노력을 하고 있지만 과다비용과 생활에 피해를 주는 소음 발생 등으로 인해 효과가 작고 야간 사용이 제한적이다.

Table 1. Traditional Bird Repellent Methods

Method	Feature
	Bird Scare Cannon : Temporary impacts due to bird learning, additional staffing, increased costs, and civil complaints due to noise pollution.
	Laser : Simple patterns induce learning effects, concerns about the occurrence of safety accidents.
	Sound of Bird of Prey : Insufficient effect due to temporary effects and learning effects
	Shape of Bird of Prey : Insufficient effect due to temporary effects and learning effects
	Omnidirectional Speaker : Temporary eradication due to learning effect. Concerns about civil complaints arising from noise pollution.

조류를 억제하거나 퇴치하는 방법 중 사운드를 기반하는 시스템을 살펴보면, Koyuncu and Lule (2009)는 태양열 전지로 구동되는 사운드 시스템을 제안하였다. 태양광 패널, 배터리, 충전 변환기, MP3 플레이어, 증폭기, 스피커로 구성되며 총 18개의 소리는 담고 있으며 매의 울음 소리가 가장 효과적임을 입증하였다[2].

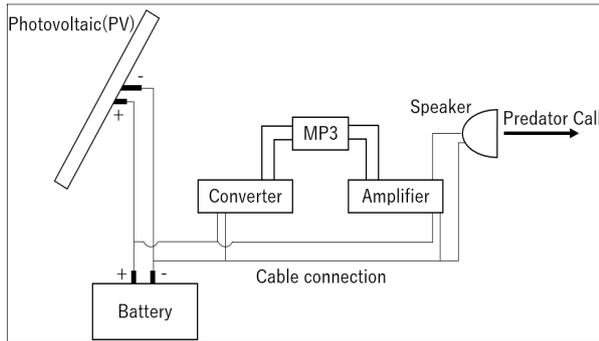


Fig. 2. Schematic presentation and components of the bird scarer[2]-(redrawn)

Muminov는 사운드 카탈로그에 총소리를 추가한 시스템을 제안하였으며, 소나 센서(Sonar Sensors)와 아두이노 마이크로컨트롤러를 이용하여 재생 목록의 사운드를 섞고 조류가 감지될 때만 재생하도록 하였다[3].

조류 퇴치에 드론(UAV)도 많이 활용되고 있는 추세이며 Wang et al.(2019)은 포도원에서 까마귀, 앵무새 및 찌르레기를 퇴치하기 위하여 드론을 이용하여 과수 보호구역에서 250m 거리 밖으로 벗어나게 하였다. 사용된 드론은 쿼드콥터로 죽은 까마귀 모형을 달고 조난 신호를 발송하는 스피커를 포함하고 있다[4]. 유해조류 퇴치를 위한 음향방출 방법은 무지향성과 지향성 두 가지 방법이 있다. 무지향성 스피커의 경우는 파형 특성상 음원 발생기 주변에 불필요한 소음을 농가에 방출하게 되어 소음공해의 피해를 주는 반면, 지향성 스피커는 필요한 구역에만 선택적으로 음원을 방출할 수 있는 장점을 가진다.

Hamed는 음파를 이용하여 농작물에 존재하는 유해 조류를 방제하기 위한 음파 주파수와 노출 시간 및 주파수 발생 거리 등을 대상으로 유효성 여부를 조사하였다. 조사 결과, 노출 시간에 따른 빈도와 시간이 가장 유효한 요소이며, 고주파에 비해 저주파가 위협 영향이 높게 나타났다[5]. Oluwole Arowolo는 아두이노 기반에서 서보 모터에 회전용 카메라를 연결하고 라즈베리 파이 기반에서 조류의 특징을 식별하기 위하여 파이썬 및 Open CV 라이브러리로 구성된 시스템을 제안하였다[6]. 이 시스템은 이미지 처리를 통해 조류를 인식하고 포식자의 소리를 이용하여 퇴치하겠다는 하였다. 하지만 본 연구는 조류 퇴치보다 움직이는 조류의 모션을 감지하는데 집중하였다. Bridge ES는 새 동지에 RFID 데이터 로깅 시스템을 이용하여 다양한 조류의 번식 행동과 더불어 조류에 따라 동지의 온도와 오디오 녹음을 재생하는 등의 생태학적 모니터링 시스템을 제안하였다[7]. 본 연구에서 제안하는 유해조류 퇴치와는 다소 상이함이 있으나, 조류의 특성을 파악하고 후처리를

통한 행위적 내용측면에서 연관성을 가진다. Ferreira AC는 조류의 개체를 인식하기 위한 딥러닝 기반의 시스템을 제안하였다. 수집된 이미지를 대상으로 개체 레이블링을 통해 훈련 데이터를 구축하고 식별을 위한 학습모델은 CNN(Convolutional Neural Network)모델을 이용하였다[8]. Yu, Z.는 실시간으로 조류를 감지, 위치를 파악하고 퇴치하기 위한 변전소 조류 퇴치용 스트레오 비주얼 서버 시스템을 제안하였다. 시스템은 소형컴퓨터, 비주얼 서버기반의 회전 팬틸트(Pan-tilt)로 구성되며 빠른 실시간 감지를 위하여 컨볼루션 커널 수를 줄인 개선된 YOLOv3-tiny 모델을 이용하였다[9]. 그 외에도 다양한 딥러닝 기술이 적용되고 있는데, PushpaLakshmi는 CNN을 이용해 조류를 포착하고 SVM(Support Vector Machine) 분류를 적용하여 R-CNN 기반 최적화를 통해 농작물 피해를 유발하는 주요 조류를 분류하는 시스템을 제안하였다[10]. 훈련된 SVM 분류기는 IoT 기반의 메가폰과 MP3모듈과 연동하여 조류를 해당 지역에서 퇴치할 수 있는 사운드를 출력하게 된다. M-J Bae는 공항활주로에서 발생하는 항공기의 버드스트라이크 사고를 예방하기 위하여 조류의 천적인 맹금류 중 매의 울음소리를 활용한 예방법을 소개하였다[11]. 연구에서는 매 울음소리의 스펙트럼을 분석하여 선행음과 후행음 모두가 강하게 응집되어 조류에게 위협적인 메시지를 주고 있음을 증명하였다. 제안하는 시스템에서 본 선행 연구의 결과물에 따른 매의 울음소리를 유해 조류 퇴치를 위한 음향으로 지정한다. 본 논문에서는 농가에 소음피해가 없고, 사전 프로그래밍된 패턴으로 해당하는 농지에만 선택적으로 음향에 다양한 패턴을 주어 방출하는 시스템을 개발하였다. 방출되는 음향은 기존 연구에서 확인된 유해조류의 최상위 맹금류인 매의 울음소리를 이용한다.

2. Directional Sound Systems

지향성 사운드 시스템은 넓은 영역에서 특정 방향으로 사운드를 전송하는 수 있는 장치를 의미한다. 기존 사운드 시스템은 플라스틱 콘 모양의 넓은 원호로 음파를 넓은 영역으로 퍼뜨리며 스피커의 출력은 전류 형태의 입력에 비례하여 많은 에너지가 공급될수록 더 많은 에너지를 사운드로 펌핑할 수 있다. 반면, 지향성 사운드 시스템은 소리 전달을 위해 초음파를 사용한다. 초음파는 Fig. 3과 같이 조류의 가청 주파수인 20Khz 이상의 주파수 범위를 가지며 회절 없이 한 방향으로 이동하므로 방향성이 매우 높은 특징을 가진다. 이를 이용하여 지향성 사운드 시스템은 가청 사운드 주파수를 초음파 음파로 변조하여 인코딩하게 하게 된다. 그리고 변조

된 사운드 주파수는 지향성 사운드 시스템에서 좁은 빔 형태로 이동하게 되어 장거리에 걸쳐 사운드를 전송할 수 있다.

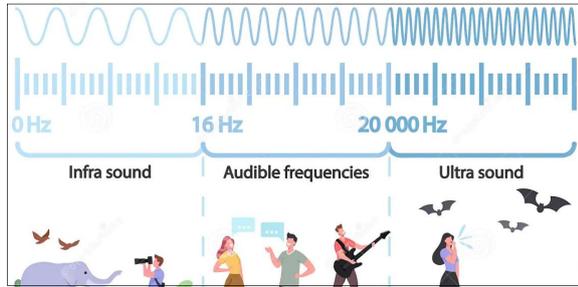


Fig. 3. Range of Sound Frequencies

지향성 사운드 시스템은 PAA(Parametric Acoustic Array)의 원리[12]를 활용하는데, 반송파와 변조 기술을 통해 높은 초음파 빔을 방출하는 방식이다. 입력 신호는 초음파 주파수를 통해 혼합되고 서로 다른 파장의 두 주파수를 결합하는 과정을 거친다. PAA는 지향성이 높은 초음파 빔을 방출하여 생성되는데, 반송파는 높은 음압 레벨에서 공기의 비선형성으로 인해 초음파 빔의 다른 스펙트럼 요소와 상호 작용하고 초음파 빔을 따라 새로운 스펙트럼 요소가 생성된다. 이러한 2차 파동은 반송파와 사이드밴드 간의 차이와 관련된 가청 스펙트럼 요소가 포함되어 있다. 공기의 비선형성은 높은 주파수에서 높은 흡수 계수로 인해 빠르게 흡수되는 더 높은 비가청 주파수를 생성하여 초음파 소스는 음원의 가상 배열 역할을 하는 초음파 빔을 Fig. 4와 같이 생성한다.

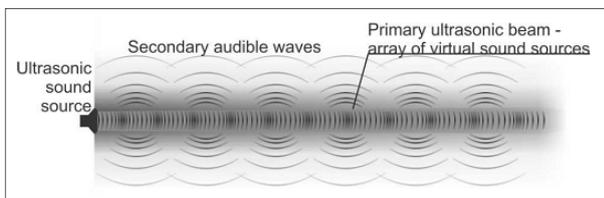


Fig. 4. Output PAA of Directional Sound System

지향성 사운드 시스템의 가장 큰 장점은 출력 오디오 신호의 범위를 제어 할 수 있다는 것이다. Fig. 5와 같이 지향성 스피커를 사용하면 제한된 지역이나 범위, 특정 대상에 국한적인 음파를 전송할 수 있게 된다.

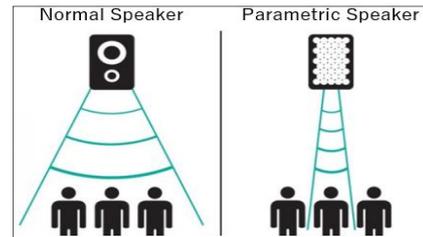


Fig. 5. Normal vs Parametric Speaker

지향성 사운드 시스템은 일반적으로 출력장치와 변조기, 발진기로 구성되며 음향 출력장치에서 보내는 신호를 변조기를 이용하여 초음파 주파수인 반송파와 합성한다. 즉, Fig. 6의 C와 같이 정보가 포함된 초음파로 변조되어 D와 같이 초음파는 지향적 원거리 전송 역할을 담당하고 실제 전달되는 정보는 A의 실제 신호만 전달되게 된다.

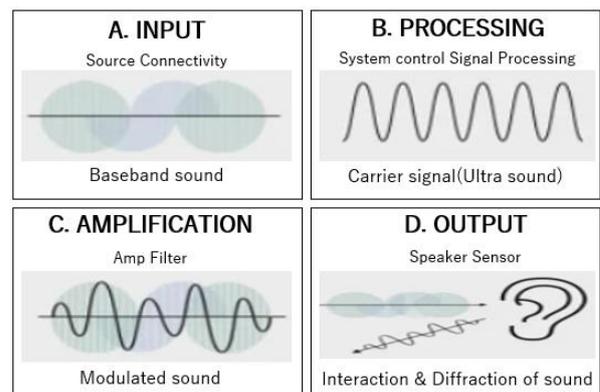


Fig. 6. Directional Speaker Wavelength

III. Design & Implementation

1. Design of Systems

본 논문에서 제안하는 시스템은 크게 두 영역으로 구분되는데 지향성 스피커를 거치할 수 있는 높낮이 및 방향성 제어가 가능한 거치대와 조류의 학습을 최소화할 수 있는 트래킹 패턴을 적용하는 것이며 Fig. 7은 전체적인 구조도를 보인 것이다. 거치 구동 디바이스에서 가장 중요한 요소는 180도 이상의 회전각(Swivel)과 상하 경사 조절(Tilt)이 가능하게 설계되어야 한다. 유해조류의 종류에 따라 비행고도가 다르고 대부분의 농작물 생산 농지가 개방된 공간에 배치되어 있기에 구동 디바이스의 자유로운 움직임은 매우 중요한 요소이다. Fig. 7의 마이크로 컨트롤러의 첫 번째 임무가 Swivel 모터와 Tilt 모터를 제어하는 것이다. 이는 현재 각도 센서에서 인지된 방향성을 매 동작시 갱신하여 최신의 방향성을 가지도록 설계되었다.

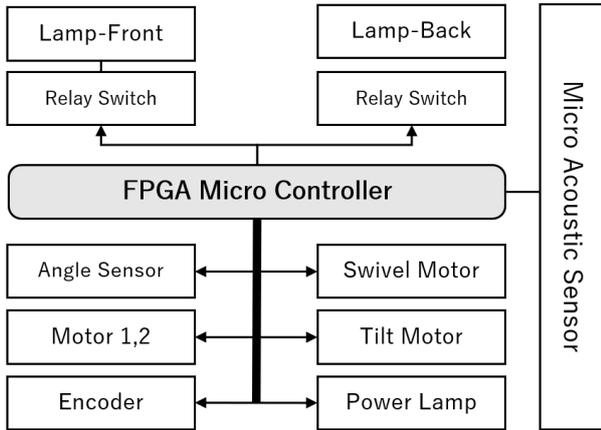


Fig. 7. Architecture Diagram

거치 구동 디바이스의 메인 프레임은 Fig. 8과 같이 일정한 하중을 가지는 구동체 및 지향성 스피커의 구동시 안정적인 구조를 가지기 위해 강성이 있는 용접 구조물로 설계되었다.

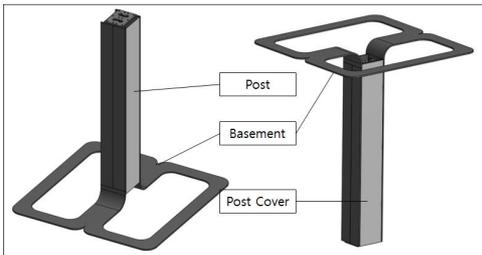


Fig. 8. Structure of the main frame

지향성 스피커의 구조설계는 스피커의 무게를 감안하여 무게 중심부에 브라켓을 고정하여 회전에 따른 편하중을 최소화하였고 Tilting 체결부와 결합이 용이하도록 Fig. 9와 같이 하부구조를 설계하였다. 초기 설계에서는 Fig. 9의 왼쪽과 같이 하부구조를 단일요소로 설계하였으나 Tilt 하중을 고려한 감속비의 상향, Swivel 각도 확보, 스피커 자중을 고려한 강성, 지지 프레임의 안정성을 고려하여 Fig. 9의 오른쪽과 같이 설계를 변경하였다.

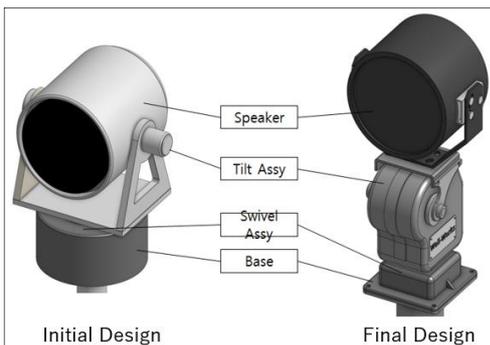


Fig. 9. Structural design of directional speaker

Tilt 및 Swivel 유닛의 상세한 설계는 Fig. 10에서 보이고 있다. 스피커 하중을 고려하여 기어 박스의 감속비를 설정할 수 있도록 하였고 안정적인 하중 지지를 위해 Swivel 기어 박스를 하단에 배치하였다. 또한 원활한 Tilting 동작을 위한 최적 외곽형상을 구조해석을 거쳐 안정화와 내구성을 중점으로 설계하였다.

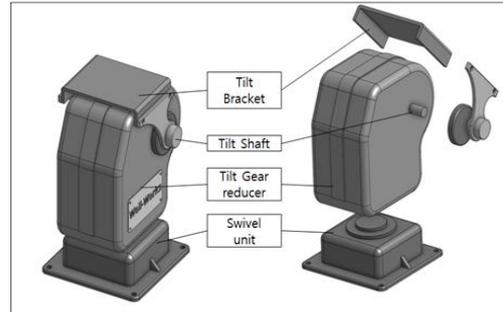


Fig. 10. Design of Tilt and Swivel Unit

스피커와 하부 지지대를 체결하는 브라켓의 구조는 Fig. 11에서 보이고 있으며 기어 감속비 선정 및 관성에 대한 기구의 강성 유지와 방향 조절 기능을 가지는 케이스의 일체화 및 편하중에 견딜 수 있도록 설계하였다.

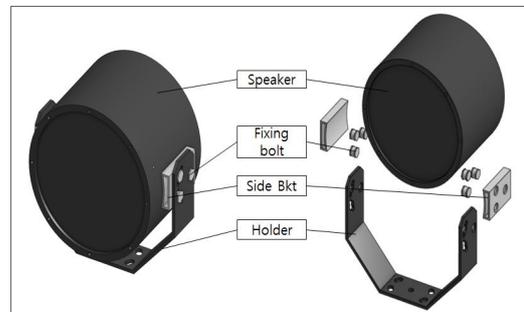


Fig. 11. Structure of the Bracket

유해 조류 퇴치를 위해 일반적으로 무지향성 스피커를 사용하지만 Fig. 12와 같이 무지향 스피커의 파형 특성상 음원 발생기 주변에 불필요한 소음으로 인하여 다수의 민원이 발생하고 있다. 본 논문에서는 지향성 스피커를 활용하여 필요 구역과 방향으로만 선택적 방출이 가능한 시스템을 구현한다.

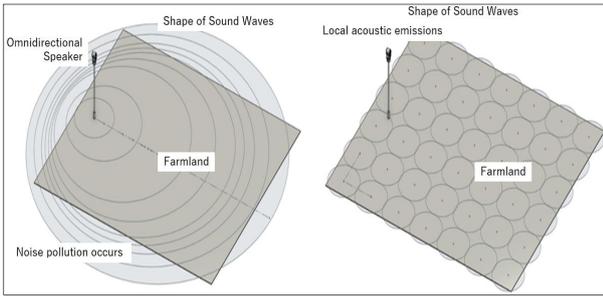


Fig. 12. Comparison of sound wave patterns between Omnidirectional and Directional speakers

또한, Fig. 13과 같이 음향을 다양한 패턴으로 방출하여 유해조류의 패턴 인지의 저하시켜 정기적인 퇴치 효과를 볼 수 있게 구성하였다.

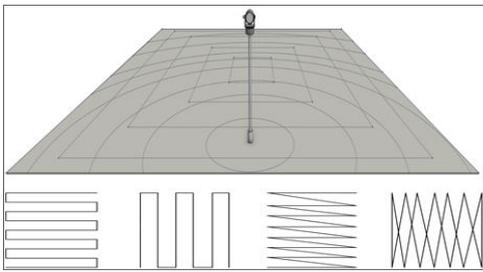


Fig. 13. Various sound patterns

마지막으로 Fig. 14는 지지대의 높낮이를 가변적으로 변화시킬 수 있도록 설계하여 농작물의 크기나 농지의 넓이에 따라 범용적으로 적용할 수 있도록 하였다.

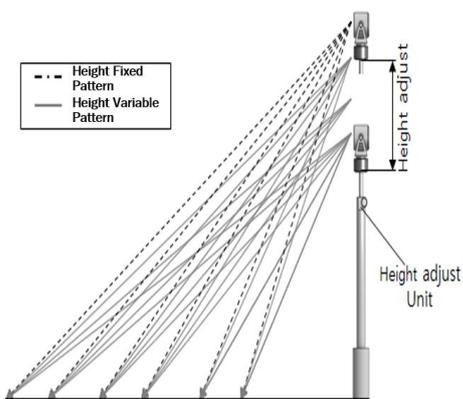


Fig. 14. Change in Radiation Distance According to Height Adjustment

2. Implementation of Systems

본 연구에서 사용된 지향성 스피커는 BOLD 사의 EX-880M모델로 최대 1.5km거리의 가청자에게 소리를 전달할 수 있고 저전력 전용 Class-D Amplifier를 포함하고 있다. 세부 요구요소는 Table 2와 같다.

Table 2. Elements of Directional Speakers

Items	Description
Max. Peak Output	SPL: 141dB 1m, C-Weighted
Freq. Response	350Hz - 7.0Khz
Amplifier	CLASS-D(RMS 300W)
Operating Temp.	+50°C ~ -35°C
Weight	8.7kg

구동 디바이스의 실제 구현 시에는 Tilt는 상하 45도, Swivel 회전각은 180°로 구현하였으나, 각도의 변화에 따른 한계 체크가 되지 않아 스피커의 헤드가 범위를 벗어나는 문제가 발생하였다. 이를 보완하기 위하여 각각 한계 각도를 센싱할 수 있는 센서(Angle Sensor)를 부착하여 각도 조정시 한계값을 체크하도록 구현하였다. Fig. 15의 A는 스피커의 회전각이 좌우 90도로 정상적으로 작동하는 것을 보인 예이며, B는 상향 Tilt와 하향 Tilt가 각각 45도 이상 동작하는 것을 보인 것이다. 또한 C는 트래킹 패턴의 변화에 따라 스피커의 Tilt와 Swivel 이 시나리오에 따라 변화하는 것을 보이고 있다.

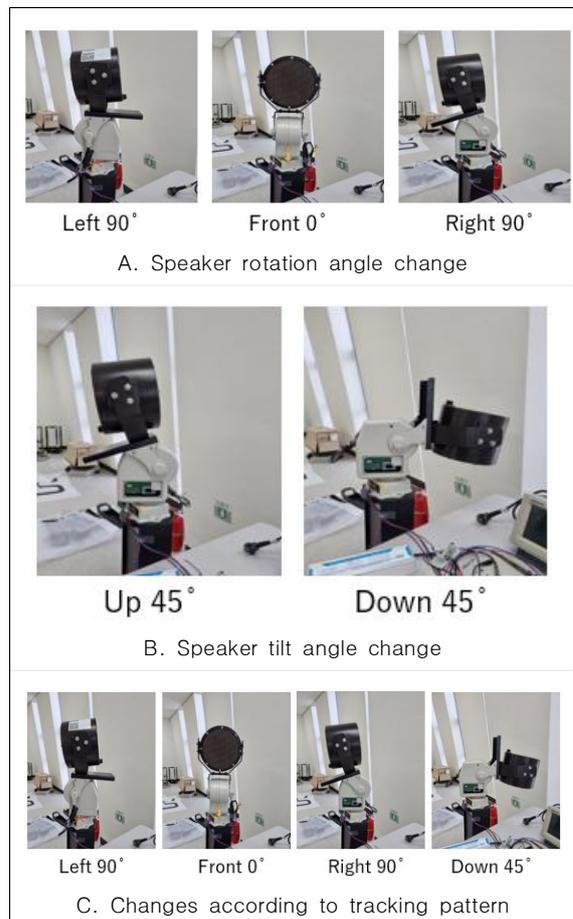


Fig. 15. Check the operation of the implemented system

스캐닝 패턴은 동일한 패턴의 소리 방출에 대해 유해조류의 학습으로 인한 성능저하를 최소화하기 위하여 Fig. 16과 같이 다양한 패턴을 랜덤하게 주사한다. 주사를 위한 각도 조절은 파이썬 코드로 구성되며 각 모터에 방향이 전달된다.

```

pi@raspberrypi:~/mic_array
The programs included with the Debian GNU/Linux system
the exact distribution terms for each program are described
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to
permitted by applicable law.
last login: Thu Dec 2 20:07:33 2021 from 192.168.0.4
pi@raspberrypi:~$ cd mic_array
pi@raspberrypi:~/mic_array$ ./rotate.sh 10
0x02 :
cmd.verbose :1
cmd.delay :1111110
cmd.count :1
cmd.len :7
cmd.baudrate :2400
cmd.device :/dev/ttyUSB0
cmd.message :FF 01 00 02 3F 3F 01
0: ff 01 00 02 3f 3f 01
CLOSE..!
cmd.verbose :1
cmd.delay :1
cmd.count :1
cmd.len :7
cmd.baudrate :2400
cmd.device :/dev/ttyUSB0
cmd.message :FF 01 00 00 00 00 01
0: ff 01 00 00 00 00 01
CLOSE..!
P1: ./tilt.sh
10, ./swivel.sh
10, ./tilt.sh -10...
P2: ./tilt.sh
30, ./swivel.s
h 10, ./tilt.sh
-30...
P3: ./swivel.sh
10, (./tilt.sh -
10,./ 10)...
    
```

Fig. 16. Operation of Scanning Pattern using Python

IV. Experiments

구현된 지향성 스피커의 성능 검증 결과는 Table 3과 같다. 음압레벨 및 생성 주파수는 요구성능 범위내의 결과를 보여 제안하는 조류 퇴치를 위한 사운드 생성으로 문제가 없음을 확인하였고 최대 1.5Km까지 소리를 송출할 수 있다.

Table 3. Performance of directional speakers

Items	Description
Sound Pressure Level	141dB(@1m)
Frequency	320Hz ~ 7.0kHz
Tilt Angle	45° ~ -45°
Swivel Angle	90° ~ -90°

구현된 지향성 스피커의 거리에 따른 음압레벨의 추이는 Fig. 17과 같다. 이론적으로 500m에서 80dB로 소리를 들을 수 있다고 하였으나, 실제 74dB로 측정되었다. 그리고 1.5Km 지점에서는 60dB의 음압레벨이 측정되었다. 갑판위 소형 선박의 엔진소리가 70~90dB이라는 점을 감안하면 유해조류를 퇴치하기 위한 음압레벨로는 양호함을 확인하였다.

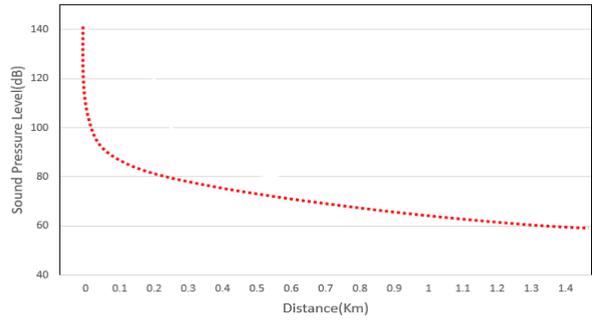


Fig. 17. Sound Pressure Level According to Distance

또한, 소리의 지향성 측정에서도 Fig. 18과 같이 주파수 높아질수록 앞으로 나가는 소리가 많아지고 주변의 소음을 방지할 수 있음을 확인할 수이다.

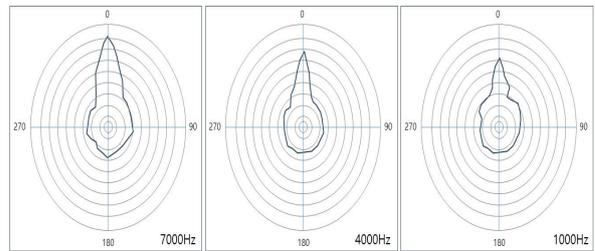


Fig. 18. Polar Pattern of Directional Speaker

V. Conclusions

본 논문은 지향성 사운드를 이용하여 유해조류를 퇴치하는 시스템을 제안하였다. 기존의 무지향성 사운드 시스템은 조류 퇴치 외에 주변의 소음공해로 인한 많은 문제점을 유발하였다. 이를 해결하고자 소음공해를 최소화하고 자유로운 방향으로 음향을 방출할 수 있는 구동 디바이스를 제안하였다. 또한, 조류의 학습으로 인한 효과성 저하를 예방하기 위하여 음향의 방출 패턴을 다양화 하여 지속적인 사용에도 효과를 유지할 수 있도록 스캐닝 패턴을 적용하였다. 시스템의 유효성을 검증하는 현장에서 사운드가 방출되고 있음에도 100m 주변의 주민들이 인지하기 어려울 정도의 유효한 결과를 보였다. 향후, 딥러닝 모델을 이용하여 조류의 종류에 따른 스캐닝 패턴과 원격에서 동작을 제어할 수 있도록 기능을 추가하여 중앙 관제를 통한 일괄적인 동작과 제어가 이루어 질 수 있도록 연구를 지속할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Crop Damage Caused by Harmful Animals, <https://m.khan.co.kr/economy/market-trend/article/202309210815001#c2b>
- [2] Koyuncu, T., Lule, F., "Design, Manufacture and Test of a Solar Powered Audible Bird Scarer," *International Journal of Agriculture and Biosystems Engineering*, Vol. 3(6), pp.345-347, Jan. 2009. DOI : 10.5281/zenodo.1084262
- [3] Muminov, A., Jeon, Y. C., Na, D & Lee, C., "Development of a solar powered bird repeller system with effective bird scarer sounds," 2017 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) pp. 1-4, 2017.
- [4] Wang, Z., Griffin, A.S., Lucas, A., & Wong, K.C., " Psychological warfare in vineyard: Using drones and bird psychology to control bird damage to wine grapes," *Crop Protection*, 1-23, 2019. DOI : 10.1016/j.cropro.2019.02.025.
- [5] Hamed, A. R., W. F. El-Metwally and M. E. El-Iraqi, "Utilization Sonic Waves for Birds Controlling in Crops Field," *J. of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Mansoura Univ.*, Vol. 12(12), pp. 919 - 927, 2021. DOI : 10.21608/jssae.2022.113052.1043
- [6] Oluwole Arowolo, Adefemi Adekunle and Joshua Ade-Omowaye, "A Real Time Image Processing Bird Repellent System Using Raspberry Pi," *Journal of Engineering and Technology (FUOYEJET)*, Vol. 5, Issue 2, September 2020. DOI : 10.46792/fuoyejt.v5i2.496
- [7] Bridge ES, Wilhelm J, et al., "An Arduino-Based RFID Platform for Animal Research," *Front. Ecol. Evol.* 7:257, 2019. DOI : 10.3389/fevo.2019.00257
- [8] Ferreira AC, Silva LR, Renna F, et al., "Deep learning-based methods for individual recognition in small birds," *Methods Ecol Evol.* 2020;11:1072-1085, DOI : 10.1111/20 41-210X.13436
- [9] Yu, Z., Ma, Y., Zhou, Y. et al. "A binocular stereo visual servo system for bird repellent in substations," *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 82, pp. 29353-29377, Feb. 2023. DOI : 10.1007/s11042-023-14667-9
- [10] PushpaLakshmi, R. "Development of an IoT-Based Bird Control System Using a Hybrid Deep Learning CNN-SVM Classifier Model," *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, Vol. 99, pp. 191-2000, Feb. 2022. DOI : 10.1007/978-981-16-7182-1_16
- [11] M-J Bae, J-S Yoon and I-S Ahn, "Study On Bird Strike Prevention by Using Cries of falcon in the birds of prey," *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, Vol. 24(1), pp. 287-288, 2016.
- [12] Mei, S., Xu, H., Hu, Y., Alkahtani, M., Wang, Y., "The Parametric Array Speaker: A Review," *Conference Proceedings of 2022 2nd International Joint Conference on Energy, Electrical and Power Engineering. CoEEPE 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol 1060, pp. 1254-1271, Aug. 2023. DOI : 10.1007/978-981-99-4334-0_149

Authors



Hwa-La Hur received a M.S. degree in Computer Engineering from Dong-a University in 1992, a Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Pusan National University in 2001.

He is currently a Professor in the Department of Aeronautical Software Engineering, KyungWoon University. He is interested in Time-Dealy, Model predictive control, Remote control robot.



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, and the M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002 and

2007, respectively. He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Healthcare, and DTx(Digital Therapeutics).