

# ASRP/수락시험에서의 탄착 위치추정시스템 구현 : 지형 특성을 중심으로

정민철\*, 김일환\*\*

\*국방기술품질원

\*\*강원대학교

e-mail:herpress@naver.com

## Implementation of the impact location estimation system in ASRP/acceptance test : Focusing on topographic characteristics

Min-Cheol Jung\*, Il-Hwan Kim\*\*

\*Defense Agency for Technology and Quality

\*\*Kangwon University

### 요약

본 연구는 관측소와 탄착지의 특수한 지역의 특성을 고려하여 탄약의 폭발, 지면 충돌 등에 의해 발생하는 폭발음을 이용해 정확한 탄착 위치를 추정하고 시험의 전반적인 관측 능력을 향상시키며, 안개 등과 같은 환경적 제한요소를 제거, 시험을 원활하게 진행하는 것을 목적으로 하였다. 시험기관과 계측업무 담당자들은 각종 센서와 알고리즘을 이용하여 탄착점 추정을 연구해 왔었다. 하지만 지형의 특성에 따라 음원 전달 편차가 있다. 이를 위해 국방기술품질원에서 사용하고 있는 탄착지와 관측소를 바탕으로 본 연구에서 설계한 위치 추정 알고리즘을 적용하여 탄착 위치를 추정하고 지형의 특성을 고려하여 변수를 4가지 범주로 구분하였다. 지형의 특성에 따른 센서 설치거리 및 신호 데이터 처리를 고려하여 실 사격변수에 대한 검증을 실시하고 시스템을 구성하여 실 사격하고 탄착점의 위치를 추정하였으며 실제 탄착위치와 추정 탄착위치의 편차를 비교하고 특수한 지형에서의 탄착점 위치 추정 시스템을 구현하였다.

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 필요성

전투를 위한 주요 물자로 빼놓을 수가 없는 물자가 탄약이다. 탄약은 어떠한 상황에서도 안전성과 성능을 유지해야 한다. 하지만 탄약은 전투가 발생하기 전까지 계속 저장 상태로 있기 때문에 저장탄약의 신뢰성평가를 통해 탄약의 계속 저장여부를 확인할 필요가 있다. 이러한 업무가 바로 저장 탄약에 대한 신뢰성 평가(ASRP, Ammunition Stockpile Reliability Program)업무이다. ASRP 업무는 교육 및 전투용 탄약으로 비축, 운영하고 있는 저장탄약의 성능유지와 수명주기 판단을 위하여 주기적인 검사, 기능시험, 탄도성능시험, 저장분석시험을 실시하여 신뢰성, 사용가능성 및 안전성을 수리 통계적으로 분석 평가하여 계속 사용 여부, 개수, 폐기 등을 판단하고 수명 특성 체계를 연구하는 일련의 업무로 비단 각종 시험에서 얻은 결과뿐만 아니라 시험과정에서 획득한 탄약 개선 정보를 개발 및 양산단계로 환류하는 개념까지 포함하는 총괄적인 시스템이다. 이러한 ASRP 업무는 개발단계에서부터 폐기까지 전순기에 걸친 관리를 통해 국방 예산을 절감하고자하는 탄

약분야 총수명주기관리(TLCSM) 기법의 가장 대표적인 활동이라 할 수 있다[1].

국방기술품질원 국방신뢰성연구센터 종합시험단은 국방부 훈령(탄약 수명관리를 위한 신뢰성평가 업무)에 따라 저장 탄약에 대한 신뢰성 평가(ASRP)를 수행하고 있으며, 총포 탄약에 대한 품질보증 기능시험을 실시하고 있다. 품질보증 기능시험(이하 수락시험)은 하나의 완성탄을 만들기 위해 이를 구성하는 추진제, 추진장약, 점화약통, 탄체, 신관의 각 품목의 수락시험을 통과하고 구성품을 조립하여 완성탄의 수락시험을 치르게 된다. 수락시험의 합격/불합격 여부를 판단하는 여러 기준 및 절차서가 있으며, 그 중에는 탄착점을 확인하는 과정도 포함된다. 또한 모든 시험의 평가에서 안전이 확보되지 않을 경우 상당한 위험이 초래되기 때문에 시험 진행 과정에서 탄착지의 탄착 확인 여부가 확보되지 않을 경우 시험 진행이 제한될 수밖에 없다. 본 연구는 관측소와 탄착지의 특수한 지역의 특성을 고려하여 탄약의 폭발, 지면 충돌 등에 의해 발생하는 폭발음을 이용해 정확한 탄착 위치를 추정하고 시험의 전반적인 관측 능력을 향상시키며, 안개 등과 같은 환경적 제

한요소를 제거, 시험을 원활하게 진행하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 현재 국방기술품질원에서 사용하고 있는 탄착지를 바탕으로 본 연구에서 설계한 위치 추정 알고리즘을 적용하여 탄착의 위치를 추정하고 지형의 특성에 따른 센서 설치 및 신호 데이터 처리를 추가하여 실 사격을 실시하여 탄착점의 위치를 추정한다. 이는 기존 알고리즘의 방식에 현실적인 지형을 고려하여 더 정확한 데이터를 얻기 위함이다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 관련 연구 동향

시험기관과 계측 업무 담당자들은 각종 센서와 알고리즘을 이용하여 탄착점 추정을 연구해 왔다. 가속도 센서를 이용하여 지면에서의 충격파(진동) 전달 특성을 이용한 방법, Range Finder를 이용하는 방법, 도플러 레이더를 이용하는 방법 그리고 2개의 영상을 이용한 스테레오 비전 방법 등이 있다. 가속도 센서는 탄착지로 진입 할 수 없기에 지면을 통해 전파속도를 얻을 수가 없다. Range finder를 이용하는 방법은 운영하는 장비 운용자마다 오차가 발생할 수 있으며, 계측범위가 운용자가 바라보는 시야로 한정되어 있기 때문에 예상치 못한 탄착지역을 확인하기에는 부적합하다. 도플러 레이더를 이용하여 탄착지점을 확인하기 위해서는 초기 탄도부터 추적이 가능해야 정확한 탄착지 확인이 가능하지만, 군 사격훈련 탄과 장거리 포탄에 대하여 발사지점에서부터 탄착지점까지 도플러 레이더 장비를 운용하기는 현실적으로 어려운 실정이다. 영상을 이용한 스테레오 비전 방법은 운영에 많은 장비가 필요하고 사전에 주변 지형 실측 및 기준 거리 설정 등의 준비 작업이 필요하며, 영상 계측 후에도 결과를 얻는데 까지 많은 시간이 소모된다. 그러나 음압을 이용하여 지형의 특성인 주변의 환경적 소음부분만 해결한다면 관측소에서 충분한 음압을 계측하여 탄이 떨어진 위치를 추정 할 수 있다. 이현석, 윤원중, 박규식(2018)은 음향센서를 이용하여 초음속으로 비행하는 탄환으로부터 발생하는 탄환 충격파를 탐지하여 표적에 형성된 탄착점의 위치를 추정하는 연구를 진행하였으며, 실제 사격실험을 통해 얻은 신호를 분석하여 계산된 탄착점의 좌표와 실제 탄착점의 비교를 통해 성능을 확인하였다[2]. 하지만 기존연구의 경우 소구경 탄약 등에 대상이 맞춰져 있으며, 장거리 사격으로(예: 대구경 박격포 사격 등 중·장사거리) 접근할 수 없는 특수한 지형에 관련한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 박격포 사격 등을 수행함에 있어서 지형을 고려한 탄착점 위치 추정 시스템에 대한 연구가 필요하다. 이에 기존의 탄착 위치 확인 방법이 가지는 취약점을 보완하고, 탄약 평가 시험의 신뢰성을 개선하기 위해 음향

방식을 이용한 탄착 위치 추정 시스템을 구현하고자 한다.

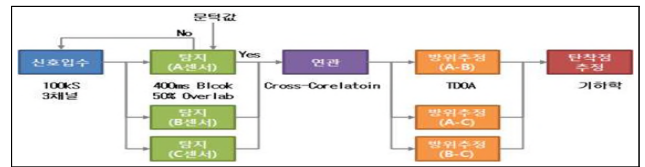
## 3. 시스템 구성

### 3.1 시스템 구성

관측소 지역은 좁은 고지 지형으로 동-서 간 폭과 남-북 간 폭 모두 협소하여 설치가 용이하지 않다. 따라서 협소한 지형을 기반으로 최적화하여 센서를 배치하기 위해 센서의 설치 위치에 대한 시뮬레이션을 분석하였다. 시뮬레이션에 대한 자세한 내용은 3.4절에서 다룬다.

### 3.2 알고리즘 설계

위치 추정 알고리즘과 신호를 정확하게 얻기 위해 탄착지 폭발음의 음향을 파악하고 구간을 설정하여 적용하는 탐지 알고리즘, 도달 지연시간 차를 계산하고 지형의 특성을 고려하기 위해 Cross-Correlation의 연관 기법을 적용, 기하학적 배치를 이용하여 계산하는 방위 추정과 탄착점 추정 기법을 적용하였고 그림 1과 같다.



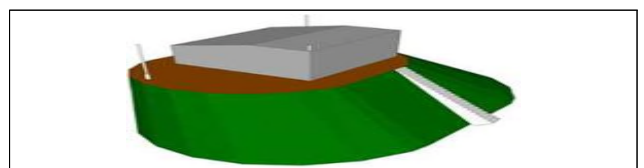
[그림 1]설계된 알고리즘

### 3.3 지형 특성 분석



[그림 2]탄착지와 관측소 위치

탄착지는 관측소에서 지면으로 약 1.9km 거리에 있으며 350,000m<sup>2</sup>의 면적이다. 과거부터 사격시험의 특수한 목적으로 사용되어 왔던 장소이며 불발탄 등 여러 위험요소로 인하여 접근 할 수 없는 실정이다. 탄착지와 관측소 양쪽 두 산맥의 사이는 산맥 사이로 작은 계곡이 있어 평소엔 안개가 둘러싸고 있고 여름 우기엔 안개가 자욱할 때가 많다.



[그림 3]관측소 지형

또한 관측소의 지형은 그림 3와 같이 좁은 고지로 지형적 특성을 고려하여 센서를 설치해야한다. 설치를 위해 MATLAB을 이용한 시뮬레이션으로 센서 간의 이격을 확인하고 설치하였으며 박격포탄과 곡사포탄의 탄착지 폭발음을 확인하고 분석하였다.

### 3.4 시뮬레이션

선행연구 분석결과 음향의 오차는 온도, Sampling rate, 고도, 이격거리에 따른 오차가 있을 수 있어 변수에 대해 확인해 보았다.

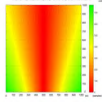
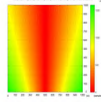
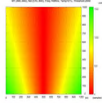
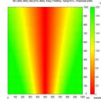
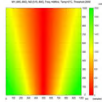
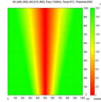
[표 1] 거리별 고도 및 음원 전달 편차

거리	고도	음원전달	편차	비고
2,090 m	724	2,095 m	5 m	탄착지점
2,000 m	689	2,008 m	8 m	
1,900 m	652	1,912 m	12 m	
1,800 m	641	1,814 m	14 m	
1,700 m	647	1,714 m	14 m	
1,600 m	643	1,616 m	16 m	
1,500 m	620	1,520 m	20 m	
1,400 m	585	1,428 m	28 m	
1,300 m	541	1,340 m	40 m	
1,200 m	515	1,251 m	51 m	최저점
1,100 m	520	1,154 m	54 m	
1,000 m	550	1,049 m	49 m	
900 m	598	940 m	40 m	
800 m	653	828 m	28 m	
700 m	710	718 m	18 m	
600 m	754	611 m	11 m	
500 m	774	509 m	9 m	
400 m	792	407 m	7 m	
300 m	828	303 m	3 m	
200 m	848	201 m	1 m	
100 m	860	100 m	0 m	
0 m	868	0 m	0 m	측정지점

[표 2] 시뮬레이션 비교 사항

항목	비교 사항		
	10m	20m	30m
센서 이격거리	10m	20m	30m
주변 온도	0℃	16℃	32℃
Sampling rate	48K		100K
센서 배치	수평 배치	수직 배치	

[표 3] Sampling rate 대 센서 이격(수평배치)

	48khz	100khz
10m		
20m		
30m		

결과는 표 3과 같이 수평배치의 경우 수직배치보다 Sampling rate가 거리에 영향을 많이 미쳤고, 센서 이격이 멀어질수록 정확한 데이터를 얻을 수 있음을 확인하였다. 이에 따라 관측소의 현장 상황에 따라 최대 이격인 20m~30m로 결정하였다. 하지만 온도에 의한 영향은 Sampling rate 차이에 비해 미

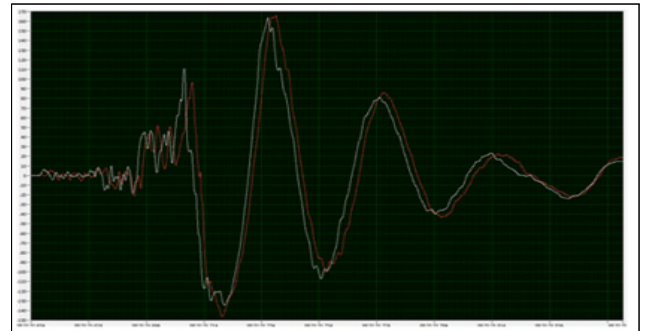
미하였기 때문에 통계변수로 설정하지 않았다. 따라서 Sampling rate는 시뮬레이션 결과에 의거하여 100khz로 설정하였다. 본 시뮬레이션 결과가 신뢰할 수 있는지 확인하기 위해 실 사격을 통하여 추가적으로 분석해 보았다.

### 4. 결과 분석

사격시험장에서 60mm, 81mm박격포, 155mm곡사포, 120mm곡사포에 대한 사격을 실시하였다. 표 4와 같이 시험 A, B는 탄착 음원을 획득하기 위한 시험이며, C는 수직/수평을 알아보기 위한 시험이며, D, E는 비활성탄 및 다양한 탄에 적용 확인에 대한 추가시험이다.

[표 4] 시험결과 및 내용

시험	탄종	목적	획득 음원	기타
A	81mm 박격포 (활성탄)	활성탄 적용 탄착음 획득	19R(100%)	122dB - 127dB - 133dB
B	155mm 곡사포 (활성탄)	탄착음 획득	11R(100%)	135dB - 140dB - 144dB
C	81mm 박격포 (활성탄)	알고리즘 적용 수평배치 수직배치 비교분석 시간 지연차 확보	10R(100%)	-
D	120MM 곡사포 (비활성탄)	비활성탄 적용 추정시스템 적용 시간대역 분석적용	5R/83R (6%)	-
E	60mm 박격포 (활성탄)	-	25R(100%)	편차 : 186.0m



[그림 4]수평배치 지연차



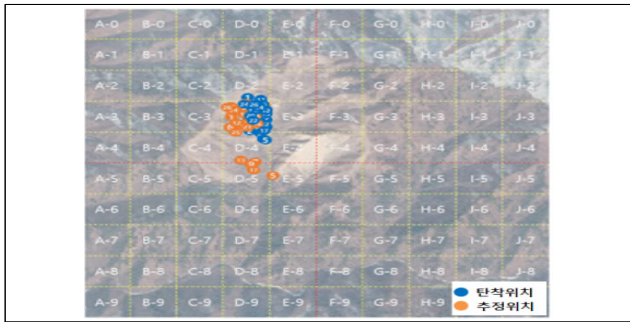
[그림 5]센서 수평배치 탄착 방위추정

표 5와 같이 두 개의 센서 간 시간 지연차가 확보됨을 확인하였으나 수직배치의 대략적인 추정 방향이 실제 탄착지점과

불일치함이 확인 되었다. 수평배치 시 비교적 양호한 방위 추정 가능성이 가능하고 수직배치는 오류를 감소하기 위한 다른 방안이 필요한 걸로 판단된다. 또한 결과에 따라 이후 시험은 수평배치로 설치하여 진행하였다.

[표 5] 수평 및 수직배치 시간 지연차 결과

구분	수평배치 시간 지연 차			구분	수직배치 시간 지연 차		
	시간차	거리차	각 도		시간차	거리차	각 도
1R	2.00 msec	680.0 mm	86.1 deg	7R	9.65 msec	3,218.0 mm	70.8 deg
2R	1.36 msec	462.4 mm	87.3 deg	8R	8.73 msec	2,968.2 mm	72.7 deg
3R	2.71 msec	921.4 mm	84.7 deg	9R	8.73 msec	2,968.2 mm	72.7 deg
4R	3.03 msec	1,030.2 mm	84.1 deg	10R	9.33 msec	3,172.2 mm	71.5 deg
5R	2.64 msec	897.6 mm	84.9 deg				
6R	2.21 msec	751.4 mm	85.7 deg				



[그림 6] 센서 수평배치 탄착 방위추정

[표 5] 81mm 시험 결과 편차

탄 종	순 번	편 차	순 번	편 차	순 번	편 차
81mm (활성탄)	1	166.9m	10	81.0m	19	24.2m
	2	75.7m	11	133.5m	20	121.3m
	3	216.7m	12	112.6m	21	60.7m
	4	241.1m	13	297.7m	22	38.8m
	5	222.6m	14	46.9m	23	61.6m
	6	142.3m	15	112.6m	24	176.4m
	7	295.9m	16	65.5m	25	116.7m
	8	40.2m	17	287.0m	26	158.0m
	9	286.8m	18	99.6m	27	
평 균	141.7m					

## 5. 결론

본 연구는 관측소와 탄착지의 특수한 지역의 특성을 고려하여 탄약의 폭발, 지면 충돌 등에 의해 발생하는 폭발음을 이용해 정확한 탄착 위치를 추정하고 시험의 전반적인 관측 능력을 향상시키며, 안개 등과 같은 환경적 제한요소를 제거, 시험을 원활하게 진행하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 현재 국방기술품질원에서 사용하고 있는 탄착지를 바탕으로 본 연구에서 설계한 위치 추정 알고리즘을 적용하여 탄착의 위치를 추정하고 지형의 특성에 따른 센서 설치 및 신호 데이터 처리를 추가하여 실 사격을 실시하고 탄착점의 위치를 추

정하였다.

이를 위해 기존의 탄착 위치 확인은 카메라 촬영에 의한 영상 분석, 관측자에 의한 위치 확인 등의 방법으로 진행하였다. 연구결과 실제 탄착위치와 141.7~186.0m 차이를 보였다. 이러한 방법으로 지형 특성을 고려한 적절한 탄착점 위치 추정 방법을 제시할 수 있다는데 본 연구의 시사점을 찾을 수 있다. 이는 초반 성능 지표로 설정한 위치 정확도 300m 이내에 들어오며, 관측자 시야에 보이지 않는 시험탄(연습탄, 불발탄, 근탄, 원탄)의 위치 파악에 필요한 정보가 될 수 있는 수준으로 향후 사격시험 시 탄착점 관측 방법과 병행하여 사용하면 시험 결과의 신뢰성 및 정확성을 향상하는데 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 본 연구는 ASRP 및 수락시험을 수행하는 과정에서 사용이 용이하고, 신뢰성 있는 탄착점 위치 추정 시스템을 구현하였다. 본 결과를 토대로 사격시험장에 종사하는 시험자들이 탄착점 위치를 추정하고 시험결과를 분석하는데 도움이 되고자 한다. 하지만 이러한 시사점에도 불구하고 향후 연구에서 보완해야 할 한계점을 가지고 있다. 본 연구에서는 탄착 위치 추정을 위한 변수와 방법론을 4가지 범주로 구분하여 살펴보았다. 이에 따라 연구의 범위가 한정될 수밖에 없었는데, 향후 연구에서는 탄착점을 추정하기 위한 다양한 변인을 추가하여 범위를 더욱 확장해볼 필요가 있겠다. 또한 본 연구에서는 60/81mm와 155mm 포탄에 대한 내용이 주를 이루었으나, 추후 연구에서는 다양한 탄종을 고려하여 시험한다면 더욱 의미 있는 결과가 도출될 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 국방기술품질원 “2018 육군 ASRP 결과 보고서” 2019년
- [2] 이현석, 윤원중, 박규식, “음향 센서를 이용한 탄착점 추정 시스템 구현,” 전자공학회논문지, vol. 55, no. 3, pp. 97-104, 2018년