

Arena 시험을 위한 영상처리 기반 탄두 파편 검출 기법

이혁재¹⁾ · 정찬호^{*,2)} · 박용찬³⁾ · 박 웅³⁾ · 손지홍³⁾

¹⁾ 한국과학기술원 전기 및 전자공학부

²⁾ 한밭대학교 전기공학과

³⁾ 국방과학연구소 제8기술연구본부

A New Image Processing-Based Fragment Detection Approach for Arena Fragmentation Test

Hyukzae Lee¹⁾ · Chanhoo Jung^{*,2)} · Yongchan Park³⁾ · Woong Park³⁾ · Jihong Son³⁾

¹⁾ School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

²⁾ Department of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea

³⁾ The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 5 June 2019 / Revised 2 September 2019 / Accepted 27 September 2019)

ABSTRACT

The Arena Fragmentation Test(AFT) is one of the important tasks for designing a high-explosive warhead. In order to measure the statistics of a warhead in the test, fragments of a warhead that penetrate steel plates are detected by using complex and expensive measuring equipment. In this paper, instead of using specific hardware to measure the statistics of a warhead, we propose to use an image processing based object detection algorithm to detect fragments in AFT. To this end, we use a hard-thresholding method with a brightness feature and apply a morphology filter to remove noise components. We also propose a simple yet effective temporal filtering method to detect only the first penetrating fragments. We show that the performance of the proposed method is comparable to that of a hardware system under the same experimental conditions. Furthermore, the proposed method can produce better results in terms of finding exact positions of fragments.

Key Words : Image Processing(영상 처리), Object Detection(객체 검출), Arena Fragmentation Test(Arena 시험)

1. 서 론

탄두(Warhead)는 유도무기에 의해 운반되어 표적을

파괴하는 것을 목표로 개발되며, 살상효과를 갖는 유도무기의 부체계이다. 이러한 탄두의 개발 및 위력 성능 평가를 위해 Pit Test와 Arena Fragmentation Test(AFT)를 수행한다^[1,2]. Pit Test를 통해 탄두의 폭발압력, 탄두 파편의 무게, 형태를 측정 하며, AFT를 통해 파편의 개수, 속도 그리고 공간 분포도에 대한 데이터

* Corresponding author, E-mail: peterjung@hanbat.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

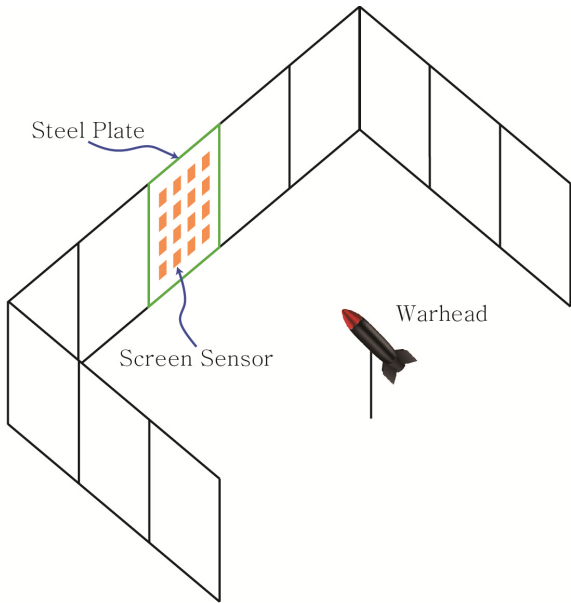


Fig. 1. Arena fragmentation test environment

를 획득한다.

일반적으로 AFT 환경은 탄두를 중심으로 특정거리에 표적판(steel plates)을 설치하여 Fig. 1과 같이 구성한다. 표적판에는 탄두 파편의 개수, 속도, 그리고 공간 분포를 측정하기 위한 센서(screen sensor)가 설치되어 있으며, 각각의 센서로부터 출력되는 신호는 케이블을 통해 계측시스템으로 전달된다. 이를 구성하는 센서 및 장비는 복잡한 구조를 갖고 있으며, 대부분이 고가의 장비이다²⁾. 하지만 기존 계측시스템의 센서는 일회용으로, 매 시험마다 센서 설치 및 회수가 필수불가결하여 인적, 시간적, 금적 비용이 컸다. 또한 센서가 가지는 물리적 특성으로 인해 데이터 획득량이 제한되었으며, 탄두 파편이나 폭발에 의해 케이블이 피격되는 등 계측의 안정성과 신뢰성이 낮은 문제가 있다.

최근 영상계측 하드웨어의 성능 향상과 함께 영상을 기반으로 파편데이터를 계측하려는 연구가 진행되었다. X-ray를 이용하여 탄두에서 발생하는 파편의 비행과 성능을 분석하였으며^{3,4)}, 2개의 이격된 광학장비를 이용하여 그 사이를 비행하는 파편의 이동에 대한 특성을 연구하였다⁵⁾. 하지만 해당 연구들은 단일 혹은 소수의 파편에 대해서만 분석 가능하다는 한계가 있다. 또한, X-ray 기반 방법은 X-ray 특성상 기폭 초기 현상이나 매우 짧은 시간에 대해서만 분석이 가능하다는 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 4대의

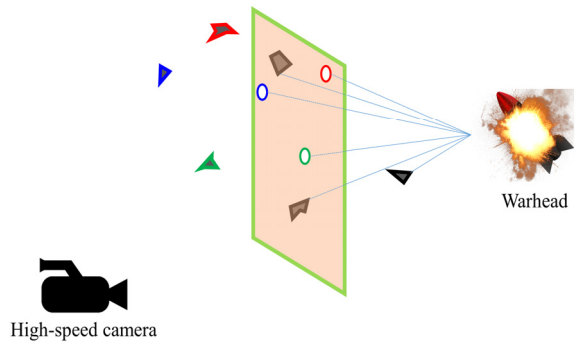


Fig. 2. Capturing steel plates with the high-speed camera while a warhead explosion

카메라를 이용한 스테레오 영상 기반 장시간 다중 파편 계측 알고리즘⁶⁾이 제안되었으나 계측 속도가 느리며 높은 해상도(표적판 면적 대비 검출된 파편의 개수)의 결과를 얻기 어렵기 때문에 해당 계측시스템을 실시함에 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 AFT 계측시스템이 갖는 한계점을 개선하기 위하여 영상처리 기반의 탄두 파편데이터 계측 시스템을 제안한다.

본 연구의 주요 기여도는 다음과 같다. 1) 영상처리 기반 파편 데이터 계측시스템을 Fig. 2와 같이 구축하였다. 2) 영상처리 기반 탄두 파편 검출 알고리즘을 탄두 파편 검출과 시간적 필터링을 통한 최초 관통 탄두 파편 검출 두 단계로 구성하였다. 3) 영상처리 알고리즘을 통하여 기존의 하드웨어 계측시스템 대비 탄두 파편 데이터 획득률과 표적판을 관통한 파편의 위치정보의 정확도를 크게 향상시켰다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안 기법인 영상처리 기반 탄두 파편 검출 알고리즘에 대해서 설명한다. 3장에서는 수집한 탄두 파편 영상 데이터를 소개하며, 제안 알고리즘을 적용한 AFT에서의 탄두 파편 검출 성능을 정성적 검출 결과와 정량적 성능평가를 기술한다. 마지막 4장에서는 결론짓는다.

2. 영상기반 탄두 파편 검출 알고리즘

2.1 영상기반 탄두 파편 검출 알고리즘 개요

물체 검출 기법이란 영상 내 물체의 위치를 바운딩 박스(bounding box)의 형태로 검출하고 해당 물체가 어떤 물체인지 인식하는 기술이다. 본 연구에서는 탄



Fig. 3. An example of a captured AFT image with the AFT experiment setup illustrated in Fig. 2. Green: First penetrating fragments. Blue: Growing fire after the first penetrating fragments

두 파편 검출에 적합한 영상처리 기반 물체 검출 기법을 제안한다. Fig. 3은 예제 입력 탄두 파편 영상으로 초록 박스는 영상 내 포함된 최초 관통 탄두 파편을 나타내고 파란 박스는 관통된 탄두 파편 이후 해당 위치에 발생하는 화염 등을 나타낸다. Fig. 3과 같이 탄두 파편 영상에는 최초 관통 탄두 파편뿐만 아니라 화염도 포함된다. 따라서 탄두 파편 영상의 매 프레임마다 탄두 파편 검출을 수행하면 탄두 파편과 유사한 형태의 화염도 탄두 파편으로 검출될 수 있는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 제안하는 영상처리 기반 탄두 파편 검출 알고리즘에서는 매 프레임 탄두 파편을 검출 후 시간적 필터링을 수행하여 표적판을 관통한 최초 관통 탄두 파편만을 최종적으로 검출한다. 2.2절에서는 탄두 파편을 효과적으로 검출하기 위한 영상처리방법에 대해 설명하고, 2.3절에서는 최초 관통 탄두 파편만을 검출하기 위한 시간적 필터링 방법에 대해 기술한다.

2.2 영상처리 기반 탄두 파편 검출 알고리즘

탄두 파편 영상이 갖는 가장 두드러진 특성은 탄두 폭발 시점 전과 후의 밝기 변화이다. 따라서 제안하는 방법은 밝기 변화를 특징 벡터로 사용하며 hard-임계값(hard-thresholding) 기법을 사용하여 탄두 파편 후보군을 검출한다. 위 과정을 통해 검출된 탄두 파편은 특정 임계값을 사용기 때문에 노이즈(noisy)하며, 모폴로지(morphology) 연산⁷⁾을 사용하여 노이즈를 제거한

다. 이후 탄두 파편 후보군 영상에 연결 성분 라벨링(Connected Component Labeling(CCL)) 기법⁸⁾을 적용하여 각 탄두 파편별로 분할하고, 보다 정교한 탄두 파편 후보군을 얻기 위해 탄두 파편의 기하학적 특징에 기반을 둔 오검출 탄두 파편 필터링을 적용한다.

2.2.1 특징 추출

탄두 파편 영상의 가장 큰 특징 중 하나는 탄두의 폭발을 기점으로 촬영된 영상 전체가 밝아지고, 폭발 종료 시점까지 영상의 밝기 변화가 거의 없다는 것이다. 이와 같이 밝기 변화가 적은 영상에서 탄두 파편이 표적판을 관통하게 되면 탄두 파편이 통과한 위치에 급격한 밝기 변화가 발생한다. 이러한 밝기 변화를 탄두의 특징으로 이용하기 위해 입력된 RGB영상을 CIELab 영상으로 변환 후 L, a, b 중 L (Luminance)만을 사용한다. 하지만 L 을 그대로 사용한다면 탄두 폭발 이후 표적판의 구조 또한 급격하게 밝아지기 때문에 밝기 값만으로는 탄두 파편을 검출하는 데는 한계가 있다. 따라서 배경(background) 대비 상대적인 밝기 변화를 측정하여 탄두 파편을 측정한다. 따라서 제안하는 방법은 탄두 폭발 시점 기준 5번째 프레임 영상을 기준 영상(reference image)으로 정하고, 이후 입력된 영상에서 기준 영상을 뺀 차 영상(difference image)을 사용한다. 차 영상은 주로 탄두 파편에서 밝기 변화가 두드러지게 나타나고 배경에서는 노이즈만을 포함한 일정한 값을 갖는다. 따라서 제안하는 방법에서는 앞서 언급한 차 영상을 탄두 파편만의 특징(높은 밝기)이 추출된 특징 영상으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_{curr} = I_{curr} - I_{bg} \quad (1)$$

이때 I_{curr} 은 현재 프레임에서의 L 채널, I_{bg} 은 기준 영상의 L 채널, 그리고 f_{curr} 은 탄두 파편의 특징 영상이며 f_{curr} 의 값은 0~1로 정규화 한다.

2.2.2 Hard-Threshold 기법

탄두 파편의 특징 영상 f_{curr} 를 이용하여 탄두 파편 후보군을 검출하기 위해 hard-임계값 기법을 사용한다. 탄두 파편이 표적판을 관통하면 탄두 파편 위치의 밝기가 급격히 증가하는 특징이 있다. 따라서 제안하는 방법에서는 Fig. 4와 같이 임계값을 사용한 검출(Detection by Thresholding(DTH)) 기법을 사용하며, 다음과 같이 정의한다.

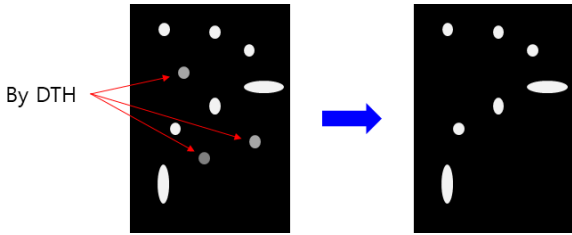


Fig. 4. An illustration of detecting fragments by using DTH

$$O_{curr_frag} = \begin{cases} 1, & f_{curr} > T \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

임계값 T 는 0.6으로 고정한다. 식 (2)에서 O_{curr_frag} 의 값이 1이면 탄두 파편을 의미하며, 0이면 배경을 의미한다.

2.2.3 Morphology 연산을 통한 노이즈 제거

일반적으로 O_{curr_frag} 와 같이 hard-임계값 기법에 기반을 둔 물체 검출 방법의 결과는 노이즈 성분을 다수 포함하고 있다. 따라서 제안하는 방법에서는 O_{curr_frag} 에 포함된 노이즈를 제거함과 동시에 탄두 파편 내부의 빈 공간을 채우기 위해 다음과 같이 모폴로지 연산 중 하나인 닫힘(closing) 연산을 사용한다.

$$MFO_{curr_frag} = (O_{curr_frag} \oplus s) \ominus s \quad (3)$$

이때 \oplus 와 \ominus 는 각각 팽창(dilation)과 침식(erosion)연산자를 나타내며, s 는 구성 요소(structuring element)를 나타낸다. s 로는 5x5 정사각형을 사용한다.

2.2.4 연결 성분 라벨링을 통한 탄두 파편 분할

모폴로지 연산을 통해 정제된 탄두 파편 후보군 영상 MFO_{curr_frag} 으로부터 각 탄두 파편 단위로 라벨링하기 위해 제안하는 방법에서는 8-방향 연결 성분 라벨링 기법을 이용한다. MFO_{curr_frag} 에 연결 성분 라벨링 기법을 적용하면 MFO_{curr_frag} 에 속한 N 개의 탄두 파편을 각각 라벨링할 수 있고, 이를 다음과 같이 O_{fc} 로 정의한다.

$$O_{fc} = \{O_{frag_1}, \dots, O_{frag_N}\} = CC(MFO_{curr_frag}) \quad (4)$$

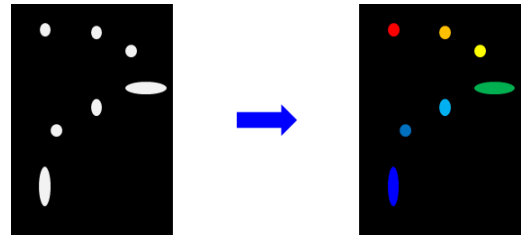


Fig. 5. An illustration of segmentation of fragments by using CCL

$CC(\cdot)$ 는 연결 성분 라벨링 함수이며, O_{frag_i} 는 i 번째 탄두 파편을 나타낸다. O_{frag_i} 는 bounding box를 표현하는 4개의 성분 $(x_i^1, y_i^1, w_i^1, h_i^1)$ 으로 구성되며, 위 첨자는 해당 탄두 파편의 첫 관통 기준 프레임수, 아래 첨자는 i 번째 탄두 파편을 나타낸다. x 와 y 는 bounding box의 좌상단의 좌표이며, w 와 h 는 bounding box의 가로 길이와 세로 길이를 나타낸다. Fig. 5는 MFO_{curr_frag} 에 연결 성분 라벨링 기법을 적용한 예시이다.

2.2.5 탄두 파편의 기하학적 특징을 사용한 필터링

Fig. 5와 같이 연결 성분 라벨링에 사용한 MFO_{curr_frag} 은 O_{curr_frag} 에 기반을 두기 때문에 실제 탄두 파편은 아니지만 노이즈로 판단되지 못한 오검출 탄두 파편이 탄두 파편 후보군으로 포함될 수 있다. 따라서 제안하는 방법은 탄두 파편의 종횡비(aspect ratio)가 원형에 가깝다는 기하학적인 특징을 이용한 추가적인 필터링(Filtering by Aspect Ratio(FAR))을 수행한다. 따라서 O_{fc} 에 포함된 탄두 파편 중 종횡비가 특정 값보다 크지 않은 탄두 파편을 다음과 같이 선별한다.

$$O_{frag} = \{O_{frag_i} \mid O_{frag_i} \in O_{fc}, 0.5 < AR(O_{frag_i}) < 2.0\} \quad (5)$$

여기서 $AR(\cdot)$ 는 종횡비를 계산하는 함수이다. 이러한 필터링을 통해 검출된 파편이 실제 파편이 아닐 경우 AFT를 통해 불필요한 데이터가 얻어질 수 있다는 측면에서 모든 파편을 검출하는 것(재현율) 보다 검출된 파편이 실제 파편인지(정확도)가 더 중요하다. 따라서 제안하는 방법에서는 Fig. 7과 같은 실험을 통해 종횡비의 크기를 시험적으로 0.5~2.0의 값으로 설정하였다. Fig. 6은 FAR에 대한 예시이다.

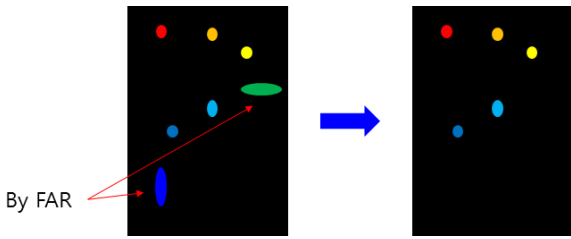


Fig. 6. An illustration of FAR procedure to the result shown in Fig. 5

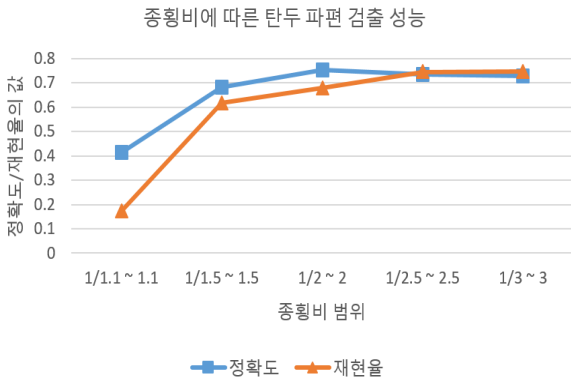


Fig. 7. The results of precision and recall with respect to the use aspect ratios for FAR

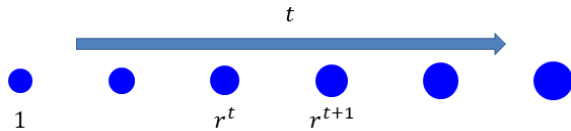


Fig. 8. An illustration of changing of normalized size of a fragment

2.3 시간적 필터링

이 절에서는 2.2절에서 설명한 영상처리 기반 탄두 파편 검출기를 통해 검출된 탄두 파편 중 최초 관통 탄두 파편만을 검출하기 위한 시간적 필터링 기법에 대해 설명한다.

탄두 파편이 표적판을 관통하면 표적판 내부에 탄두 파편에 의한 화염이 생기게 된다. 이러한 화염은 연속된 탄두 파편 영상에서 그 크기가 확장되거나 이전 탄두 파편과 겹치지 않는 위치까지 이동된 형태로 촬영된다. 이때 매 프레임마다 파편을 검출하게 되면 최초 관통 탄두 파편 이후 생성된 화염도 그 특징이 탄두 파편과 유사하기 때문에 탄두 파편으로 오검출

되는 문제가 발생한다. 따라서 제안하는 방법은 최초 관통 탄두 파편이 갖는 두 가지 특징인 1) 탄두 파편 크기의 다양성, 2) 탄두 파편 크기의 확장성을 고려한 시간적 필터링을 제안한다. 앞서 언급한 최초 관통 탄두 파편의 특징을 바탕으로 각 최초 관통 탄두 파편의 크기를 정규화하고, 시간에 따른 동일 탄두 파편의 크기 변화(화염)를 통계적으로 모델링 할 수 있다. 이때 각 최초 관통 탄두 파편을 기준으로 마스크를 지속적으로 갱신하기 때문에 연속 촬영되었지만 겹치는 영역이 없는 동일한 파편에 대해서도 마스크를 통한 시간적 필터링이 가능하다. 제안하는 방법에서는 Levenberg-Marquardt 비선형 최소 자승법(Levenberg-Marquardt nonlinear squares algorithm)을 사용하여 탄두 파편의 크기에 대해 다음과 같이 비선형 로그 피팅(non-linear logarithmic fitting)을 수행한다.

$$r^t = a \log(t) + 1 \quad (6)$$

r^t 는 Fig. 8과 같이 첫 관통 탄두 파편의 크기를 1로 정규화 하였을 때 t 번째 탄두 파편의 상대적인 크기를 나타낸다. a 는 수집된 파편 데이터로부터 구해야 할 비선형 로그 피팅의 파라미터이다. 따라서 각 탄두 파편의 최초 관통 이후 t 번째 프레임에서의 bounding box는 2.2.4절에서 구한 $(x_i^1, y_i^1, w_i^1, h_i^1)$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_i^t &= x_i^1 + \frac{w_i^1(1-r^t)}{2} & w_i^t &= w_i^1 r^t \\ y_i^t &= y_i^1 + \frac{h_i^1(1-r^t)}{2} & h_i^t &= h_i^1 r^t \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 식 (7)을 사용하여 각 최초 관통 탄두 파편의 변화된 크기를 매 프레임마다 추정할 수 있으며, 실제 탄두 파편의 크기 변화와 평균 약 20 % 미만의 오차를 갖는다. 이를 이용하여 최초 관통 파편에 대한 마스크를 다음 식과 같이 정의한다.

$$mask^t = \begin{cases} 1, & mask^{t-1} + Rect(x_i^t, y_i^t, w_i^t, h_i^t); \forall i \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (8)$$

$Rect(\cdot)$ 는 입력된 x, y, w, h 로부터 사각형 마스크를 생성하는 함수이다. 식 (8)을 사용하여 t 번째 프레임에서의 $mask^t$ 를 구하고, 마스크의 값이 0인 부분만이

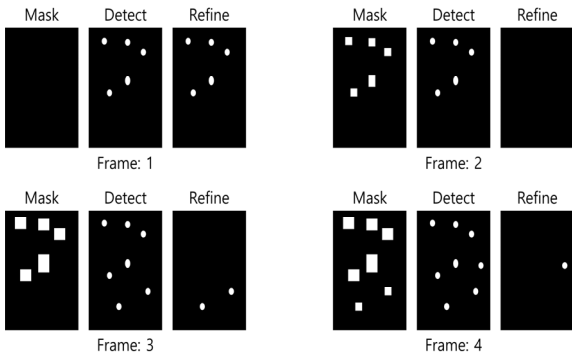


Fig. 9. An illustration of detecting first penetrating fragments by using mask-based temporal filtering method

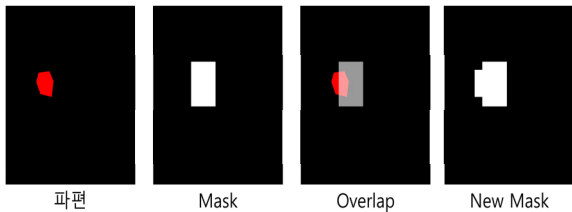


Fig. 10. An illustration of a post processing method for updating a currently generated mask

탄두 파편이 관통되지 않은 영역이라고 할 수 있다. 따라서 최초 관통 탄두 파편은 Fig. 9와 같이 매 프레임마다 탄두 파편을 2.2절과 같이 검출하고, 시간적 필터링을 적용하여 검출할 수 있다.

하지만 앞서 언급한 시간적 필터링 방법은 검출된 탄두 파편의 추적 정보를 사용하지 않고 매 프레임마다 탄두 파편의 검출 결과와 비선형 로그 피팅으로 추정된 크기의 변화만을 사용하기 때문에 다양한 파편에 대응되는 마스크를 생성하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 Fig. 10과 같이 후처리를 통해 앞서 구한 마스크를 갱신한다. 예를 들어 t 번째 프레임에서 Fig. 10과 같이 탄두 파편이 검출되고, $mask^t$ 가 주어졌다고 가정면 t 번째 프레임에서 검출된 파편과 $mask^t$ 의 교집합을 구한다. 이때 교집합이 존재한다면 검출된 탄두 파편은 $t-1$ 번째 프레임에서 검출된 탄두 파편이 화염 등의 이유로 옆으로 이동되어 t 번째 프레임에서 최초 관통 탄두 파편으로 검출된 경우로 가정할 수 있다. 따라서 해당 탄두 파편의 영역을 $mask^t$ 에 추가하여 $mask^t$ 를 갱신한다. 이와 같은 후처리 방법

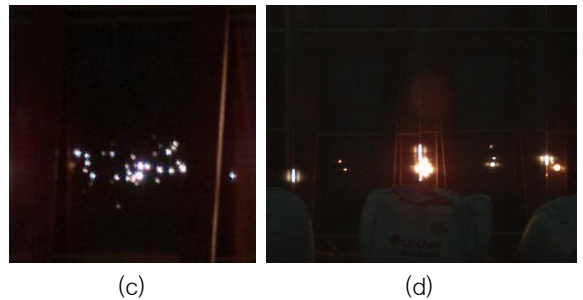
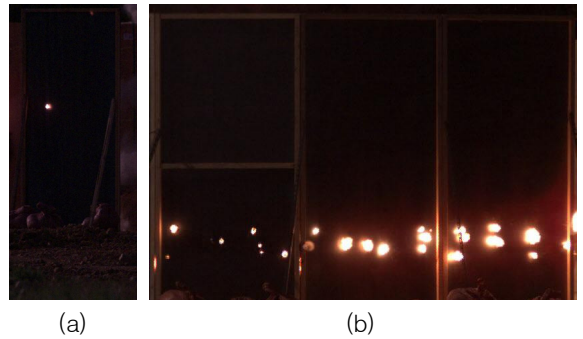


Fig. 11. Sampled images collected from 4 different environments of AFT. (a) Case 1. (b) Case 2. (c) Case 3. (d) Case 4

을 통해 각 탄두 파편에 대한 추적 정보 없이 t 번째 프레임에서 검출된 탄두 파편 중 최초 관통 탄두 파편만을 후처리가 적용된 마스크를 사용하여 필터링할 수 있다.

3. 시험 결과

3.1 데이터 세트

탄두 파편 영상을 획득하기 위해 Fig. 1과 같이 AFT 환경을 구축하였으며, Fig. 2와 같이 표적판 뒤에 초고속 카메라를 설치하여 탄두의 폭발과정을 촬영하였다. 4가지의 서로 다른 AFT 환경을 구축하여 Table 1과 같이 총 11개의 탄두 폭발 영상(Case 1: 1개, Case 2: 3개, Case 3: 3개, Case 4: 4개 - 총 11개의 비디오)을 촬영하였으며, Fig. 11은 각 AFT 환경에서 촬영된 예시 영상을 보여준다. 또한 평가를 위한 실제 탄두 파편의 정보는 탄두 파편 시험 전문가들이 탄두 파편 영상에서 실제 탄두 파편으로 판단해야 되는 부분을 직접 어노테이션하였다.

Table 1. The number of captured videos from 4 different environments types of AFT

AFT 환경	촬영된 비디오 개수
Case 1	1
Case 2	3
Case 3	3
Case 4	4

3.2 테스트 결과

제안하는 영상처리 기반 탄두 파편 검출 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 물체 검출 기법 알고리즘을 평가하기 위해 주로 사용되는 평가지수인 정확도 (precision)와 재현율(recall)을 사용하였다. 정확도와 재현율을 참양성(True Positive(TP)), 허위 양성(False Positive(FP)), 그리고 허위 음성(False Negative(FN))을 사용하여 정의된다. 본 연구에서 TP는 실제 탄두 파편을 탄두 파편으로 검출한 경우, FP은 실제 탄두 파편이 아닌 것을 탄두 파편으로 검출한 경우, FN은 실제 탄두 파편을 탄두 파편으로 검출하지 못한 경우를 뜻한다. 이를 사용하여 정확도와 재현율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{정확도} = \frac{TP}{TP+FP} \tag{9}$$

$$\text{재현율} = \frac{TP}{TP+FN}$$

또한, 정확도와 재현율을 모두 고려한 평가 방법인 F-measure를 사용한 평가도 진행하였으며, F의 아래첨자는 F-measure의 β 파라미터를 나타낸다. F-measure는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_{\beta} = (1 + \beta^2) \frac{\text{정확도} \cdot \text{재현율}}{(\beta^2 \cdot \text{정확도}) + \text{재현율}} \tag{10}$$

기존 AFT에 사용된 하드웨어 센서를 사용하여 탄두 파편을 검출할 경우 표적판에 설치된 센서의 개수 만큼만 파편을 검출할 수 있다. 즉, 표적판을 관통하는 탄두 파편 중 극히 일부만을 검출 가능하며, 탄두 파편의 정확한 위치를 알 수 없다는 단점이 있다. 이를 정확도와 재현율 측면에서 해석하면, 하드웨어 센

Table 2. Quantitative results on AFT videos in terms of precision and recall

AFT 비디오		정확도	재현율	F_1	$F_{0.5}$
Case 1	#1	0.800	0.571	0.666	0.741
Case 2	#1	0.882	0.625	0.732	0.815
	#2	0.813	0.609	0.696	0.762
	#3	0.828	0.585	0.685	0.765
Case 3	#1	0.853	0.500	0.630	0.748
	#2	1.000	0.646	0.785	0.901
	#3	0.900	0.458	0.607	0.754
Case 4	#1	0.618	0.955	0.750	0.665
	#2	0.692	0.947	0.800	0.731
	#3	0.500	0.714	0.588	0.532
	#4	0.414	0.857	0.558	0.462
Average		0.754	0.679	0.682	0.716

서를 사용할 경우 탄두 파편 검출의 정확도는 높지만 재현율은 낮다는 결론을 얻을 수 있다.

제안하는 탄두 파편 검출기에 대한 평가는 Table 2와 같이 나타난다. 시험에 사용한 11개의 서로 다른 환경에서 시행된 AFT 비디오에 대해 제안하는 탄두 파편 검출기를 사용하여 최초 관통 탄두 파편을 검출한 결과 Case 1,2,3에 대해서는 약 87 %의 정확도를 보이지만 재현율은 약 57 %의 성능을 보인다. 반면 Case 4는 약 56 %의 정확도와 약 87 %의 재현율을 보인다. Case 1,2,3의 경우 다양한 형태의 탄두 파편이 많이 나타났기 때문에 제안하는 알고리즘에서 약 43 %의 탄두 파편을 검출하지 못하였다. 반면 Case 4에서는 대부분의 탄두 파편이 정형화된 형태를 갖고 있었기 때문에 제안하는 알고리즘이 대부분의 탄두 파편을 검출할 수 있었다. 하지만 Fig. 12와 같이 표적판 사이의 빛 그리고 표적판 자체의 구멍들이 탄두 파편과 유사한 특징을 갖고 있기 때문에 정확도가 약 55 %까지 떨어진 것을 알 수 있다. 전체적으로는 평균 75 %의 정확도와 67 %의 높은 재현율을 갖는 것을 알 수 있다. 즉, 제안하는 탄두 파편 검출기를 통해 검출된 탄두 파편의 75 %는 실제 탄두 파편을 정

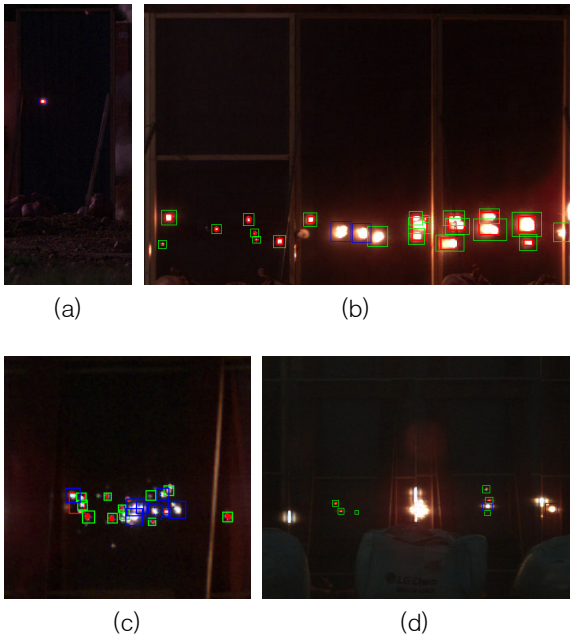


Fig. 12. Qualitative results of sample images shown in Fig. 11. (a) Case 1. (b) Case 2. (c) Case 3. (d) Case 4

확하게 검출한 것이며, 실제 탄두 파편 중 67%를 검출했다는 것을 뜻한다. 비록 정확도 측면에서는 하드웨어(정확도 100%)보다 낮은 성능을 보이지만 재현율 측면에서는 월등히 높은 성능을 보인다. 특히 제안하는 탄두 파편 검출기는 각 탄두 파편의 정확한 위치를 찾을 수 있는 장점이 있다. Fig. 12는 Fig. 11에서 보여준 샘플 영상에 대한 검출 결과를 보여준다. 초록 박스는 실제 최초 관통 탄두 파편, 파란 박스는 최초 관통이 아닌 탄두 파편, 그리고 빨간 박스는 제안하는 검출기를 통해 검출된 최초 관통 탄두 파편을 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 기존 AFT에서 사용된 하드웨어를 사용한 계측시스템의 한계를 극복하기 위해 영상처리 기반 탄두 파편 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 영상처리 기반 탄두 파편 검출 알고리즘은 다양한

영상처리 기법을 사용하여 설계하였으며, 특히 최초 관통 파편만을 검출하기 위한 시간적 필터링 방법을 새롭게 제안하였다. 시험 결과를 통해 하드웨어가 갖는 한계점에 대해 토의하였으며, 다양한 AFT 비디오에 대해 제안하는 탄두 파편 검출 알고리즘이 효과적인 계측방법임을 밝혔다.

References

- [1] B. Zecevic, J. Terzic, A. Catovic and S. Serdarević-Kadić, "Characterization of Distribution Parameters of Fragment Mass and Number for Conventional Projectiles," In 14th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials, Czech Republic, pp. 1026-1039, 2011.
- [2] B. Zecevic, J. Terzic, A. Catovic and S. Serdarević-Kadić, "Influencing Parameters on HE Projectiles With Natural Fragmentation," In 9th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials, Czech Republic, pp. 780-795, 2006.
- [3] Y. Baillargeon, C. Lalanne, "Methods to Perform Behind-Armour Debris Analysis with X-Ray Films," DRDC Valcarier TM 2003-123, 2005.
- [4] G. Huang, W. Li, S. Feng, "Fragment Velocity Distribution of Cylindrical Rings under Eccentric Point Initiation," Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 40, No. 2, pp. 215-220, 2015.
- [5] J. Liu, D. Zhao, Yangun Li., H. Zhou, "Optoelectronic System for Measuring Warhead Fragments Velocity," Journal of Physics: Conference Series, Vol. 276, No. 1, pp. 012136, 2011.
- [6] J. Burke, E. Olson, G. Shoemaker, "Stereo Camera Optical Tracker," ITEA Las Vegas Instrumentation Conference, 2016.
- [7] Rafael. C. Gonzalez and Richard. E. Woods, "Digital Image Processing," Pearson Education, Third Edition, Inc. USA, pp. 649-710, 2010.
- [8] Haralick, Robert M. and Linda G. Shapiro, "Computer and Robot Vision," Vol. 1, Addison-Wesley, New York, pp. 28-48, 1992.