

충격체의 진동 및 충격량 분석을 이용한 사격 통제장비 개발

李東熙[†],李宗憲*,尹珠嫻*,朴魯植**

Development of Fire Control System with an Analysis of Impact Vibration and Impact Energy

Dong-Hee Lee, Jong-Heon Lee, Ju-Houc Youn, and Noh-Sik Park

요 약

본 논문에서는 기존의 사격통제장비를 대신하여, 명중탄과 피탄의 충격파형과 충격량을 검출하여 제어기 내부에 저장된 명중탄의 데이터와 상호 비교하여 표적기의 충격에 대한 명중 여부를 자체적으로 구분하는 알고리즘과 무선통신을 이용한 신형 사격통제장비의 개발내용을 기술하였다. 본 논문에서 적용한 명중탄 및 피탄의 구분은 타겟을 통과하는 명중된 관통탄과 그렇지 않은 경우의 타겟이 가해지는 충격량의 차이 및 변화로부터 명중탄의 범위를 산정하고, 이를 통하여 사격후의 결과를 판단하는 방식이다. 또한, 기존의 사격장비에서 적용하고 있는 유선통신으로 인한 배선 및 시설 노후화에 대한 문제를 Zigbee 무선 통신을 활용하여 시스템에 적용함으로써, 보다 간단한 사격통제장비의 개발이 가능하였다. 제안된 시스템은 실제 사격시험을 통하여 그 성능을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper presents a development of a fire control system with an intelligent judgment algorithm of hit or not. The presented algorithm analyzes an impact energy and impact signals according to impact materials. And the detected signals are used to judge the correct hit or not. Furthermore, Zigbee wireless communication technology is applied in the developed fire control system. The wireless communication technology can supply a simple installation of the practical system and free from ageing of communication wire. The presented system is verified in the practical fire test, and the results show the effectiveness of the development system.

Key Words : Fire control system, Impact energy, Intelligent judgment algorithm

1. 서 론

충격이 있는 시스템에서 충격의 종류에 따라 정확한 충격을 구분하는 장치는 군용장비 및 산업용 장치에 많이 적용되고 있다^{1,2,3} 특히, 자동화 사격장의 경우 총탄이 표적지에 충돌하는 형태는 명중탄 및 피탄에 의한 도비탄 등이 발생할 수 있고, 정확한 충격을 판

단하지 못하는 경우에는 통계자료에 오류가 발생하는 등의 문제가 나타날 수 있다. 또한, 충격의 형태를 정확하게 판단하지 못하는 경우에는 피탄에 의한 도비탄에 의해서도 충격을 인식하는 등, 정확한 통계를 분석하는데 어려움을 가진다.

또한, 대부분의 장비에서는 현재 유선통신을 적용하여 시리얼 데이터를 송수신하고 있으나, 이러한 유선망은 야외에 노출되어 있고, 외부의 온도 및 환경변화에 따라 유선망의 노후로 인한 교체 및 고장이 빈번하게 발생하고 있다.

본 논문에서는 충격물의 다양한 충돌 경우에 대한 충격량 및 충격파의 분석을 통하여, 충격의 종류를 구분하고, 정확한 충격을 판단하는 알고리즘을 제안하고

본 논문은 편집위원회에서 우수기술논문으로 추천됨
[†]교신저자 : 정회원, 경성대 전기전자메카트로닉스 조교수
 E-mail : leedh@ks.ac.kr

*정회원, 경성대 메카트로닉스공학 석사과정

**정회원, 세움테크 대표

접수일자 : 2010. 8. 27

1차 심사 : 2010. 9. 29

심사완료 : 2010. 11. 5

이러한 알고리즘을 적용한 시스템을 개발하였다. 특히, Zigbee에 의한 무선통신과 유선통신을 중복으로 사용하여, 장치의 신뢰성을 높였다. 제안된 시스템은 Zigbee 방식의 무선통신을 기본으로 사용하고, 일정시간에 대한 무선통신 데이터가 송수신되지 않는 경우에 유선통신으로 전환되어 사용되도록 설계되었다.

일반적으로 충격물이 일정한 경우, 충격물의 충격 에너지에 대한 충격파는 일정한 파형을 가지는 형태로 나타나게 되며, 파형의 고유형상에 따라 충격의 상태를 확인할 수 있다. 충격물이, 충격이 가해지는 형태에 따라 충격의 파형은 다소 변형이 발생하지만 일정한 범위내에서 변형이 나타나게 된다. 만약 충격물이 달라지거나 충돌 에너지가 변경되면, 충돌에 따른 충격파는 변경되며, 다르게 나타나게 된다.

자동화 사격장의 경우, 충격물은 총구에서 발사된 총탄으로 그 에너지는 사격거리에 따라 다소 상이하게 나타나지만, 표적지에 충돌하는 충돌에너지는 거의 일정한 범위내에서 발생하게 되며, 만약 피탄에 의해 주변의 자갈 및 모래등이 표적지에 충격을 주는 경우에는 충격파는 달라지게 된다^[4].

기존의 시스템의 경우, 압전센서에 의해 충격의 여부만을 판단하기 때문에, 정확한 충돌을 파악하기 어렵고 피탄물에 의한 충격에 의해서도 충돌로 판단하게 된다.

본 논문에서는 충격물이 일정한 충돌 에너지를 가지고 충돌하는 경우의 표준 파형 범위를 선정하고, 이에 따라서 그 파형을 분석하여 정확한 충돌물의 충돌 및 다른 충돌의 경우를 판단하는 시스템을 설계하였다.

2. 사격 통제 시스템

본 논문에서 설계된 사격통제 시스템은 그림 1과 같다. 그림 1(a)에 보이는 바와 같이, 사격 통제기는 중앙 통제실의 컴퓨터에서 통제 신호를 발생하며, 통제 신호는 Zigbee의 무선모듈을 통해, 각 표적장치의 Zigbee 무선모듈로 신호를 전송하여 제어한다. Zigbee 모듈은 야외에서 300[M] 이상의 전송거리를 가지는 것으로, 유선통신을 사용하는 경우의 배선 작업등으로 인한 문제를 해결하기 위해서 적용되었다. 그림 1(b)는 각 표적 장치의 구성을 나타내고 있다. 표적 장치는 표적을 고정하는 장치와 상하로 구동하기 위한 전동기 및 전동기 드라이브로 구성되어 있으며, 표적지의 진동을 검출하기 위한 가속도 센서가 표적지의 외함에 부착되어 있다. 표적지의 진동은 가속도 센서를 통하

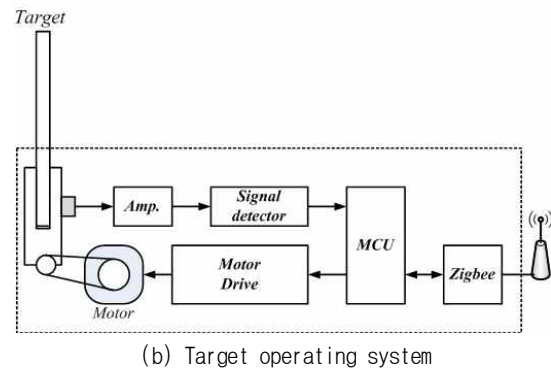
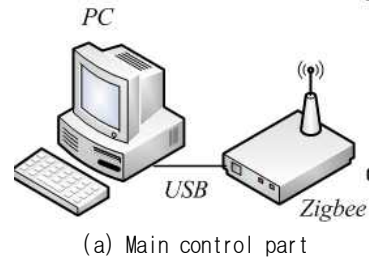


그림 1 사격통제 장치의 구성
Fig. 1 Configurations of fire control system

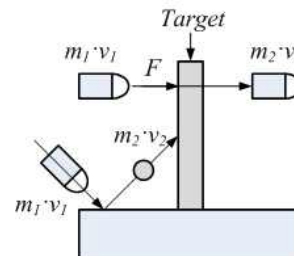


그림 2 표적 장치의 충격
Fig. 2 Impact of shooting target

여 내부 회로의 증폭기를 통하여 증폭되고, 증폭된 신호는 제안된 회로를 통하여 마이크로프로세서에서 신호를 처리하도록 설계되어 있다.

신호 검출부에서는 명중탄 및 피탄과 도비탄의 충격량에 의한 신호를 분석하여 명중 상태를 판단하게 되고, 최종 결과는 다시 Zigbee의 무선 모듈을 통하여 중앙 통제실로 전송하도록 설계되었다.

3. 명중탄 검출 알고리즘

그림 2는 실제 표적장치에서 충격물이 관통하는 경우와 그렇지 않은 경우의 충격에 대한 모형을 도식적

으로 나타내고 있다. 그림 2에서 m_x 는 충격물의 질량을 나타내고, v_x 는 충격물의 속도를 나타내고 있다. 충격물은 충격대상에 충격을 가한 후 질량의 변화가 발생하거나, 또는 충격 에너지를 타겟에 전달하고 그 속도가 변화하게 된다.

충격물이 충격대상에 가하는 충격량은 다음과 같이 표현될 수 있다^[4].

$$I = F \cdot \Delta t \tag{1}$$

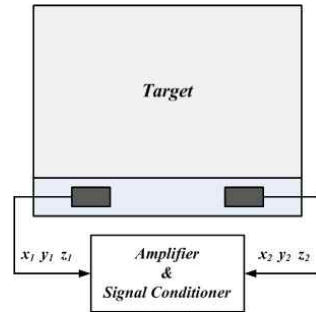
$$I = m_2 \cdot v_2 - m_1 \cdot v_1 \tag{2}$$

$$F = \frac{m_2 \cdot v_2 - m_1 \cdot v_1}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \tag{3}$$

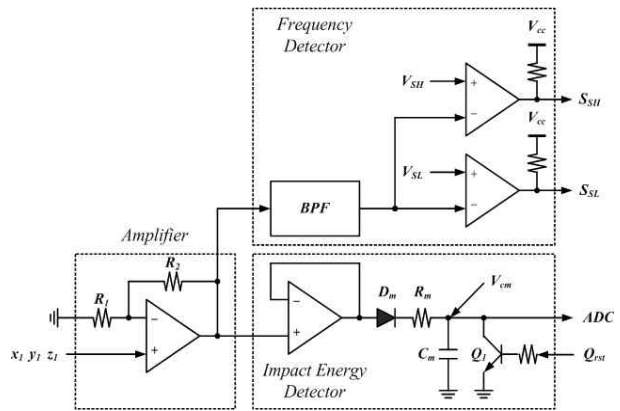
실제, 사격의 경우에 관통하여 지나가는 경우에는 충격물의 질량은 충격 전인 m_1 과 충격 후인 m_2 가 동일하며, 충격에너지를 타겟에 전달하고 지나가게 되며, 피탄의 경우에는 충격물이 모래 또는 자갈 등으로 변화하거나, 충격물이 바닥에 맞으면서 질량의 변화가 발생한다.

따라서, 본 논문에서는 일정한 충격에너지에 의한 가속도 센서의 진동주파수와 진동량 및 충격에너지를 검출하고, 이를 통하여 명중탄이 관통한 경우와 그렇지 않은 경우를 판단하는 알고리즘을 적용하였다. 그림 3은 명중탄을 검출하기 위한 시스템의 구성과 센서의 신호처리부를 나타내고 있다. 그림 3(b)에서 타겟에 전달된 충격에너지는 가속도 센서의 진동을 발생하고, 증폭회로는 센서신호를 증폭하며, 충격에너지 검출회로는 최초 충격이 발생한 시점부터 일정 시간동안의 충격에너지를 아날로그 신호로 검출하도록 설계된다. 또한, 명중탄과 피탄 및 도비탄의 충격량은 각각 다르게 나타나므로, 일정한 충격량에 대한 신호를 검출하기 위해서 대역통과 필터와 비교기를 통하여 높은 충격신호와 낮은 충격신호를 디지털로 검출하도록 설계된다.

그림 4는 제안된 명중탄 판별 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다. 먼저 사격통제부의 타겟 올림 신호에 따라 타겟을 구동하는 전동기를 구동시키고, 정위치에서 센서의 신호를 통하여 전동기를 정지하고, 브레이크를 통해 타겟을 고정시킨다. 이후부터 타겟의 명중탄 감지 알고리즘이 동작하게 된다. 타겟 대기시간은 사전에 무선으로 정해진 시간동안 대기하게 되며, 대기 시간동안에 충격에 의해 센서신호가 높은 충격신호를 감지하게 되면, 일정시간 후에 충격량을 마이크로



(a) Target and acceleration sensor



(b) Sensor signal conditioner

그림 3 시스템의 구성과 센서신호 처리부
Fig. 3 System configuration and sensor signal conditioner

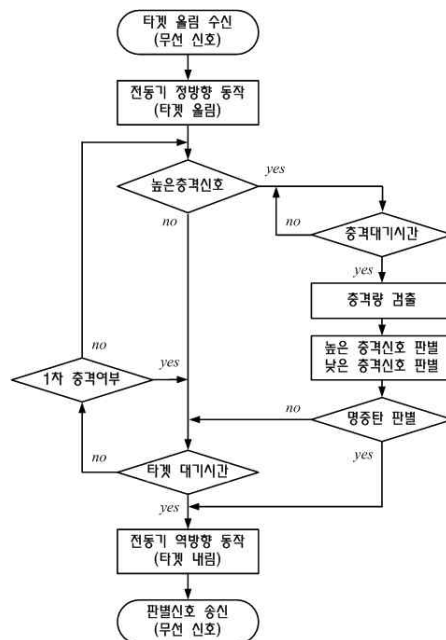


그림 4 명중탄 판별 알고리즘의 순서도
Fig. 4 Flowchart of the proposed algorithm



그림 5 사격 통제부 화면
Fig. 5 Fire control system



그림 6 사격 타겟 구동 장비
Fig. 6 Target operating system

프로세서에서 ADC로 검출한다. 또한 마이크로프로세서의 외부 인터럽터를 통하여 높은 충격신호와 낮은 충격신호의 펄스열을 검출하고, 펄스열의 진동이 끝난 후에 각각의 상태를 비교하여 명중탄을 판별하게 된다. 명중탄의 판별은 높은 충격신호의 펄스유지 시간과 낮은 충격신호의 연속적인 펄스유지 시간 및 아날로그 충격량의 세 가지 기준이 모두 만족하는 경우에 명중탄으로 판별하게 된다. 만약, 명중탄인 경우에는 타겟을 내리는 동작을 수행하며, 피탄인 경우에는 타겟 대기시간동안 대기한 후 브레이크를 풀고, 전동기를 역방향으로 내리게 된다. 만약 1차 충격이 가해지지 않으면, 타겟 대기시간동안 충격을 대기하고, 1차 충격이 있었는데, 피탄으로 판정되는 경우에는 충격대기 없이 타겟 대기시간 후에 전동기를 역방향으로 구동하게 된다.

4. 실험결과

본 논문에서 제안된 명중탄 구분 알고리즘을 포함한 사격통제장비의 성능을 검증하기 위하여 실제 시스템을 설계하고 제작하여 실 사격 시험을 수행하였다. 사격 통제기의 GUI는 3열 8사료로 구성되어 있고, 자동

통제 및 수동통제가 가능하도록 설계되어 있다. 또한, 각 사격자의 사격 통계는 명중률, 명중탄의 수 및 명중 시간이 명시되어 통계자료로 처리되도록 구성되어 있으며, 통계자료는 엑셀프로그램의 포맷으로 저장된다. 정확한 통계 자료의 처리를 위하여, 기존에 저장되어 있던 통계자료의 동일한 사격자에 대하여 과거의 사격 기록을 저장함으로써, 사격 시기에 따른 사격 능력의 추이를 판단할 수 있도록 구성하였다. 또한, 사격 통제는 마우스와 단축키를 사용하여 사용자가 좀 더 손쉽게 접근할 수 있도록 구성되어 있다.

실험에서 Zigbee의 통신 네트워크는 사격 통제부는 코디네이터로 설정하고, 각 타겟 구동장치는 라우터로 설정하여, 코디네이터에서 송신된 신호가 라우터에서 반복적으로 데이터의 수신이 이루어지도록 하였으며, 한 사격장에 대해서는 동일한 팬아이디를 가지도록 하였다.

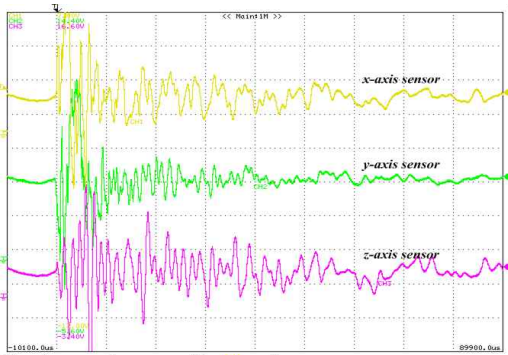
그림 5와 그림 6은 사격 장비의 실제 모델을 나타내고 있다. 실제 사격은 100, 200 및 250[M] 사거리에 대하여 실제 사격 타겟을 대상으로 실시하였으며, 1차 시험에서는 명중탄과 각 피탄의 경우에 대한 센서의 응답특성을 검출하였다.

그림 7은 실제 사격에 대한 센서의 응답특성을 나타내고 있다. 그림 7의 실제 사격에 따른 가속도 센서의 응답특성은 명중탄일 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 충격량의 차이로 인하여 진폭 및 진동의 시간이 다르게 나타남을 보이고 있다. 따라서, 센서의 응답특성을 분석하여 충격 에너지 및 충격 크기를 디지털 신호로 변화시켜 명중탄의 유무를 판단할 수 있음을 보이고 있다.

그림 8, 9 및 그림 10은 센서신호를 충격레벨 및 충격 에너지로 구분한 경우의 실험 결과를 나타내고 있다. 그림 8의 실험결과에서 명중탄의 경우 낮은 충격신호의 진동이 15 - 40[ms] 이내로 측정되고 있으며, 충격 에너지는 최초 충격 후 10[ms] 동안 일정하게 유지되는 것을 확인 할 수 있다. 명중탄이 아닌 그림 9와 그림 10의 경우에는 충격물의 종류에 따라 높은 충격신호가 발생하지 않거나, 낮은 충격신호가 길게 발생하고 있으며, 충격 에너지의 크기도 일정하지 않음을 확인 할 수 있다.

5. 결 론

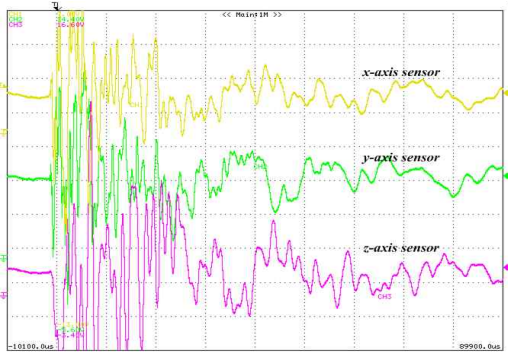
본 논문에서는 충격탄의 관통 또는 도비탄에 의한 충격량의 차이로 인한 진동센서의 증폭신호로부터, 진동의 시간과 충격에너지를 분석하여 명중탄과 피탄을



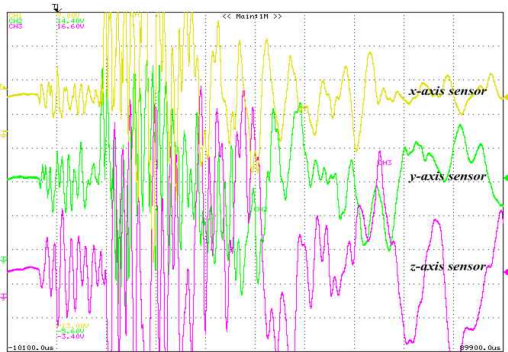
(a) 명중탄에 의한 각 축 센서의 증폭 신호



(b) 모래 등의 비산에 의한 각 축 센서의 증폭 신호

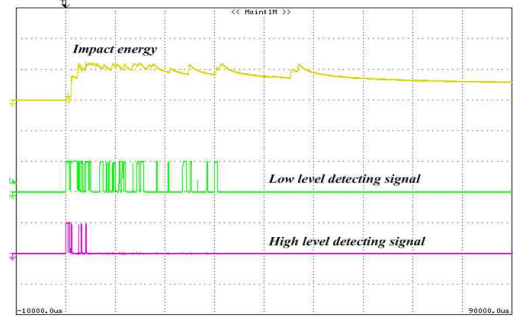


(c) 자갈 등의 비산에 의한 각 축 센서의 증폭 신호

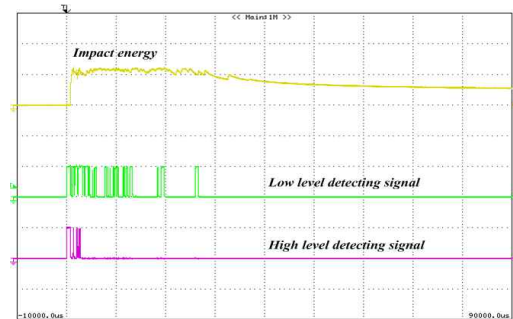


(d) 다중 충격물에 의한 신호

그림 7 충격물에 따른 센서의 충격 신호(2[V/div], 10[ms/div])
Fig. 7 Impact signals according to the impact materials

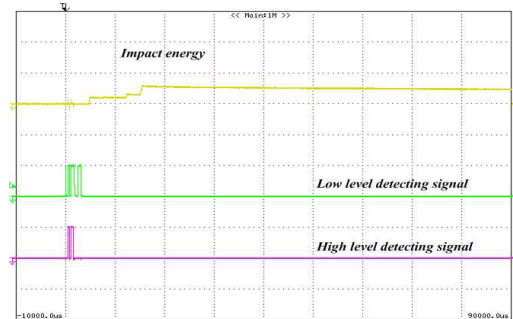


(a) 명중 관통탄에 의한 검출신호(1)

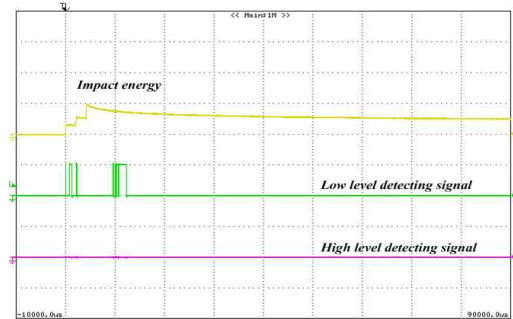


(b) 명중 관통탄에 의한 검출신호(2)

그림 8 명중탄인 경우의 검출 신호(10[ms/div])
Fig. 8 Detected signals of a hit case

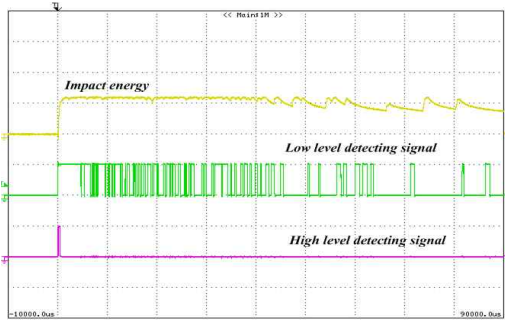


(a) 모래 등에 의한 피탄 검출신호(1)

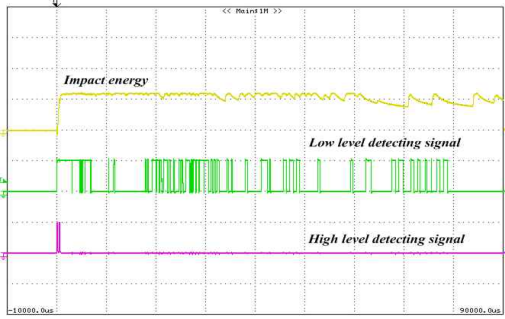


(b) 모래 등에 의한 피탄 검출신호(2)

그림 9 작은 충격에 의한 피탄 검출 신호(10[ms/div])
Fig. 9 Detected signals of a small impact case



(a) 자갈 등에 의한 피탄 검출신호(1)



(b) 자갈 등에 의한 피탄 검출신호(2)

그림 10 큰 충격에 의한 피탄 검출 신호(10[ms/div])
Fig. 10 Detected signals of a high impact case

구분하는 알고리즘을 내장한 사격통제 시스템을 개발하였다. 개발된 사격통제 시스템은 소형의 마이크로프로세서와 신호처리 회로를 통하여 타겟에 부착된 진동 센서로부터 측정된 충격신호를 처리하고, 충격신호의 진동레벨과 충격량으로부터 명중탄과 피탄의 상태를 구분하며, 처리된 신호는 무선통신을 통하여 중앙 통제기로 송신하도록 하였다.

사전에 측정된 충격신호의 분석을 통하여 명중탄과 피탄의 범위를 결정하였다. 충격신호는 높은 충격신호와 낮은 충격신호로 구분하여 디지털 신호로 변경하고, 충격신호는 아날로그 전압으로 변화하여 최초 충격후 일정시간이 지난 다음에 마이크로프로세서의 AD 컨버터로 입력하여 명중탄을 구분하도록 하였다. 제안된 사격통제 시스템은 실제 사격시험에서 99[%] 이상의 성능으로 피탄을 구분하였으며, Zigbee를 통한 무선신호는 250[M]의 사거리에서 안정적으로 데이터 통신이 가능하였음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 이태국, 임창균, 김강철, "영상처리 기반 모의 사격 표적 지 탄착점 추출", *Journal of Korean society for internet information*, Vol. 11, No. 1, pp. 117-128, 2010.

[2] 김재훈, 유준, "표적추적센서의 측정 바이어스 오차 보상에 의한 사격통제장치 성능 향상 기법", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 121-130, 2000.
[3] 광기호, "소형.저 전력 프로세서를 이용한 소화기 사격통제장치 주제어보드 설계기법 연구", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 8, No. 2, pp. 30-37, 2005.
[4] 한규칠, "사격효과측정 모델연구", *Journal of the Military Operations Research Society of Korea (MORS K)*, Vol. 3, No. 1, pp. 97-107, 1977.

저 자 소 개



이동희(李東熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2002년~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 메카트로닉스 공학과 조교수. 당 학회 국문지 편집위원.



이종헌(李宗憲)

1986년 4월 8일생. 2010년 경성대 메카트로닉스 공학과 졸업. 경성대 공학기술 연구소 연구원.



윤주혁(尹珠熾)

1985년 7월 30일생. 2010년 경성대 메카트로닉스공학과 졸업. 2010년~현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 재학(석사).



박노식(朴魯植)

1959년 9월 7일생. 2006년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 부경대 대학원 메카트로닉스공학과 졸업(공박). 세웅테크 대표.