

화포 내부 압력의 자동 측정시스템 개발

이정호*, 김동희
국방기술품질원 국방종합시험단

A development of the Automatic Measuring System for internal pressure of the artillery

Jeong-Ho Lee*, Dong-Hee Kim
Defense Firing Test Group, Defense Agency for Technology and Quality

요약 탄약 등 화약류는 운용 특성 상 반복 및 재현이 불가능한 1회성 품목이다. 시험 과정의 신뢰성, 시험 결과의 신뢰성 확보는 총포 및 탄약의 성능 평가에서 중요한 요소라고 할 수 있다. 사격 후 포강내 압력은 총포류 수락시험, 탄약류 성능 시험 등에서 중요한 값이므로 정확한 계측이 요구된다. 강내 압력은 Cu 계열의 동구게이지를 이용하여 측정한다. 변형된 동구의 압착량은 길이-압력 변환표 또는 변환식에 의해 압력으로 환산된다. 따라서 압착량의 정확한 계측은 압력 값의 정확한 추정과 직결된다. 현재 압력 측정은 작업자에 의해 수동으로 측정되고 있으며, 이는 측정 결과의 신뢰성 측면에서 오차(human error)를 항상 내포하고 있다. 이에 본 연구에서는 계측 오차 발생 요인을 분석하고, 오차를 줄이기 위해 동구 변형량 자동 측정 시스템을 개발하였다. 접촉식 프로브 센서 및 광학계를 이용하여 자동으로 동구 변형 정도를 측정할 수 있도록 하였으며, 동구의 안정적 거치를 위한 지그 또한 설계하였다. 측정 시스템의 운영 및 측정 결과의 분석을 위해 전용 SW 또한 개발하였다. 본 연구를 통해 개발된 자동 측정 시스템은 향후 탄약 저장신뢰성평가 시험, 총포 탄약 수락시험 및 기술시험 등에 활용될 수 있을 것이다.

Abstract Chemicals, such as ammunition, are disposable items that cannot be reused because of their operational characteristics. The reliability of the test process and test results are important factors in evaluating the performance of guns and ammunition. The pressure after firing is a crucial value in an acceptance test of guns and ammunition performance; hence, accurate measurements are required. The pressure in the artillery is measured using the copper crusher gauge. The compression amount of copper is converted into a pressure by either a length-pressure conversion table or conversion formula. Therefore, the exact measurement of the squeeze of the copper crusher is related directly to the correct estimate of the pressure. Currently, the pressure is measured manually by the operator, which always includes some human error. In this study, the cause of the measurement error was analyzed, and the automatic measuring system for copper crusher deformation was developed to minimize the error elements. A copper crusher could be measured using the probe sensor and CCD camera, and the Jig for stable positioning was also designed. A designated SW was also developed for the system operating and measurement-analysis. This measuring system through this study may be used for an ammunition stockpile reliability test and gun/ammunition acceptance test.

Keywords : Copper Crusher, Ammunition, Reliability, Probe, Human Error

*Corresponding Author : Jeong-Ho Lee(Defense Agency for Technology and Quality)
email: ejh@dtq.re.kr

Received September 28, 2020
Accepted February 5, 2021

Revised October 22, 2020
Published February 28, 2021

1. 서론

국방 분야의 총포 및 탄약의 성능 시험은 국내 시험장 여건 및 시험물의 특성으로 인해 많은 제약이 따른다. 이에 따라 총포 및 탄약의 성능 시험 수행 과정에서 안정적 데이터 확보 및 시험 결과의 신뢰성 확보가 요구된다. 탄약의 특성 상 반복 및 재현이 불가능한 1회성 품목에 해당하므로 시험 과정의 신뢰성, 시험 결과의 신뢰성 확보는 총포/탄약 성능 평가의 근간이라 할 수 있다.

시험 평가 항목 중 포신 또는 포강 내에 형성되는 압력은 총포 및 탄약의 성능 여부를 결정짓는 중요한 인자이다. 국방기술품질원의 105MM 포신의 로트 수락 시험 절차서에서는 포신의 수락을 위해 약 00,000psi 이상의 강내 압력 형성을 요구하고 있다[1]. 기준압 이상을 형성하기 위해 제작된 초과압탄을 이용하여 포신 수락을 위한 자격시험을 수행하고, 이때 형성된 강내 압력은 동구 게이지를 이용하여 계측한다. 강내 압력의 계측 값은 총포류 수락시험 성공 여부, 탄약류 성능 충족 여부 등 시험 대상물의 성능 판정에 영향을 주므로, 계측 값에 영향을 줄 수 있는 측정 오차(Measuring Error)의 최소화가 필요하다.

총포·탄약의 시험 평가에서 강내 압력은 Cu 계열의 동구게이지(Copper Crusher Gauge)를 이용하여 계측되고 있다[2, 3]. 포신 내 형성된 압력을 계측하기 위해 압전소자를 이용한 IPG(Internal Piezo Gauge)를 사용하여 계측할 수도 있다[4]. 압전형 타입의 센서는 약실압에 의한 센서 변형 및 이에 따른 정전하가 발생하게 된다. 이 때 발생한 전하량을 별도의 DAQ 모듈을 이용하여 압력값으로 환산하여 계측하게 된다. 이와 같은 IPG를 사용하기 위해 센서 내의 데이터 초기화 등 별도의 작업이 필요하며 전자탄약과 같이 약협내 게이지를 삽입하여 운용하는 형태에서는 적용이 쉽지 않은 단점이 있다.

포열 내 삽입된 동구게이지는 탄약 내 추진화약(추진제)의 연소과정에서 발생하는 압력에 의해 변형이 일어나며, 이때 발생한 동구의 압착량을 계측한 후 압착량-압력 환산표에 의해 압력을 계산하게 된다. Fig. 1은 포강 내에서 압력이 생성된 후 동구게이지의 작동을 나타낸 그림이다.

따라서 화포 약실의 내부 압력 결과의 신뢰성은 동구 측정의 신뢰성에 종속되어 있다고 할 수 있다. 현재 강내 압력의 측정 작업(시험원)에 의해 수동 측정되고 있으며, 이는 측정 결과의 신뢰성 측면(Gauge R&R)에서 오차(human error)를 항상 내포하고 있다. 이에 본 연

구에서는 동구의 변형량 측정 과정에서 발생할 수 있는 오차 요인에 대한 분석을 수행하였으며, 이를 토대로 하여 압력 측정의 신뢰성 및 성능 평가 시험의 효율성을 향상시키기 위한 방법의 일환으로써 동구 변형량 자동 측정시스템을 연구 개발하였다.

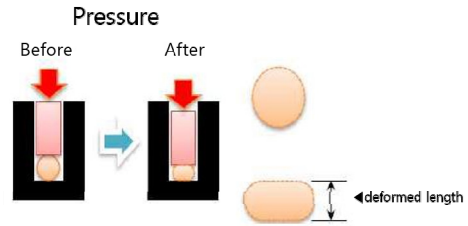


Fig. 1. Deformation of pressure gauge

2. 압력 측정

2.1 측정 프로세스

포강내 압력 측정을 위한 동구게이지의 운용은 화포 및 탄약에 따라 차이가 발생한다. 대구경 화포(155MM 등)의 경우 동구게이지를 화포의 약실부에 탄약(추진장약)과 별개로 하여 삽입한다. 전차용 화포(105MM 등) 및 박격포는 탄약 내부에 동구게이지를 삽입하여 운용한다. 이와 같이 동구게이지는 총포 및 탄약류의 평가 시험 종류에 따라 다양한 방식으로 운용되고 있다.

동구게이지는 약실 내 탄약의 추진제가 점화되면 폭발압(최대 100,000psi)이 발생하고 작용-반작용의 원리에 의해 탄체는 포신 밖으로 이탈하게 된다. 이 과정에서 동구게이지 내부의 피스톤 압착에 의해 동구의 변형이 일어나게 된다. 탄체(탄두)가 포신을 이탈한 후 게이지는 포강 내 약실부에 대부분 남아 있으므로 게이지를 회수하여 동구를 분리한다. 동구의 압착량을 측정하고, 압착량-압력 환산표를 이용하여 압착량에 해당하는 압력 값으로 환산된다(Fig. 2).



Fig. 2. Process of pressure measuring

2.2 측정 오차 요인 분석

약실 내 형성된 압력은 직접 계측이 불가능하므로 동구게이지를 이용한 간접 방식을 이용하여 측정하고 있다. 따라서 약실 압력의 정확도는 동구의 측정 정확도 및 정밀도에 큰 영향을 받게 된다. 현재 수준에서 총포 및 탄약의 시험 평가 중 압력 측정은 측정자(운영자)가 동구와 마이크로미터를 이용하여 수동으로 측정 및 환산(압착량 → 압력)하고 있다. 이러한 방식은 측정자의 상태, 판단의 숙련도, 측정방법 및 측정기의 정확도, 사용 편의성 등의 측면에서 다양한 오차 요인을 내포하고 있다. 이와 같은 오차 요인에 대한 특성 요인(4M 1E)을 분석하면 Fig. 3과 같다.

압력 측정에 영향을 주는 특성 요인 중 재료(material), 방법(method), 환경(environment)은 비제어 요소(non-control factor)에 해당된다. 반면 장비(machine), 측정자(man)는 시험 환경에 맞춰 조절할 수 있는 제어 요소(control factor)라고 할 수 있다. 오차 유발 요인 중 제어 요소인 측정 장비 및 측정자에 대한 오차 발생 요소를 줄임으로써 압력 측정의 신뢰성을 확보할 수 있게 된다.

이에 본 연구에서는 측정자 및 측정기에 의해 발생할 수 있는 오차를 최소화하고, 압력 계측의 효율성 및 편의성, 신뢰성을 확보하고자 동구의 변형량을 자동으로 계측할 수 있는 측정 시스템을 개발하였다.

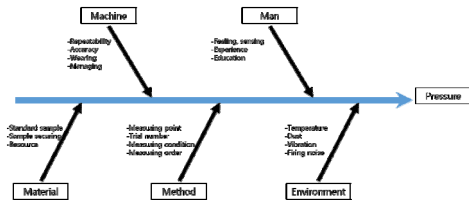


Fig. 3. Characteristics diagram for measurement

3. 자동 측정 시스템

총포 및 탄약의 평가 시험에서 평가 결과의 성공/실패 여부는 일반적으로 포구속도(탄속) 및 포강내 압력 값에 의해 결정된다. 탄속의 경우는 도플러 원리를 이용한 속도 계측 시스템을 이용하여 비교적 정확하고 정밀하게 측정된다[5]. 반면 강내 압력은 동구게이지의 압력에 의한 변형에 의해 간접적으로 산출되고 있다. 따라서 동구 측정의 신뢰성 확보는 압력 값의 신뢰성과 밀접하게 연

관되어 있다.

앞서 2절에서 분석한 측정 오차 요인을 줄이기 위해 본 연구에서는 광학적, 비광학적 센서를 활용한 자동 측정 시스템을 개발하였다. 자동 측정 시스템의 개발 과정은 Fig. 4와 같다.

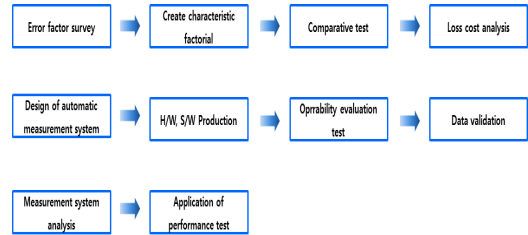


Fig. 4. Flow diagram for development

3.1 개념 설계

동구 변형량을 계측하기 위한 자동 측정 시스템은 크게 두 가지 측면에서 검토하였다. 첫째, 동구의 형태를 고려한 계측 센서의 선정. 둘째, 동구의 안정적 거치 및 운용 환경을 고려한 동구 거치 베이스의 설계. 계측 센서는 원형의 부품을 측정해야하므로 일반적으로 산업 현장에서 적용되고 있는 접촉식 및 비접촉식을 검토하였다. 센서의 검토는 정밀도(Precision)와 정확도(Accuracy)를 주요소로 고려하였다. 또한 원형의 부품이 가지는 곡면의 특성을 반영한 측정 방식의 적절성도 같이 고려하였다.

동구 거치 베이스는 직경 약 5mm 정도의 동구를 계측이 가능하도록 배열할 수 있도록 설계하였다. 계측 센서와의 연계성을 고려하여 베이스를 설계하였으며, 다수의 동구를 동시에 측정이 가능하도록 하였다. 본 시스템의 개발 요구 사항을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of system

Item	sub-item	Specification
Measurement	before pressing	possible to automatic 30rounds measuring
	after pressing	deformed length : 3 ~ 6mm
Vibration	Anti-vibration	No affection by gun-fire vibration
Repeatability	repeatability	≤ 1um

3.2 계측 센서

마이크로미터를 이용한 수동 측정을 대체할 수 있는 자동 측정 시스템의 핵심은 계측 센서이다. 본 연구에서

는 정밀부품검사에 일반적으로 활용되고 있는 광학센서 (CCD 카메라 및 광학계), 레이저 변위센서, 접촉식 프로브 센서의 세가지 타입을 검토하였다.

① 광학센서(카메라 및 광학계)

광학계와 카메라를 이용하여 측정 가능성을 검토하였다. 조명계는 동축 조명(Coaxial Lighting) 및 배사 조명(Back Lighting), 링조명(Ring Lighting)을 적용하였으며, 동구 직경 및 계측 정밀도를 고려하여 렌즈 배율 (0.5X) 및 카메라 사양(픽셀 수 : 1280 x 960, FOV : 9.6 x 7.2mm)을 결정하였다. Fig. 5는 카메라 및 렌즈, 조명을 고려한 광학계 형상이다.



Fig. 5. Optical system

② 레이저 변위센서

레이저는 뛰어난 직진성 및 가간섭성을 가지는 특성이 있어서 거리 측정 등에 많이 이용되고 있다. 레이저 변위 센서는 발광부와 수광부의 조합으로 구성되어 있으며, 검사 대상물에 일점 조사(Spot Lighting) 또는 일렬 조사(Array Lighting)를 하게된다. 그러나 원형 대상물의 경우 반사광의 난반사 또는 경로 이탈이 일어날 경우 신호 계측이 불안정해지는 경향이 있다. 또한 주변 환경(외부 조명, 진동)에 민감하여 베이스 거치대의 정밀 설계가 필수적으로 요구된다.

③ 접촉식 프로브 센서

접촉식 프로브 센서를 이용한 측정 방식은 X, Y, Z축의 방향을 제어하여 대상물의 변위 등을 측정하게 된다. 프로브 센서는 정밀도가 높고 주변 환경에 대한 내구성이 높은 장점을 가지고 있다. Fig. 6은 접촉식 프로브 센서의 동작 원리를 나타내고 있다. 기본 원리는 접촉 시 발생하는 힘과 센서 내부의 스프링 장력 사이의 모멘트

평형에 의하여 측정물의 변형량을 계측하게 된다.

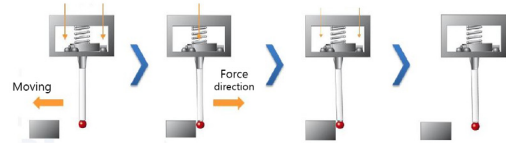


Fig. 6. Principle of probe

프로브 센서의 가장 큰 장점은 외부 진동에 대한 강인성, 계측 결과의 신뢰성이라 할 수 있다. 155mm 추진장 약의 화포 시험 경우 약 150dB 이상의 충격이 발생하는 환경에서도 데이터 왜곡 없이 신뢰할 만한 결과 값의 도출이 가능하다[6].

3.3 거치 베이스

거치 베이스는 계측 센서의 고정, 동구의 거치 등 계측과 관련해서 중요한 역할을 한다. Fig. 3의 특성요인도에서 환경측면(Environment) 중 진동 등의 외란을 일차적으로 막아주는 역할을 수행하게 된다. 따라서 동구 변형량 계측 시스템에서는 화포 시험의 측정 환경에 최적화 되도록 화강암 계열의 석정반을 적용하였다. 계측 센서 및 동구 고정 지그 안착을 위한 석정반 형태는 Fig. 7과 같다. 석정반의 장점은 내부식성, 내마모성을 가지고 있으며, 일반적으로 정밀 측정 장비에 많이 사용되고 있다. 또한 석정반 자체 무게로 인해 고유진동수가 높아짐으로써 화포 발사와 같은 고주파성 충격 및 잔진동에 강건하게 된다. Fig. 8은 동구를 거치할 수 있는 지그 형태를 나타내고 있다. 약 30개의 동구를 장착할 수 있도록 하였으며, 3점 접촉을 통한 동구 안착이 이루어지도록 하였다.

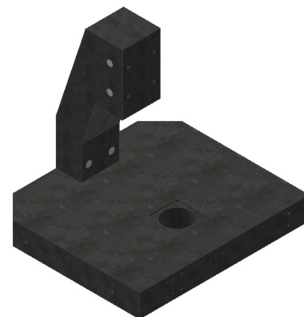


Fig. 7. Base Design

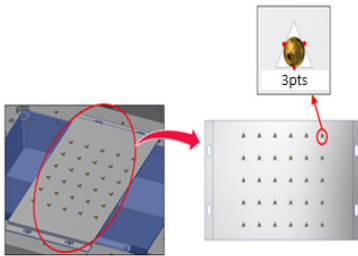


Fig. 8. Zig Design

3.4 SW 설계

시스템 운영을 위한 SW는 사용자 편의성에 초점을 맞춰 진행하였다. 자동측정시스템의 기본 소프트웨어는 Neuro view를 기반으로 한 운영환경으로 사용자가 사용 환경에 부합하도록 UI변경 및 설계가 가능하다. 운영 환경은 Windows 7 이상, CPU는 Core 2 Duo 2.2GHz 이상, 메모리(RAM) 2.0GB 이상, 그래픽 어댑터(VGA)전용 비디오 메모리 256MB 이상 PC스펙에서 원활한 운영이 가능하다.

Fig. 4의 개발 과정 중 계측을 제외한 나머지 프로세스는 본 시스템의 SW에서 모든 처리가 되도록 구성하였다. 동구 계측을 위한 HW 설정 및 운영, 측정 값에 대한 자동 분석 및 결과 저장 등 각종 기능이 가능하도록 하였다. Fig. 9는 본 연구에서 개발된 SW의 사용자 환경(UI)을 나타낸 그림이다.

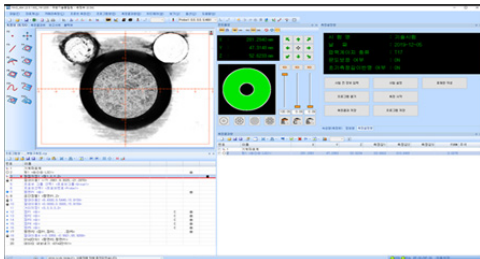


Fig. 9. SW UI

측정을 위해 시험품목 별 동구게이지 선택 등 시험 전 사전정보를 S/W에서 입력을 하여야 한다. Fig. 10은 시험 전 정보 입력 창으로써 초기 동구길이 측정 버튼은 동구게이지 모델 별(T계열, M계열)로 생산 공차 대비 크게 벗어난 동구가 있는지 검사하기 위한 기준값을 입력하게 된다. 동구의 생산 공차 차이가 과도 하면 해당 동구를 사격시험에서 사용하지 않고 제외할 수 있도록 설계하였다.

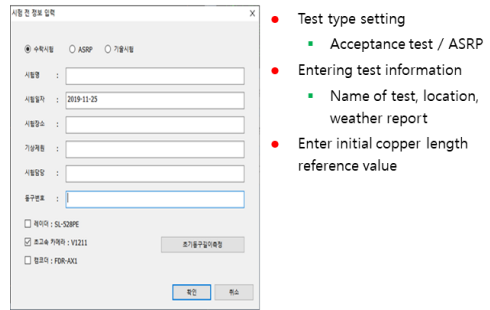


Fig. 10. Before the information entry set

4. 시스템 제작

동구 자동 측정을 위한 계측 시스템을 개발하였으며, 시스템의 안정적 운영을 위한 검증을 수행하였다. 특히 적절한 센서의 선정은 포강 내 압력 계측 결과에 절대적으로 영향을 미치므로 실증 데이터를 이용한 검증과정이 반드시 필요하다.

4.1 측정 센서 검증

4.1.1 광학계

광학계를 이용하여 동구의 측정 가능 여부를 확인하였다. 변형 발생 전 동구 측정은 배사조명(Back lighting)을 적용하였으며 에지 검출을 위한 영상처리 알고리즘 및 직경 산출을 위한 원형 피팅 알고리즘을 적용하였다 [7]. Fig. 11은 동구의 카메라 영상이다. 그러나 압착된(사격 완료 후) 동구의 경우 변형 형태가 불규칙하고 지그 안착 상태에 따라 영상이 왜곡되는 현상이 발생하여 측정 센서로서 사용이 불가능함을 확인하였다(Fig. 12). 따라서 광학계는 시험 전 동구의 상태 측정 및 검사 시스템의 원점 조정 용도로 사용하도록 하였다.



Fig. 11. CCD Image before pressing

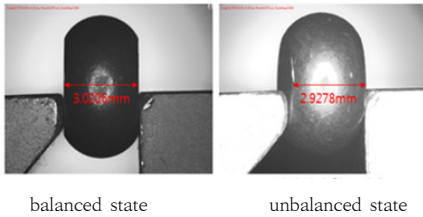


Fig. 12. CCD Image after pressing

4.1.2 프로브 센서

화포 사격을 통해 획득된 시료(동구)를 프로토 타입의 검사 장비(접촉식 프로브 센서)에서 측정 및 분석을 수행하였다. 기존 마이크로미터의 측정 결과와 프로브센서로 측정된 결과를 비교 및 검증하였다. 측정 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Test result(unit : mm)

	micrometer (A)	probe sensor (B)	difference A-B
1	2.9900	2.9821	0.0079
2	2.9940	2.9923	0.0017
3	2.9790	2.9749	0.0041
4	3.0190	3.0119	0.0071
5	3.0160	3.0159	0.0001
6	3.0470	3.0464	0.0006
7	2.9940	2.9894	0.0046
8	2.9960	2.9953	0.0007
9	3.0260	3.0273	0.0013
10	3.0180	3.0193	0.0013
11	2.9860	2.9793	0.0067
12	3.0220	3.0179	0.0041
average	3.00725	3.00433	0.00335

통계적 분석을 통해 마이크로미터 계측 값과 프로브센서 계측 값의 유사성을 검증하였다. 통계적 검정 방법 중 모집단의 분산이나 표준편차를 알지 못하므로 T-검정을 사용하여 결과 값을 분석하였다. 두 데이터 집단의 등분산 여부를 확인하기 위해 F-검정을 먼저 수행하였다.

① F-검정

두 데이터 집단의 등분산 여부를 확인하기 위해 다음과 같이 가설을 설정하였다.

- 유의수준(α) : 5%
- 귀무가설 H_0 : 등분산이다
- 대립가설 H_1 : 등분산이 아니다

통계 분석 결과는 Table 3과 같으며, F값(0.84467) > 기각역(0.3579)이므로 대립가설 채택(귀무가설 기각)되며, 유의수준 5%에서 두 데이터 집단은 등분산이 아닌 데이터 분포를 가진다고 할 수 있다.

Table 3. Summary of F-test

	micrometer	probe sensor
Mean	3.00725	3.004333
Variance	0.000409	0.000485
Observations	12	12
DOF	11	11
F	0.8446	
P(T<=f) one-tail	0.3922	
f-Critical one-tail	0.3549	

② T-검정

두 데이터 집단의 평균 값의 차이 여부를 확인하기 위한 T-검정 가설을 다음과 같이 설정하였다.

- 유의수준(α) : 5%
- 귀무가설 H_0 : 평균의 차이가 없다
- 대립가설 H_1 : 평균의 차이가 있다

통계 분석 결과는 Table 4와 같으며, T통계량(0.7862) < 기각역(2.073873)이므로 대립가설은 기각(귀무가설 채택)되어 유의수준 5%에서 등분산이 가정되지 않았을 때 두 데이터 집단의 평균값의 차이는 없다고 할 수 있다.

Table 4. Summary of T-test

	micrometer	probe sensor
Mean	3.00725	3.004333
Variance	0.000409	0.000485
Observations	12	12
DOF	11	
t Stat	0.337862	
P(T<=f) one-tail	0.369335	
t-Critical one-tail	1.717144	
P(T<=f) two-tail	0.73867	
t-Critical two-tail	2.073873	

실 데이터를 이용하여 프로브 센서 타입의 계측기로 압착된 동구의 계측이 가능함을 확인하였다. 자동 측정 시스템에서는 변형전 동구 상태는 CCD 카메라를 이용해서 확인하고, 압착된 동구의 변형량 측정은 접촉식 프

로브센서를 사용할 수 있도록 시스템을 제작하였다.

4.2 시스템 제작

동구의 자동 계측을 위해 앞절에서 검토한 접촉식 프로브 센서 및 광학계, 그리고 동구의 거치파트, 운영 SW 등으로 전체 시스템을 제작하였다(Fig. 13). 사격 시험 전 동구 30개를 일괄 거치한 후 카메라를 이용해서 동구 상태를 점검 및 위치 좌표를 설정하게 된다. 이후 사격 완료된 동구를 재거치한 후 접촉식 프로브 센서를 이용해서 동구의 변형량을 계측하게 된다. 계측 값은 SW에 탑재된 단위 변환표에 의해 약실 압력으로 최종 결과 값이 산출된다. Table 5는 실 사격 후 압착된 동구(5종)를 본 시스템을 이용하여 10회 반복측정 결과이다.

Table 5. Repeatability test result(unit : mm)

	#1	#2	#3	#4	#5
1	2.9977	3.0351	3.0029	3.0108	2.9933
2	2.9976	3.0349	3.0030	3.0108	2.9931
3	2.9973	3.0346	3.0025	3.0102	2.9928
4	2.9972	3.0346	3.0024	3.0104	2.9926
5	2.9972	3.0344	3.0026	3.0100	2.9925
6	2.9968	3.0346	3.0026	3.0099	2.9929
7	2.9970	3.0343	3.0024	3.0100	2.9928
8	2.9971	3.0345	3.0025	3.0101	2.9927
9	2.9968	3.0345	3.0026	3.0101	2.9925
10	2.9969	3.0342	3.0025	3.0102	2.9928
std	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002

측정 결과는 약 0.3um의 반복도를 가지고 있으며 시스템은 안정적으로 측정됨을 확인하였다.

Fig. 14는 동구를 장착하여 운영할 때의 운영 모습이다. 왼편은 사격 전 동구 장착 모습이고, 오른편은 사격 후 동구 측정 모습이라 할 수 있다.



Fig. 13. Developed system

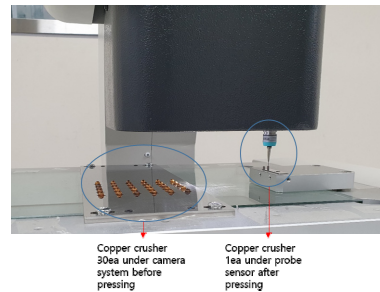


Fig. 14. Copper crusher loaded view

5. 결론

본 논문은 총포 및 탄약의 성능 시험 평가 중 포강 내 압력의 자동 계측을 위한 동구 자동 계측 시스템의 개발을 기술하였다. 시스템의 설계 단계부터 시스템의 구성 및 제작, 운용 등에 대해 다루었다. 마이크로미터를 이용한 동구 변형량 측정은 측정자의 측정기 운용(래칫스톱 조작하는 힘, 시료 위치), 측정자 상태(눈금의 디폴트값, 이물질 오염), 측정자 판단 실수(계산 실수, 수기 실수) 등의 오류가 포함될 가능성이 있다. 이러한 오류를 줄이기 위해 자동계측시스템을 개발하였다. S/W는 압력 환산식을 로직으로 적용하고 각종 데이터를 프로그램으로 관리하도록 구현하여 압력 측정 프로세스를 효율적으로 개선했다.

강내 압력 측정을 위해 산업 현장의 기술을 접목한 측정 시스템을 제작하였으며, 본 시스템이 총포 및 탄약의 ASRP, 수락시험 및 기술시험에 활용될 것으로 기대한다.

References

- [1] KDS 1015-1191, "Cannon, 105MM Gun : M68", Defense Specification, 2019.
- [2] AEP-23, Pressure measurement by crusher gauges NATO approved tests for crusher gauges, NATO army armaments group surface to surface artillery, 2005.
- [3] J.C. Lee, B.W. Jeon, H.Y. Jeon, "A Study on the Improvement of Weapon Chamber Pressure Measurement using Copper Crusher Gauge", Technical Report, Defense Technology and Quality, Korea, 2019.
- [4] M.C. Jung, J.H. Lee, "A Study on the Effects of Relationship between Copper Crusher Gauge and

Internal Piezo Gauge", *Journal of the Korea Academia-Industrial*. Vol.21, No.9, pp.120-127, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.120>

- [5] J.H. Kim, Y.M. Koh, etc, "X-band CW Doppler Radar Development for Measurement of Muzzle velocity", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.20, No.5, pp.460-470, 2009.
- [6] C.M. Yeo, S.H. Park, H.S. Lee, etc, "A Study on the Design and Testing of 155mm Howitzer Silencer", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol.18, No.5, pp.144-149, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2014.18.5.144>
- [7] J.H. Kim, Chanh D.Tr.Nguyen, "Inspection method of BGA Ball Using 5-step Ring Illumination", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.21, No.12, pp.1115-1121, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2015.15.0162>

이 정 호(Jeong-Ho Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울대학교 공과대학원 기계항공공학부(기계공학박사)
- 2012년 9월 ~ 2015년 1월 : 삼성전기 생산기술연구소 책임연구원
- 2015년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

정밀측정, 기계설계, 탄약신뢰성평가

김 동 희(Dong-Hee Kim)

[정회원]



- 2011년 8월 : 숭실사이버대학교 방재학 학사
- 2012년 8월 ~ 2014년 12월 : 국방과학연구소 8본부3부 시험평가
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방신뢰성연구센터 선임기술원

<관심분야>

기계자동화설계, 탄약신뢰성평가