

총기 인식을 위한 측정 시스템 구현 및 해석 알고리즘 개발

이혁교[†] · 이윤우

한국표준과학연구원 광기술표준부 나노광계측그룹
☎ 305-340 대전광역시 유성구 도룡동 1번지

Theodore Vorburger and Brian Reneger

National Institute of Standards and Technology, Precision Engineering Division, Surface and Microform Metrology Group,
NIST 100 Bureau Drive, Gaithersburg, MD20899, U.S.A.

(2005년 12월 1일 받음, 2006년 1월 13일 수정본 받음)

미국 등 세계 여러 나라에서 사용되는 기존의 총기 인식 시스템(Integrated Ballistic Identification System)은 탄흔을 2차원 현미경을 통해 측정, 해석하기 때문에 여러 가지 한계를 가지고 있다. 대표적으로 측정 표면의 거칠기나 기울기 성분, 빛의 조명 각도, 조명 광량의 균일 정도, 표면의 다중 반사나 광학적 특성에 의해 측정 결과가 크게 영향을 받는다. 이로 인해 부정확한 해석을 할 수밖에 없고, 결국 총기 인식 결과의 신뢰성이 떨어진다. 본 연구에서는 이와 같은 단점을 극복하기 위해 조명이나 표면 조건에 영향을 적게 받는 삼차원 형상 측정을 도입했다. 대표적으로 백색광 주사간섭계와 동초점현미경이 사용되었으며, 이런 측정기들은 미국 표준연구소(National Institute of Standards and Technology, NIST)의 교정 단계를 밟아 보정했다. 그 결과 반복성과 재현성이 뛰어난 측정 결과를 얻을 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안하는 3차원 형상 비교 알고리즘을 통해 보다 높은 신뢰도를 갖는 총기 인식이 가능해졌다.

주제어 : Ballistic identification, Cross correlation function, Confocal microscopy, White-light scanning interferometry.

I 서 론

총기로부터 발사된 탄두(Bullet)와 탄피(Casing)에는 격발 당시 총기와와의 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)^[1]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), 알코올·담배·총기국(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)^[2]을 개발해왔다. 총기종합인식시스템은 크게 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 A

[†] E-mail: hrhee@kriss.re.kr

사의 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 광각도 분포에 따라 큰 영향을 받는다. 또한 탄피나 탄두 재질의 광학적 특성, 측정 표면과 대물렌즈 사이에서 벌어지는 다중반사(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 탄피나 탄두의 재질, 탄흔의 형상이나 기울기에 영향을 거의 받지 않고 조명 조건의 변화에도 강인한 측정 방법을 채택했다. 백색광 주사간섭계³⁻⁶⁾(White-light Scanning Interferometry)나 동초점현미경(Confocal Microscopy)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 그림 1의 (a), (b), (c)와 같이 닙코우 디스크(Nipkow disc) 동초점현미경⁷⁾, 레이저주사(Laser scanning) 동초점현미경⁸⁾, 백색광 주사간섭계이며, 이들을 이용해 측정한 표준 탄두(Standards bullet) SRM2460⁹⁾의 탄흔을 스타일러스(Stylus)¹⁰⁾ 방식의 측정 결과와 비교했다. 그 결과 닙코우 디스크 동초점현미경이 속도나 측정 정확도에 있어서 가장 우수한 결과를 얻었다⁹⁾.

탄피 측정은 그림 2와 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.

탄두와 탄피 측정 과정과 결과, 그리고 비교 알고리즘에 대해서는 2장과 3장에서 자세하게 기술한다.

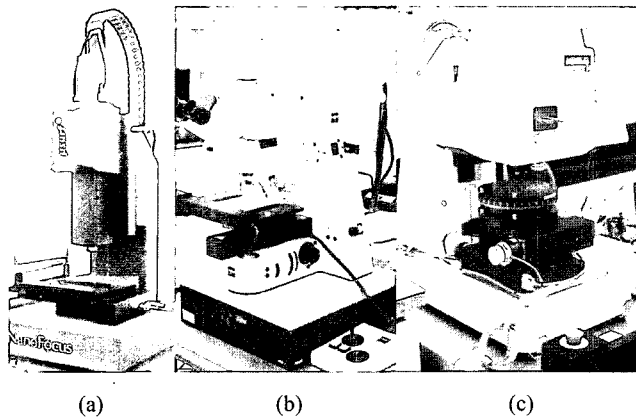


그림 1. 성능 비교 실험에 사용된 세 개의 측정기, (a) 닙코우 디스크 동초점현미경. (b) 레이저주사 동초점현미경. (c) 백색광 주사간섭계.

II. 탄두 측정 및 측정기 평가

대개 총기는 내부에 6개의 선이 있는 방식으로 제작된다. 이러한 총에서 격발된 탄두에는 6개의 탄흔이 발생하며 이 각각을 랜드(Land)라고 칭한다. 이들 랜드는 총기에 따라 서로 다른 프로파일(Profile)을 갖고 있다. 또한 그림 3(b)에서

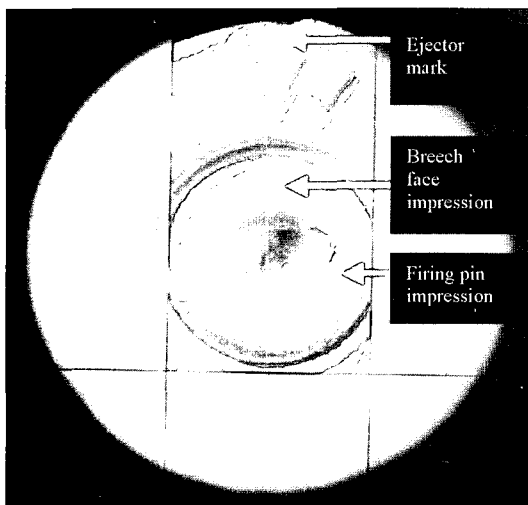


그림 2. 탄피에서 얻을 수 있는 유용한 세 개의 탄흔.

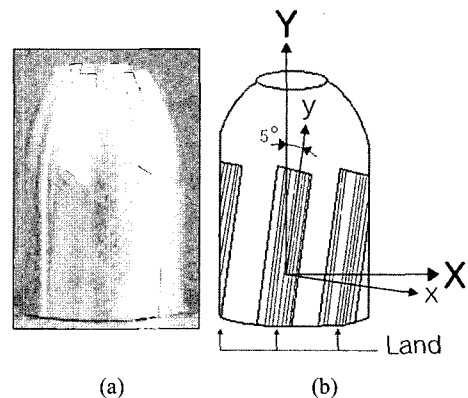


그림 3. (a) 탄두 사진, (b) 탄두 그림. 각 랜드는 탄두 축 Y에 대해 약 5° 각도로 기울어져 있으며, 각 랜드는 y방향으로는 균일하고 x방향으로는 불규칙한 형상(프로파일)을 갖는다.

표 1. 측정 사양.

Specifications	Nipkow disc confocal microscopy	Laser scanning confocal microscopy	White-light scanning interferometer
Objective lens magnification	50X	20X	50X
FOV	about 320 $\mu\text{m} \times 320 \mu\text{m}$	about 460 $\mu\text{m} \times 460 \mu\text{m}$	about 120 $\mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$
Horizontal resolution	about 0.62 μm	about 0.9 μm	about 0.17 μm
Vertical resolution	2 nm with single measurement	3 nm with single measurement	3 nm with single measurement
No. of stitching for one land measurement	8	5	20

표 2. 스타일러스의 측정 조건 및 사양.

Specifications	Nipkow disc confocal microscopy
Nominal tip radius	2 μm
Nominal contac force	0.001 N
Traversing speed	0.5 mm/s
Vertical quantization level	0.01 μm
Horizontal sampling interval	0.25 μm
Long cutoff λ_c	250 μm
Short cutoff λ_s	2.5 μm

보는 것과 마찬가지로 탄두 축에 대해서 약 5°가량 기울어져 있다. 개개의 랜드를 살펴보면, 그 프로파일은 랜드 축 방향(그림 3(b)의 y 방향)으로 거의 동일한 높이를 가진다. 따라서 탄피에서 얻을 수 있는 유용한 정보는 그림 3(b)에 표기된 x방향의 1차원 프로파일(Profile)이며, 프로파일의 길이(랜드의 폭)는 대략 1.3 mm~2 mm 가량 된다.

본 연구에서는 여러 가지 형상 측정 방법 가운데 과연 어떤 방법이 충기 인식에 가장 적합한지 검증하기 위해 다음과 같은 실험을 했다. 실험에 사용된 장비는 닙코우 디스크 동초점현미경, 레이저주사 동초점현미경, 백색광 주사간섭계이다. 각 측정기는 측정 전에 미국 표준연구소(NIST)가 보유하고 있는 10.52 μm 단차를 갖는 표준단차시편(Standard step height)으로 보정했으며, 표준거칠기시편(Sinusoidal roughness standard) SRM2073a과 상용 시편으로 재검증했다. 표준거칠기시편은 Ra 값^[11]으로 3.00 $\mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$, 주기는 99.099 $\mu\text{m} \pm 0.066 \mu\text{m}$ (Coverage factor[12] k=2)이다. 검증 결과, 세 측정기 모두 시편의 불확도(Uncertainty)^[12] 이내에 들어가는 좋은 결과를 보였다.

세 종류 측정기의 보정과 검증을 마친 후, 표준탄두를 이용해서 실제 측정에 들어갔다. 측정에 사용한 표준탄두 SRM2460은 미국 표준연구소에서 개발되어 보급하고 있으며^[9] 그 설계형상(Virtual profile)을 이미 알고 있다. 이 설계형상이 세 측정기의 성능을 평가하기 위한 기준(Reference)가 된다. 평가 순서는 다음과 같다.

- (1) 각 측정기를 동일한 시편으로 보정, 검증한다.
- (2) 각각의 측정기로 표준탄두의 6개 랜드의 프로파일(탄

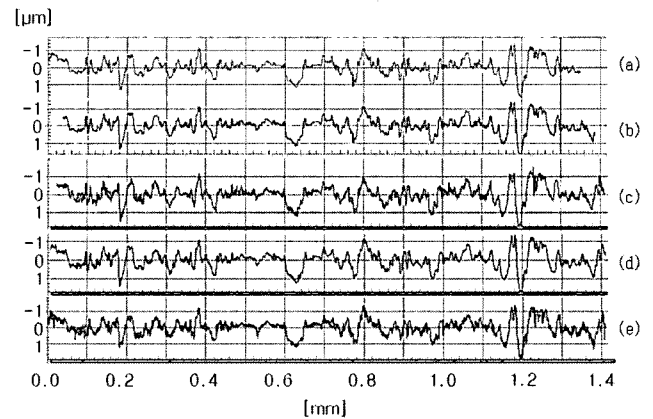


그림 4. 랜드의 탄흔 프로파일(그림 3(b)의 x 방향 프로파일), (a) 기준 설계 형상, (b) 스타일러스로 측정된 형상, (c) 백색광 주사간섭계로 측정된 형상, (d) 닙코우 디스크 동초점현미경으로 측정된 형상, (e) 레이저주사 동초점현미경으로 측정된 형상.

흔)을 측정한다. 세 측정기의 자세한 측정 사양은 표 1과 같다.

- (3) 표준탄두 설계형상의 정확성을 검증하기 위해 기존에 이미 성능이 검증된 스타일러스 방식으로 한번 더 측정한다. 자세한 사양은 표 2와 같다.
- (4) 위의 2번과 3번 단계에서 얻은 24개의 탄흔 측정 결과 [(세 개의 측정기+스타일러스) × 6개 랜드 = 24 프로파일]을 기준이 되는 표준탄두의 설계형상과 비교한다. 이때 측정치와 설계형상이 서로 얼마나 일치하는지 수치화 하기 위해 교차대비(Cross correlation) 함수 가운데 가장 값이 큰 CCF_{max} ^[13]를 사용한다.

그림 4는 이상과 같은 방법으로 표준탄두의 한 랜드에서 측정된 탄흔 프로파일이다. 각 측정 형상(그림 4(b), 4(c), 4(d), 4(e))이 그림 4(a)의 설계형상과 매우 흡사한 것을 알 수 있다.

설계형상과 일치하는 정도를 보다 정확하게 수치화 하기 위해 CCF_{max} 값을 비교해 보았다. 그 결과 스타일러스 측정 결과는 설계형상과 CCF_{max} 값으로 99.6% 일치하는 것으로 계산되었다. 만일 두 프로파일이 완벽하게 동일하다면 이 값은 100%가 될 것이다. 백색광 주사간섭계의 측정결과는 CCF_{max}

값으로 92.1%, 닙코우 디스크 동초점현미경은 99.0%, 레이저주사 동초점현미경은 95.3%였다. 각 측정을 15일에 걸쳐 반복 테스트(Reproducibility test) 한 결과 그 값에 큰 변동이 없었다(이 때 매 측정마다 측정기를 새로 보정, 검증했다). 결론적으로 본 연구에서는 총기 인식에 가장 적합한 측정기로 닙코우 디스크 동초점현미경을 채택했다.

III. 탄피 측정 및 해석

3.1 탄피 측정 및 해석

탄피 측정에 영향을 줄 수 있는 요소들을 중요한 순서대로 정렬하면 다음과 같다. 개별적인 총기 자체의 특성, 총기모델, 탄피모델, 측정기, 측정 부위, 측정 환경, 격발 방법, 이상과 같이 7가지이다. 본 연구의 목표는 탄흔을 측정해서 이것이 어느 총기에서 격발된 것인지 구분하는 것이다. 그러므로 위의 7가지 요소 가운데 측정기, 측정부위, 측정환경, 격발 방법 같은 외부 요인의 영향을 받지 않도록 실험 계획을 세울 필요가 있다. 본 연구에서는 동일한 측정기(닙코우 디스크 동초점현미경)로 동일한 부위(파이어링 핀, 브리치 페이스, 이젝터 마크)를 동일한 환경 및 동일한 보정 상태에서 측정했다. 또한 격발로 인한 영향을 최소화 하기 위해 그림 5와 같은 자동 격발장치를 제작했다.

실험 계획은 다음과 같이 설계되었다. 서로 다른 세 회사의 총기를 각각 4개씩 택해서 총 12개를 준비했다. 탄피와 탄두, 화약이 결합된 탄약(Ammunition)은 서로 다른 4 회사의 것으로 준비했다. 또한 총 하나에서 동일한 종류의 탄약으로 3번씩 반복 격발하도록 했다. 따라서 격발된 탄피는 총 144개이며, 이 가운데 108개를 무작위(Random)로 선별해서 측정 대상으로 정했다.

측정 결과는 그림 6과 같은 순서로 해석, 처리했다. 우선 측정을 하고, 이로부터 그림 7과 같은 측정 노이즈(Noise)를 제거한다. 측정 노이즈는 특히 파이어링 핀 부분에서 많이 발생한다. 다른 부분에 비해 파이어링 핀이 깊고 오목한 형상을 하고 있어 고른 조명이 어렵기 때문이다. 실제 형상

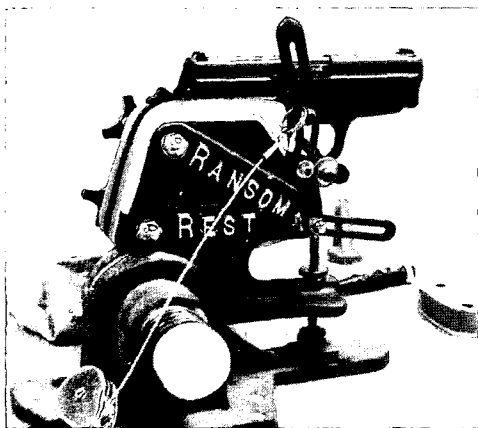


그림 5. 자동 격발장치, 총기가 장착된 모습.

과 노이즈를 구분하는 방법은 간단하다. 닙코우 디스크 동초점현미경으로 50배 대물렌즈를 사용해서 측정할 경우, 측정 가능한 표면 기울기는 약 35°까지로 제한된다. 그러므로 그림 7에서 보는 것처럼 70°~80°가 넘어가는 지역은 노이즈로 판명할 수 있다. 1차로 노이즈를 제거한 뒤에도 탄흔 정보라고 보기 어려운 거칠기(Roughness) 성분이 남는데, 이것은 가우시안(Gaussian) 필터를 이용해서 제거한다. 이 거칠기 성분은 탄피 자체가 갖는 표면 특성으로 생각된다. 이상과 같은 후처리를 통해 두 개의 탄흔 형상을 얻으면, 이 두 형상을 서로 교합(Registration)하면서 2차원 CCF_{max}를 구한다. 교합은 그림 6 왼편의 기준 형상을 중심으로 비교 형상(그림 6의 오른편)을 x, y 방향으로 평행이동, 또는 회전이동(광축 z에 대한 회전) 하면서 가장 적합한 위치를 찾는다.

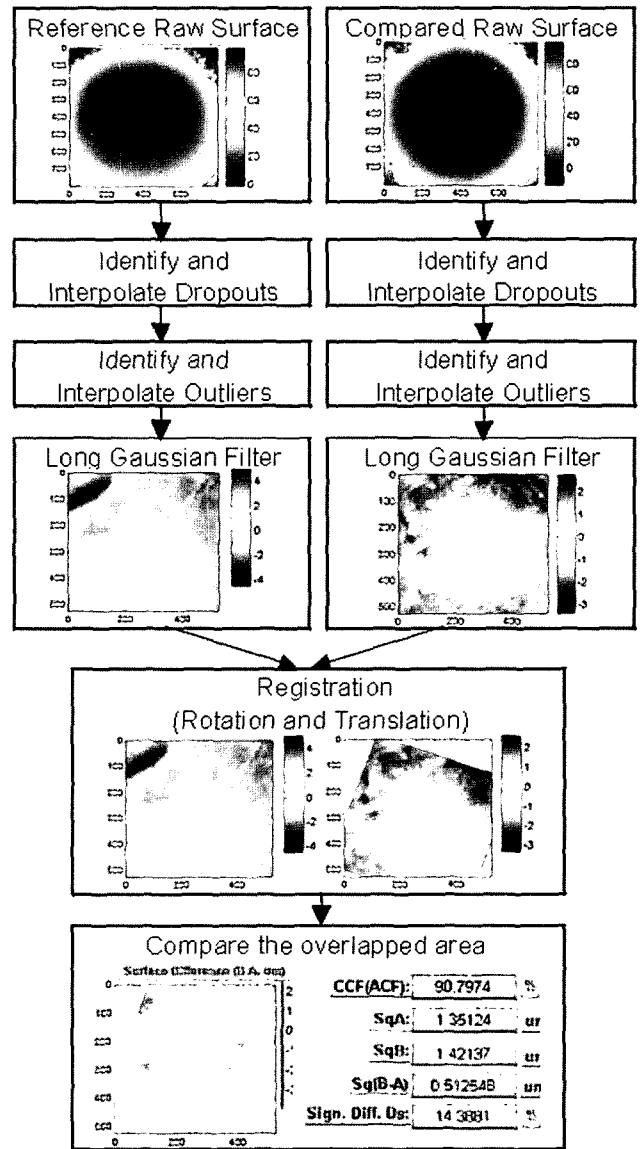


그림 6. 탄피의 탄흔 해석 알고리즘 순서도(위에 예시된 그림은 파이어링 핀 탄흔의 측정 및 해석 결과).

본 논문에서는 탄피에서 중요한 세 가지 부분 가운데 파이어링 핀과 브리치 페이스에 대해서만 2차원 CCF_{max} 를 계산했다. 이젝터 마크의 경우, 측정 대상인 탄흔 자체보다 탄피에 새겨진 회사 심볼의 영향이 더 커서 아직 원하는 수준의 해석이 안 되고 있기 때문이다. 파이어링 핀과 브리치 페이스의 대표적인 형상 측정 결과는 그림 8과 같다.

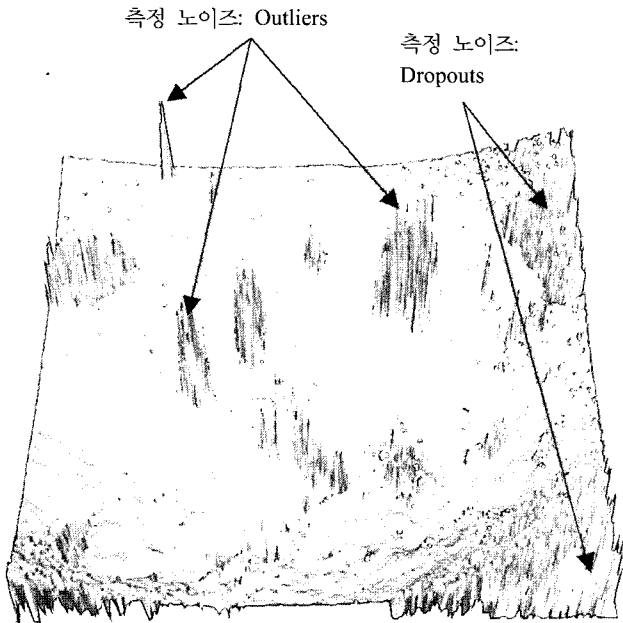


그림 7. 파이어링 핀 측정에 나타나는 측정 노이즈



(a)



(b)

그림 8. 서로 다른 2개의 총기로부터 격발된 탄피로부터 얻은 탄흔, (a) 파이어링 핀 측정 결과, (b) 브리치 페이스 측정 결과.

3.2 탄피의 탄흔 해석 결과

앞의 3.1절에서 설명한 바와 같이, 측정은 144개의 탄피 가운데 108개에 대하여 이루어졌다. 각 탄흔들을 서로 비교해서 CCF_{max} 값을 구하면 총 108×107 개의 CCF_{max} 가 계산된다(교합과정의 특성 상, 측정값 a을 기준으로 b를 교합했을 때와 b를 기준으로 a를 교합했을 때 CCF_{max} 계산 결과가 미세하게 다르다. 따라서 총 CCF_{max} 는 108×107 개가 계산되어야 한다). 이상적인 총기 인식의 경우, CCF_{max} 는 다음과 같은 순서로 정렬되어야 한다. 예를 들어 표 3에서 보는 것처럼 2개의 서로 다른 총(A, B)에서 두 개의 서로 다른 탄약(Φ , Ψ)를 교대해서 장착하고 각각 두 번씩 격발했다고 하자. 이때 탄흔 a ϕ 1을 기준으로 다른 7개의 탄흔들을 대비(Correlation)하면, 같은 총, 같은 탄약을 사용해서 얻은 a ϕ 2와 가장 유사해야 한다. CCF_{max} 값도 이 때 가장 크게 나와야 한다. 같은 총, 다른 탄약을 사용한 a ψ 1, a ψ 2가 그 다음으로 큰 CCF_{max} 를 가질 것이다. 총 B를 사용해서 얻은 b ϕ 1, b ϕ 2이나 b ψ 1, b ψ 2는 현저하게 다른 탄흔 형상을 보일 것이므로 당연히 CCF_{max} 도 작아야 한다. 이와 같은 순서로 CCF_{max} 값이 정렬되어야 측정된 탄흔을 보고 어느 총에서 격발된 것인지 추정할 수 있다. 이 현상을 알기 쉽게 그래프로 표현하면 그림 9와 같다. 그림 9는 CCF_{max} 값의 분포도이며 x축은 CCF_{max} 값을 의미하며, y축은 그 CCF_{max} 값이 나올 비율을 의미한다. 그림 9에서

표 3. 탄흔 표기.

Sequence	Gun	Ammunition	Repetitions	Ballistic Signature index
1	A	Φ	1	a ϕ 1
2			2	a ϕ 2
3		Ψ	1	a ψ 1
4			2	a ψ 2
5	B	Φ	1	b ϕ 1
6			2	b ϕ 2
7		Ψ	1	b ψ 1
8			2	b ψ 2

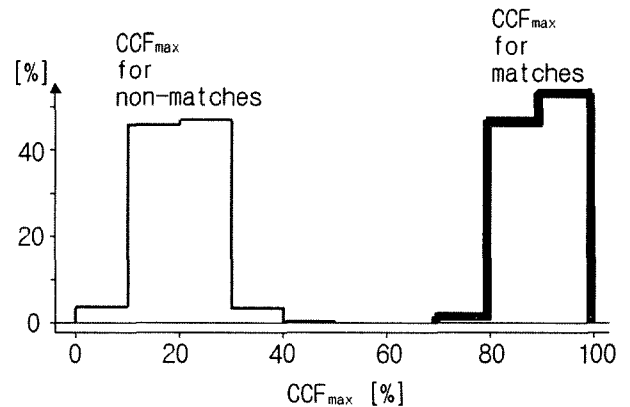


그림 9. 이상적인 CCF_{max} 분포도.

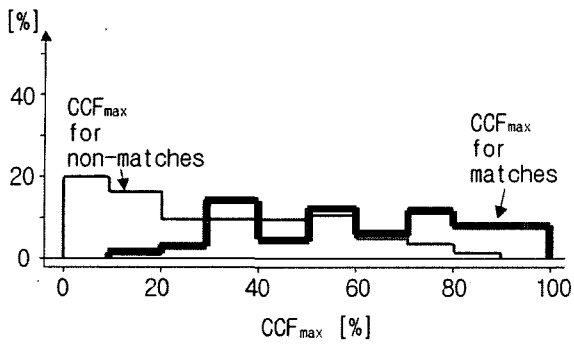


그림 10. 파이어링 핀 탄흔으로부터 얻은 실제 CCF_{max} 분포도.

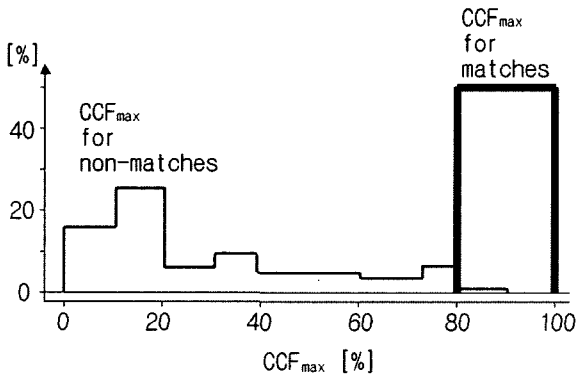


그림 11. 브리치 페이스 탄흔으로부터 얻은 CCF_{max} 분포도.

보는 것처럼, 같은 회사 총기리 비교한 결과와, 서로 다른 총을 비교한 결과는 뚜렷하게 구분이 되어야 한다.

물론 이것은 이상적인 경우의 이야기이고, 실제로 파이어링 핀 탄흔을 측정해서 계산한 CCF_{max} 분포는 이와 상이하다. 그림 10에서 보는 것처럼 다른 회사 총과 비교해서 구한 CCF_{max} (Non-matches) 값이 동일한 회사 총에서 얻어진 CCF_{max} (Matches) 보다 더 높게 나올 확률이 30%가 넘는다. 결국, 파이어링 핀의 탄흔 정보만으로는 이것이 어느 회사 어떤 총에서 격발된 것인지 밝힐 수 없다는 결론이다.

하지만 파이어링 핀이 아니라 브리치 페이스 탄흔으로부터는 아주 유용한 정보를 얻을 수 있었다. 브리치 페이스 탄흔으로부터 얻어진 CCF_{max} 분포도는 그림 11과 같다. 거의 이상적인 분포를 보이므로 이것이 어느 총에서 격발되었는지를 높은 확률로 구분할 수 있다.

IV. 결 론

기존에 개발된 2차원 총기종합인식시스템은 탄두의 탄흔은 물론이고, 파이어링 핀과 브리치 페이스, 이젝터 마크 모두 신뢰 있는 총기 인식이 불가능했었다. 그 가운데 파이어링 핀의 탄흔에서 상대적으로 나은 결과를 얻기는 했지만, 이 또한 신뢰도가 많이 떨어졌다.

하지만 본 연구에서 3차원 형상 측정기를 사용하고 새로운 비교 알고리즘을 적용한 결과 브리치 페이스의 탄흔에서 뚜

렷하고 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 기존 방법을 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, pp. 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, pp. 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, pp. 7334-7388, 1994.
- [4] A. Harasaki, J. Schmit, and J.C. Wyant, "Improved vertical-scanning interferometry", *Appl. Opt.* vol. 39, no. 13, pp 2107-2115, 2000.
- [5] A. Harasaki and J.C. Wyant, "Fringe modulation skewing effect in white-light vertical scanning interferometry", *Appl. Opt.* vol. 39, no. 13, pp. 2101-2106, 2000.
- [6] 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, pp. 35-40, 1999.
- [7] 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, pp. 52-62, 2002.
- [8] M.A. Schmidt and R.D. Compton, *In Blau PJ (Ed) ASM Handbook Volume 18 Friction, lubrication, and wear technology* (ASM International, Materials Park, OH, USA, 1992), pp. 357-361.
- [9] J. Song, T. Vorbuerger, 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.
- [10] J.F. Song and T.V. Vorbuerger, "Stylus profiling at high resolution and low force", *Appl. Opt.* vol. 30, no. 1, pp. 42-50, 1991.
- [11] ASME B46. 1-2002, *Surface texture [Surface roughness, waviness, and lay]* (An American National Standard, The Am. Soc. Of Mech. Eng., USA, 2003), pp. 6-12.
- [12] ISO, *Guide to the expression of uncertainty in measurement First Edition* (International Organization for Standardization, Switzerland, 1993), pp. 19-24.
- [13] J. Song, E. Whinton, D. Kelley, R. Clary, L. Ma, and S. Ballou, "SRM 2460/2461 standard bullets and casings project", *J. Res. Natl. Inst. Stand. Tech.* vol. 109, no. 6, pp. 533-542, 2004.

Surface Topography Measurement and Analysis for Bullet and Casing Signature Identification

Hyug-Gyo Rhee[†] and Yun Woo Lee

Dept. of Information and Communication, Hoseo Univ., 165 Sechul-ri, Baebang-myun, Asan 136-795, KOREA

Theodore Vincent Vorburger and Tomas Brian Reneger

*National Institute of Standards and Technology, Precision Engineering Division, Surface and Microform Metrology Group,
NIST 100 Bureau Drive, Gaithersburg, MD20899, USA*

[†]*E-mail: hrhee@kriss.re.kr*

(Received December 1, 2005, Revised manuscript January 13, 2006)

The Integrated Ballistics Identification Systems (IBIS) is widely used for bullet and casing signature identification. The IBIS obtains a pair of ballistic signatures from two bullets (or casings) using optical microscopy, and estimates a correlation score which can represent the degree of signature match. However, this method largely depends on lighting and surface conditions because optical image contrast is primarily a function of test surface's slope, shadowing, multiple reflections, optical properties, and illumination direction. Moreover, it can be affected with surface height variation. To overcome these problems and improve the identification system, we used well known surface topographic techniques, such as confocal microscopy and white-light scanning interferometry. The measuring instruments were calibrated by a NIST step height standard and verified by a NIST sinusoidal profile roughness standard and a commercial roughness standard. We also suggest a new analysis method for the ballistic identification. In this method, the maximum cross-correlation function CCFmax is used to quantify the degree of signature match. If the compared signatures were exactly the same, CCFmax would be 100%.

OCIS Codes : 120.6650, 120.6660, 180.3170, 180.5810, 180.1790.