

## 광학식 형상 측정을 이용한 총기인식시스템

### Ballistic identification system using optical surface topography technique

이혁교, Theodore V. Vorburger\*, T. Brian Reneger\*, James Yen\*, 이윤우, 이인원  
 한국표준과학연구원, \*NIST(미 표준연구원)  
 hrhee@kriss.re.kr

총기로부터 발사된 탄두(Bullet)와 탄피(Casing)에는 격발 당시 총기와 접촉으로 인한 탄흔(Ballistic signature)이 남는다. 이 탄흔은 사람의 지문과 마찬가지로 각 총기의 고유한 형상 정보를 갖고 있다. 지문 검색을 통해 사람의 신원 확인을 할 수 있는 것처럼, 탄흔의 측정과 해석을 통해 이 탄두와 탄피가 어느 총기에서 발사되었는지 분석할 수 있다. 이를 총기 인식(Ballistic identification)<sup>(1)</sup>이라 한다.

미국을 비롯해서 유럽 등지에서는 이와 같이 총기 인식에 대한 깊이 있는 연구와 교류가 진행 중이다. 특히 총기 사고가 잦은 미국에서는 연방경찰국(Federal Bureau of Investigation, FBI), 알코올담배총기국(Bureau of Alcohol Tobacco and Firearms, ATF), 법무부(Department of Justice), 그리고 미국 대통령 자문 위원회(National Academy of Sciences)의 협력 아래 총기종합인식시스템(Integrated Ballistic Identification System)<sup>(2)</sup>을 개발해왔다. 총기종합인식시스템은 크게 다음과 같은 두 가지 목적을 가지고 있다. 탄흔의 정보수집이 그 첫 번째 목적이다. 총기종합인식시스템이 가동되면, 미국에서 시판되는 모든 총기를 종류별로 수집해서 탄흔을 측정하고 그 결과를 컴퓨터에 저장해 놓는다. 차후에 총기 관련 범죄가 발생하면, 현장에서 수집한 탄피와 탄두의 탄흔을 측정해서 총기종합인식시스템의 데이터와 비교 검색한다. 이와 같은 과정을 통해, 범죄에 사용된 총이 어떤 회사의 몇 년도 제품인지 빠르게 검색할 수 있다. 총기종합인식시스템의 두 번째 목적은 법원의 증거용으로 활용하는 것이다. 우선 범죄 현장에서 탄흔을 확보하고, 그 결과를 용의자의 총에서 얻은 탄흔과 비교한다. 이를 통해 용의자의 총이 실제 범죄에 사용되었을 확률을 계산해 법원 증거용으로 제시할 수 있다.

이상과 같은 목적을 가진 총기종합인식시스템은 크게 두 부분으로 구성되어 있다. 우선 탄흔을 측정하는 2차원 광학 현미경(Optical microscopy)이 있고, 측정된 탄흔을 서로 비교할 수 있는 해석 알고리즘 부분이 있다. 2차원 광학 현미경은 대물렌즈를 통해 탄흔 정보를 확대하고, CCD 카메라를 통해 그 영상을 획득한다. 이렇게 측정된 탄흔의 영상은 흑백사진 형태를 가지며, 측정과 동시에 컴퓨터 안에 저장된다. 두 개 이상의 탄흔 영상이 획득되면, 해석 알고리즘을 통해 두 탄흔이 서로 얼마나 일치하는지 계산할 수 있다. 현재 미국에서 사용되는 총기종합인식시스템은 측정 영상의 광강도 대비(Intensity correlation)를 통해 대비계수(Correlation factor)를 구하도록 되어있다. 이 값이 1이면 두 탄흔이 완벽하게 일치하는 것이고, 0에 가까우면 서로 다른 탄흔이라는 의미이다. 이와 같은 기존의 총기종합인식시스템은 아직까지 미흡한 부분이 많다. 예를 들어 A 회사가 제조한 총기에서 총알을 두 번 격발해서 탄피 A1과 A2를 얻고, B 회사의 총기에서 B1과 B2를 얻었다고 하자. 만일 총기종합인식시스템이 정상적으로 역할을 수행한다면, 마땅히 탄피 A1에서 측정된 탄흔 a1은 A2에서 측정된 탄흔 a2와 가장 유사해야 한다. 즉 대비계수가 높아야 한다. 또한 a1을 b1이나 b2 탄흔과 비교한 대비계수는 이보다 훨씬 작아야 한다. 그래야 명확하게 A사의 총기와 B사의 총기를 구분한다고 말할 수 있다. 하지만 기존의 총기종합인식시스템은 이런 명확한 구분이 되지 않는다. 이유는 여러 가지가 있다. 그 가운데 대표적인 것이 바로 기존의 총기종합인식시스템의 환경 취약성이다. 광학 현미경으로 측정을 하다 보니, 조명 조건이나 조명광의 광강도 분포에 따라 큰 영향을 받는다. 또한 탄피나 탄두 재질의 광학적 특성, 측정 표면과 대물렌즈 사이에서 벌어지는 다중 반사(Multiple reflection), 탄흔의 높이 분포나 기울기 성분까지 다양한 요인으로부터 영향을 받는다.

본 논문에서는 이상과 같은 기존 총기종합인식시스템의 단점을 극복할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해 탄

피나 탄두의 재질, 탄흔의 형상이나 기울기에 영향을 거의 받지 않고, 조명 조건의 변화에도 강인한 측정 방법을 채택했다. 백색광 주사간섭계<sup>(3, 4)</sup> (White-light Scanning Interferometry)나 동초점현미경(Confocal Microscopy)<sup>(5,6)</sup>과 같이 3차원 형상 측정기들은 2차원 영상 측정에 비해 조명이나 측정대상의 표면 재질에 영향을 적게 받는다. 전혀 영향이 없는 것은 아니지만, 탄피나 탄두가 동일한 재질로 만들어진다는 점을 고려하면 그 영향은 무시할 수 있을 만큼 작다. 이 가운데 어떤 측정법이 총기 인식에 가장 적합한지 비교하기 위하여 실험을 했다. 실험에 사용된 측정기는 님코우 디스크(Nipkow disc) 동초점현미경<sup>(5)</sup>, 레이저주사(Laser scanning) 동초점현미경<sup>(6)</sup>, 백색광 주사간섭계이며, 이들을 이용해 측정한 표준 탄두(Standards bullet) SRM2460<sup>(7)</sup>의 탄흔을 스타일러스(Stylus) 방식의 측정 결과와 비교했다. 그 결과 님코우 디스크 동초점현미경이 속도나 측정 정확도에 있어서 가장 우수한 결과를 얻었다.

탄피 측정은 그림과 같이 크게 세 부분에서 이루어진다. 총기의 격발 공이와 직접 접촉하는 파이어링 핀(Firing pin) 부분, 공이 주변부와 맞닿는 브리치 페이스(Breech face)부분, 그리고 격발된 탄피를 총에서 밀어내면서 생기는 이젝터 마크(Ejector mark) 부분이 있다. 기존에는 이 세 가지 정보 가운데 파이어링 핀을 가장 중요하게 생각했었다. 그 이유는 기존의 총기종합인식시스템이 파이어링 핀에서 비교적 정확한 결과를 얻어왔기 때문이다. 이것은 브리치 페이스나 이젝터 마크에 비해 정확한 결과라는 의미이지, 실제 정확한 총기 인식을 했다고 보기는 어려웠다. 하지만 3차원 형상 측정 결과를 비교하자 기존에 알려진 것과는 많이 다른 결과가 나왔다. 우선, 파이어링 핀 보다는 브리치 페이스에 유용한 정보가 많이 담겨 있다는 점을 밝혀내었다. 또한 이 브리치 페이스 탄흔 측정과 비교를 통해 기존의 방식으로는 도달하지 못했던 높은 신뢰도의 총기 인식이 가능해졌다.

기존에 개발된 2차원 총기종합인식시스템은 탄두의 탄흔은 물론이고, 파이어링 핀과 브리치 페이스, 이젝터 마크 모두 신뢰 있는 총기 인식이 불가능했었고, 그 가운데 파이어링 핀의 탄흔에서 상대적으로 나은 결과를 얻기는 했지만 이 또한 신뢰도가 많이 떨어졌다. 본 연구에서 3차원 형상 측정기를 사용하고 새로운 비교 알고리즘을 적용한 결과 브리치 페이스의 탄흔에서 뚜렷하고 신뢰성 있는 총기 인식이 가능함을 알 수 있었다. 또한 최적의 측정기를 선택하기 위해 정밀한 실험을 했고, 탄흔 채취도 치밀한 실험 계획을 세워 원하는 정보가 실험 결과에 나타나도록 고려했다. 차후 더 많은 회사의 총기로부터 탄흔을 얻어 해석하면 기존방법을 대체할 수 있는 획기적인 총기종합인식시스템이 구축될 것이라 생각한다.

## 참고문헌

1. Ben Bachrach, "Development of a 3D-based automated firearms evidence comparison system," *J Forensic Sci.* vol. 47, no. 6, 1253-1264, 2002.
2. A. Braga and G. Pierce, "Linking crime guns: The impact of ballistics imaging technology on the productive of the Boston Police Department's Ballistics Unit," *J Forensic Sci.* vol. 49, no. 4, 1-6, 2004.
3. L. Deck and P. de Groot, "High-speed noncontact profiler based on scanning white-light interferometry," *Appl. Opt.* vol. 33, no. 31, 7334-7388, 1994.
4. M.G. Kang, S.Y. Lee and S.W. Kim, "Self-compensation of PZT errors in white light scanning interferometry," *J. Opt. Soc. Kor.* vol. 3, no. 2, 35-40, 1999.
5. B. Kagerer, J. Valentin, J. Filzek and U. Popp, "3D-confocal microscopy for surface analysis of microstructure," Optical Scanning 2002, Proc. of SPIE vol. 4773, 52-62, 2002.
6. M.A. Schimidt and R.D. Compton, *In Blau PJ (Ed) ASM Handbook Volume 18 Friction, lubrication, and wear technology* (ASM International, Materials Park, OH, USA, 1992), 357-361.
7. J. Song, T. Vorburger, T. Reneger, H. Rhee, A. Zheng, L. Ma, J. Libert and S. Ballou, "Correlation of topography measurements of NIST SRM 2460 standard bullets by four techniques," *Meas. Sci. and Tech.*, accepted.