ISSN 1229-1889(Print)
ISSN 2287-9005(Online)
J Korean Soc Qual Manag Vol. 51, No.4: 633-642, December 2023
https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2023.51.4.633

포신 내경 측정시스템 개선을 통한 공정품질 향상

박영민* · 배인화** · 김상부**†

* 국방기술품질원 기동화력센터
** 창원대학교 산업시스템공학과

Process Quality Improvement through Improving Measurement System for Internal Diameter of Gun Barrel

Park, Young Min* · Bae, In Hwa** · Kim, Sang Boo**†

* Land System Center, Defense Agency for Technology and Quality
** Dept. of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University

ABSTRACT

Purpose: The variation of the internal diameters of gun barrel incurs a lot of reworks in gun barrel manufacturing process and the significant quality problem of gun barrel. And it is likely to stem from the current measurement system for the internal diameter of gun barrel and the related manufacturing process as well. The purpose of this study is to improve the gun barrel manufacturing process through improving measurement system.

Methods: The improved measurement system using laser can measure the internal diameters of gun barrel more accurately, and the properly adjusted honing process reduces the variation of internal diameters of gun barrel.

Results: Comparing the mean square error of internal diameters for 6 gun barrels measured before and after process improvement shows that the variation of gun barrel internal diameters was significantly reduced after the process improvement.

Conclusion: The introduction of improved measurement system for the internal diameters of gun barrel and the adjustment of related honing process results in the reduction of reworks of gun barrels and their internal diameter variations.

Key Words: Process Quality Improvement, Measurement System, Gun Barrel, Internal Diameter, Honing Process

● Received 5 November 2023, 1st revised 13 November 2023, accepted 27 December 2023
† Corresponding Author(sbkim@cwnu.ac.kr)
ⓒ 2023, Korean Society for Quality Management
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

포신은 긴 원통형 형상의 발사체로 길고 내경에 대한 공차가 작아 가공이 어려운 장비이다. 이런 포신의 내경은 일반 측정장비로는 측정하기 어려워 전용 측정장비를 사용한다. 본 연구에서 다루고자 하는 구경 155mm 포신의 강선부 내경 치수를 측정하면 측정 위치에 따라 측정값의 변동이 크며, 내경값의 편차로 인해 재가공하는 사례가 지속적으로 발생하여 공정 개선의 필요성이 제기되었다. 이런 현상이 가공 공정의 문제뿐만 아니라 측정값의 부정확에서 기인하는 영향도 큰 것으로 판단되어 측정시스템도 생산 공정과 더불어 주요 개선 대상으로 고려하였다. 현재 포신 강선부 내경 측정시스템에서는 동일한 위치를 반복 측정 시 결괏값의 변동이 있으며 길이가 긴 포신의 전체 구간의 내경 치수를 상세히 측정하기에는 기능적인 한계가 있었다.

측정시스템과 관련하여 Gage R&R을 사용한 측정시스템 분석 방법으로 현재 문제점을 파악 후 개선하는 연구(Choi, 2006), Gage R&R을 통한 시험 방법 검증 및 개선 사례 연구(Jeon et al., 2021), 설비 개선을 통해 성능 측정 오차를 감소하여 더욱 정확하게 측정할 수 있는 측정시스템 개발 연구(Jang et al., 2020), 측정불확도를 평가하고 적용하여 품질개선 방안을 모색하기 위한 연구(Choi and Hur, 2023) 등 측정시스템에 대한 개선을 통해 품질이나 공정을 개선하는 연구가 다양하게 이루어지고 있으며, 품질 개선 분야에서도 제조 공정 조건 사이의 상관관계를 분석하여 품질을 향상하는 연구(Yu et al., 2022), 기존 가공 방법의 문제점을 파악하고 개선할 수 있는 새로운 가공 방법에 관한 연구(Jeon et al., 2010), 공정 개선을 통한 안전 및 품질향상 연구(Lee et al., 2020) 등 제조 공정 개선 등을 통한 다양한 품질향상 연구가 이루어지고 있다.

이 연구는 포신 내경 측정시스템 및 관련 가공 공정의 개선을 다루고 있으며, 대상 장비는 현재 국내에서 제작되는 포신 중 길이가 가장 긴 강선이 적용된 구경 155mm 포신이다. 기존 측정시스템에서 도출된 개선 필요 사항들을 반영한 개선된 측정시스템을 제작하여 기존 측정시스템과 비교 분석하여 개선 효과를 확인하고 개선된 측정시스템으로 측정된 결과를 분석하여 포신 내경 가공 공정 개선 후 품질의 향상 여부를 비교 분석함으로 포신 내경 측정시스템 개선을 통한 포신 내경 가공 공정의 품질을 향상하고자 하였다.

2. 포신 내경 측정시스템 개선

2.1 기존 측정시스템의 문제점

기존의 포신 강선부 내경 측정시스템은 측정기를 원통형인 포신 내부에 넣어 강선부의 내경을 계측하는 방식으로 Figure 1과 같이 제어 장비, 측정기, 마스터 게이지, 보조치구, 보관함으로 구성되어 있으며, 측정시스템을 KS Q ISO/IEC 17025(시험기관 및 교정기관의 자격에 대한 일반 요구사항)을 기준으로 실제 계측 상황을 검토하여 다음의 문제점을 확인하였다.

첫째, KS Q ISO/IEC 17025, 7.2항(방법의 선정, 검증 및 유효성 확인)의 요구사항을 확인하기 위해 Gage R&R을 기존 측정시스템으로 실시한 결과 Table 1과 같이 %Contribution이 10%가 넘었으며 이는 측정시스템의 측정 산포 개선이 필요한 것을 의미하는 것으로 판단된다. 기존 측정시스템은 Figure 2와 같이 측정기를 포신의 포구부 방향으로 삽입 후 연결된 줄을 당겨 육안으로 줄에 표시된 측정 지점을 찾아 측정하는 방식으로 작업자 의존도가 높아 반복 측정 시 동일 측정 지점을 맞추기 어려우며 줄의 상태에 따라서도 측정 지점이 변동된다.

둘째, KS Q ISO/IEC 17025, 6.4항(장비)에 따라 측정에 사용되는 장비는 유효한 결과를 제공할 수 있는 적절한 기능 및 측정정확도 등을 보유하고 있어야 하나, 기존 측정시스템은 포신의 강저부 폭과 강저부를 따라 움직이는 측정기의 안내 돌출부 폭의 차이와 강선 폭과 측정 센서 폭의 차이로 인해 측정의 정확도가 낮아지는 문제를 가지고 있다.

마지막으로 KS Q ISO/IEC 17025, 6.2항(인원)에 준하여 작업자의 적격성을 위해 교육, 자격, 훈련 등이 수행되어도 인간적 한계로 인해 작업자 오류로 인해 발생하는 재측정 및 측정값이 잘못 기록되는 상황이 완전히 해소되지 못하고 있음을 확인하였다.

Figure 1. Components of Current Measurement System

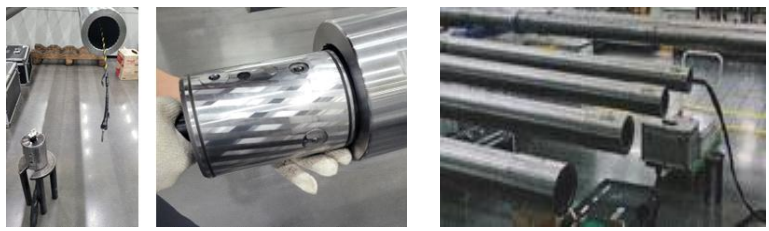


Figure 2. Measuring Process of Current Measurement System

2.2 측정시스템 개선 방안 및 결과

기존 측정시스템의 (1) 측정시스템 유효성 확보, (2) 장비의 측정정확도 향상, (3) 작업자 적격성 유지와 관련한 문제점에 대하여 개선 방안으로 다음의 3가지를 고려하였다.

첫째, 측정시스템의 유효성 확보를 위해 포신 내부 위치를 기존 육안 확인 방식에서 레이저 측정기를 이용한 방식으로 개선하였다. 레이저 거리측정기는 구조적 문제로 인한 측정의 어려움을 해소하기 위한 비접촉 측정법으로 활용되며(Kim and Kim, 1999), 전차와 같은 무기체계에도 적용되는 보편적이고 정확도와 활용도가 높은 기술이다(Lee, 2011).

둘째, 유효한 결과 제공을 위한 측정정확도 향상을 위해 Figure 3과 같이 측정기가 포신 강저부의 홈을 따라 이동하기 위해 만든 안내 돌출부의 폭을 강저의 폭에 맞춰 4.5mm에서 5.7mm로 크게 늘리고 수량도 2개에서 4개로 증가시켰으며, 측정 센서 폭은 강선의 폭에 맞추어 6.0mm에서 3.0mm로 줄여 더 정확한 측정이 가능하게 하였다.

마지막으로 작업자의 오류 발생을 예방하여 적격성을 지속적으로 유지하기 위해 측정기의 거리측정기와 제어장비가 연동되어 자동으로 측정값이 저장되는 기능을 구현하였다. 작업자의 피로도와 소요 시간으로 인해 현실적으로 불가능에 가까웠던 포신 강선부 전체길이에 대한 세부적인 내경 치수를 확인할 수 있게 되었다.

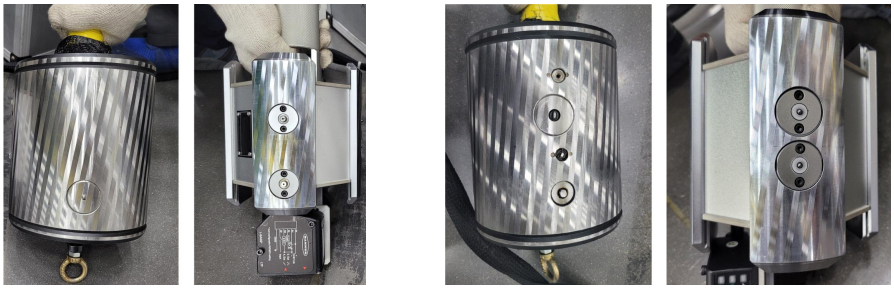


Figure 3. Guides and Sensors of Current and Improved Measurement Systems

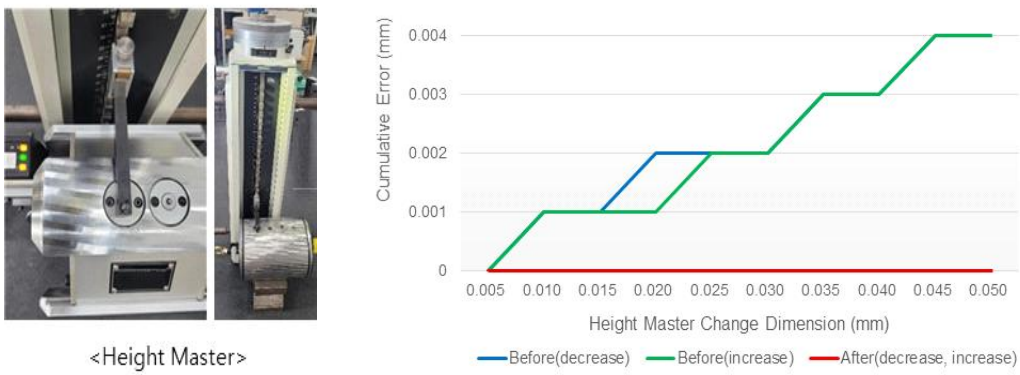
2.3 기존 측정시스템과 개선된 측정시스템의 비교

기존 측정시스템과 개선된 측정시스템의 정확도와 정밀도를 비교하기 위해 다음 2가지 방법을 사용하였다. 첫째, Height Master를 활용하여 치수 변화에 대한 계측값의 오차를 비교하였고, 둘째, 측정시스템 평가 방법으로 다양한 연구에서도 활용되고 있는 Gage R&R을 수행(Choi and Kang, 2016; Ju and Lee, 2019)하여 측정시스템의 산포를 비교하였다. 정확도와 정밀도 비교 이후 동일 포신의 강선부 내경을 기존 측정시스템과 개선된 측정시스템으로 각각 측정하여 개선 효과를 확인하였다.

2.3.1 Height Master를 이용한 정확도 비교

Height Master를 활용하여 기존 측정시스템과 개선된 측정시스템의 Calibration 오차를 확인하였다. Height Master의 치수 변화는 0.005mm 단위로 설정하였으며 연구 대상의 포신 내경 치수의 공차를 고려하여 10단계로 치수 감소와 증가를 실시하였다.

치수 변화별 오차의 누적값은 Figure 4에 그래프로 나타내었다. 기존 측정시스템은 0.010mm 또는 0.015mm 변화마다 0.001mm의 오차가 발생하여 0.050mm 변화 시 감소와 증가 모두 0.004mm의 누적 오차가 발생하였으나, 개선된 측정시스템에서는 오차가 발생하지 않았다.



<Height Master>

Figure 4. Height Master and the Calibration Errors of Two Measurement Systems

2.3.2 Gage R&R 분석 결과 비교

포신 5개의 포미, 중앙, 포구부 각 1지점을 2명의 작업자가 3번씩 기존과 개선된 측정시스템으로 측정한 결과를 MINITAB을 활용하여 Gage R&R 분석을 수행하였고 그 결과는 Table 1과 같다.

기존 측정시스템은 3지점 모두 %Contribution은 10% 이상, %Study Variation은 30% 이상, %Tolerance는 10~30% 사이이고 Number of Distinct Categories는 4 미만으로 평가 결과가 양호하지 않다. 반면 개선된 측정시스템은 기존 대비 %Contribution, %Study Variation, %Tolerance는 감소하고 Number of Distinct Categories는 증가하여 분석 결과가 전반적으로 좋아졌으며 일반적인 판정기준에도 적합함을 알 수 있다.

그리고 Figure 5, 6의 분산분석 결과를 살펴보면, 샘플링한 포신의 위치에 따른 내경 사이의 차이가 유의수준 5%에서 유의함을 알 수 있다. 반면에 측정자와 내경 사이의 교호작용은 유의하지 않는 것으로 판단되며, Figure 5, 6의 그래프에 나타난 것처럼 포신 내경에 대한 측정시스템의 변동은 반복성과 관련한 변동이 재현성과 관련한 변동보다 큼을 알 수 있다. 또한 개선된 측정시스템이 포신의 위치별로 기존 측정시스템보다 전체 측정시스템 변동 중에 측정시스템의 변동이 차지하는 비중이 더 작으며, X-bar 관리도에서 관리한계선을 벗어난 정도가 더 커서 상대적으로 변별능력이 더 좋다는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Results of Gage R&R Analysis for Current and Improved Measurement Systems

Type \ Index / Position		%Contribution	%Study Var	%Tolerance	# of Distinct Categories
Current Measurement System	1(Back)	13.18	36.31	18.36	3
	2(Middle)	19.79	44.48	13.65	2
	3(Front)	10.24	32.01	19.77	4
Improved Measurement System	1(Back)	2.49	15.78	9.32	8
	2(Middle)	4.86	22.05	8.34	6
	3(Front)	1.80	13.43	8.99	10

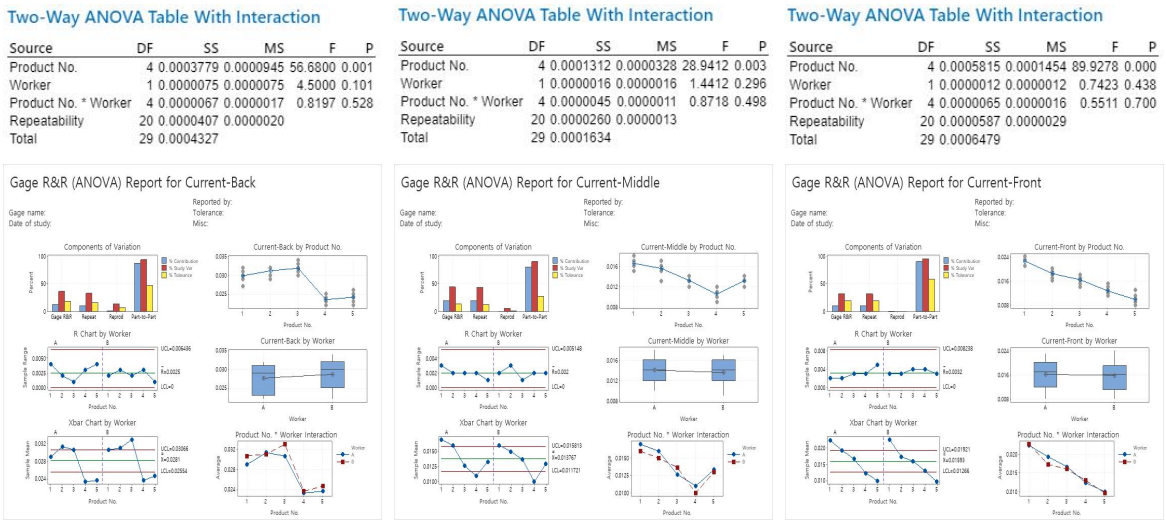


Figure 5. Results of Gage R&R for Back, Middle and Front of Gun Barrel (Current Measurement System)

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Product No.	4	0.0005689	0.0001422	127.358	0.000
Worker	1	0.0000005	0.0000005	0.478	0.528
Product No. * Worker	4	0.0000045	0.0000011	2.233	0.102
Repeatability	20	0.0000100	0.0000005		
Total	29	0.0005839			

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Product No.	4	0.0002289	0.0000572	137.320	0.000
Worker	1	0.0000008	0.0000008	2.000	0.230
Product No. * Worker	4	0.0000017	0.0000004	0.893	0.486
Repeatability	20	0.0000093	0.0000005		
Total	29	0.0002407			

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Product No.	4	0.0007351	0.0001838	315.057	0.000
Worker	1	0.0000008	0.0000008	1.429	0.298
Product No. * Worker	4	0.0000023	0.0000006	1.094	0.387
Repeatability	20	0.0000107	0.0000005		
Total	29	0.0007490			

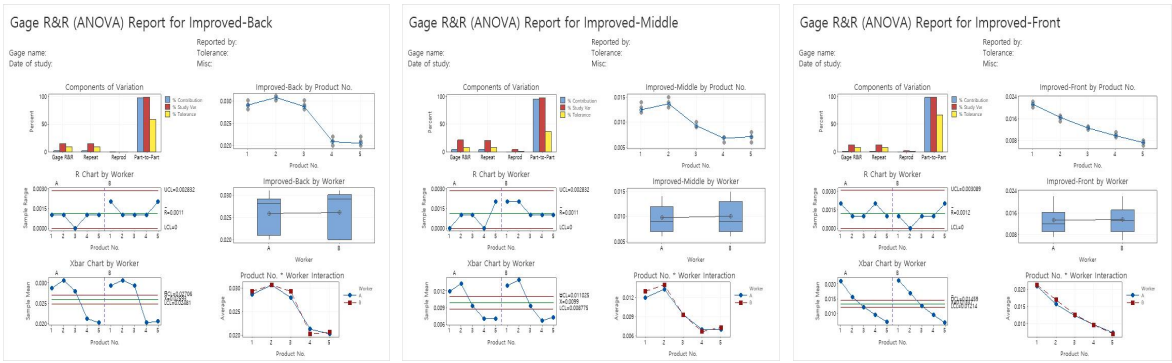


Figure 6. Results of Gage R&R for Back, Middle and Front of Gun Barrel (Improved Measurement System)

2.3.3 포신 내경 측정 결과

기존 측정시스템과 개선된 측정시스템으로 동일한 6개의 포신을 측정하여 나온 결괏값을 그래프로 비교하면 Figure 7과 같다.

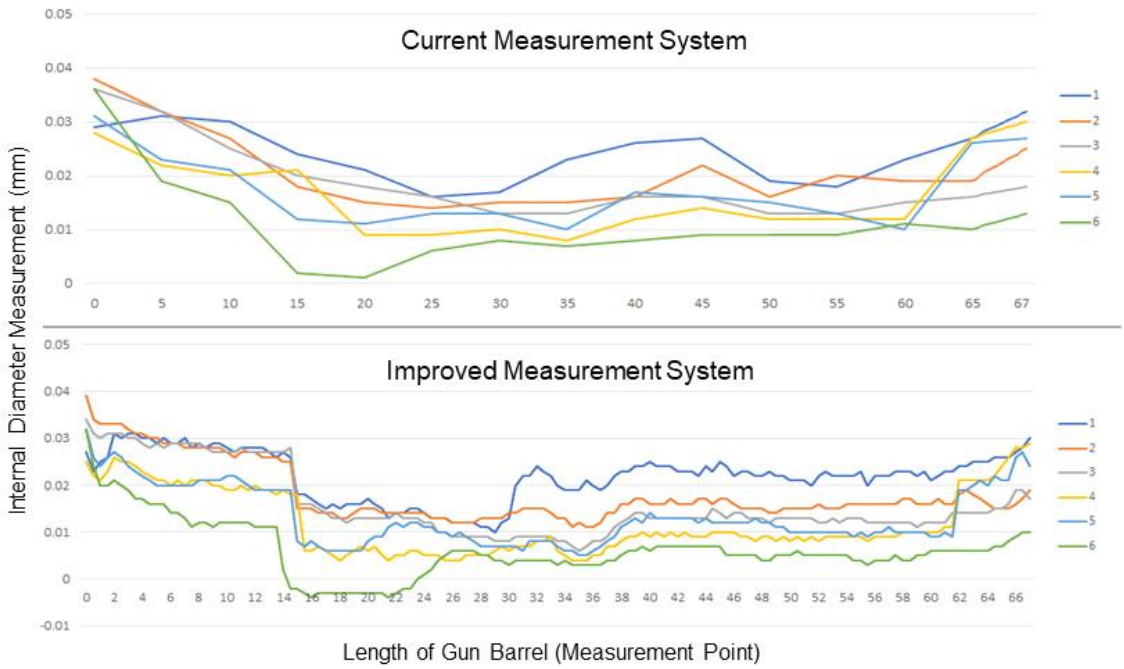


Figure 7. Comparison of Internal Diameter Profiles Measured by Current and Improved Measurement Systems

Figure 7의 위에 있는 그래프가 기존 측정시스템으로 측정한 결과이고 아래에 있는 그래프가 개선된 측정시스템의 결과이다. 기존 측정시스템은 특별한 요구사항이 없으면 기지정된 측정 지점만 측정한다. 반면 개선된 측정시스템은 강선부 전 구간에 대해 세분화된 측정값을 더 정확하게 획득할 수 있어 내경 치수의 변화나 상태를 더 면밀하게 확인할 수 있다. 기존의 데이터보다 더 많은 데이터를 수집하면 품질특성의 특이한 경향이나 변화에 관한 정보와 생산 공정의 상태를 더 빠르게 파악하고 더 나은 의사결정을 할 수 있다(Seo et al., 2021).

예를 들어, 포신의 14~15번 위치의 내경 측정값이 급격히 변하는 현상이 나타나는데 이는 개선된 측정시스템을 이용하여 측정할 때 뚜렷하게 확인된다. 개선된 측정시스템으로 측정한 결과를 보면 현재 제작되는 포신에서 내경 치수 변동이 큰 구간을 확인할 수 있고, 전체적으로 강선부 내경 치수가 균일하다고 할 수 없으므로 치수 부적합으로 인한 재가공 발생 사례를 예방하기 위한 개선이 요구된다.

3. 포신 내경 가공 공정품질 향상

3.1 포신 내경 가공 공정 개선

개선된 측정시스템으로 측정한 강선부 내경 치수 결과를 분석하여 포신 내경 가공 공정의 품질이 향상될 수 있도록 포신 가공 공정을 검토한 후 내경의 최종 치수와 연관이 높은 호닝 공정을 선정하여 개선을 진행하였다.

3.1.1 개선된 측정시스템 측정 결과 분석

개선된 측정시스템으로 6개 포신의 내경을 측정한 결과를 분석하면 30mm 정도의 짧은 구간에서 허용 공차의 20% 수준의 큰 변동이 보이는 구간이 9개가 있었으며 전체적으로 중앙부가 공차 중간보다 하한치로 치우쳐져 있고 그 중 4개의 포신은 중앙부가 공차의 하위 20% 수준으로 구간별 내경 치수가 균일하지 않은 것을 확인할 수 있다. 또한 6개 포신 모두 측정 시작 부위인 포미부 내경이 크며 중앙부로 가면서 점점 감소되다가 포구부로 이동하면 다시 커지는 경향이 확인된다. 6개 포신에서 내경 최댓값과 최솟값의 차이는 최대 0.036mm, 최소 0.021mm가 발생하였다.

3.1.2 포신 가공 공정 확인 및 개선 방안

포신은 원통형 소재에 구멍을 뚫는 Deep Hole 공정을 시작으로 크게 외경, 약실부, 포강부 등으로 구분하여 황삭에서 정삭으로 점차 정밀한 가공을 수행하며 제작한다. 공정 사이에 자긴가공, 열처리, 크롬도금과 같은 특수공정도 실시한다. 구경 155mm 포신의 강선부 내경의 허용공차는 0.05 mm로 세밀한 치수관리가 필요하다. 개선 대상 공정을 선정하는 방법은 So et al.(2022)과 Hong et al.(2023)이 수행한 공정 개선과 같이 제품에 영향을 주는 요인을 도출하고 공정과 관련된 변수를 통제하여 품질을 향상시키는 절차를 활용하였다. 개선 대상 공정을 선정하기 위해 Deep Hole부터 Gas Hole 가공까지 포신 전체 가공 공정에서 내경과 관련된 공정을 선별하여 검토하였다. 일반적인 절삭 공정을 개선 대상으로 선정 시 개선 적용을 위한 비용, 시간의 소모가 커서 효율성이 낮으며 효과성도 기대하기 어려울 것으로 판단되어 제외하였다. 이와 같이 포신의 내경 가공의 다양한 공정을 효과성, 효율성 등을 고려하여 하나씩 소거하며 검토를 수행하였고, 현재의 가공 공정 가운데 정밀 가공이 가능한 호닝 공정이 효과성이 클 것으로 기대되었으며 포신 내경의 호닝 공정 중에 강선부 내경 최종 치수와 연관이 높아 양불 판단에 큰 영향을 주는 강선부

호닝 공정을 개선 대상 공정으로 선정하였다. 호닝 가공은 숫돌 다듬질 가공의 일종으로 혼(Hone)이라는 숫돌을 장착한 공구를 사용하여 원통형 구멍의 내면을 문질러 정밀 연마하는 가공법(KDR, 1995)이다.

공정 개선 대상으로 호닝 공정을 선정 후. 개선된 측정시스템으로 측정한 포신 내경 치수 상태를 생산에 환류하여 개선을 추진하였다. 호닝 공정에서 가공 상태에 영향을 주는 요소는 호닝 속도 및 압력에 따른 장비의 작업부하, 표면 상태 등이 있다(Chang and Han, 2000; Yun and Kim, 2019). 기존 포신 내경 가공 공정에서는 강선 가공 후의 강선부 내경 치수가 OOO.OOmm 가 되도록 제작하고 이후 호닝 공정을 통해 정밀 연마를 하여 내경의 최종 치수가 규격에서 허용하는 공차의 OO%가 되는 것을 목표로 전체 강선부 구간에 대해 O~O분 작업을 수행한다. 이때 호닝 공정은 숫돌이 포구부에서 들어가 포미부 끝에서 되돌아 나오는 왕복운동을 하며 장비의 설정값은 측정한 일부 내경 치수와 공정의 제반 사항 등을 고려하여 입력하며 호닝 가공의 수행 횟수는 포신 내부 전 구간 동일하게 적용하여 가공한다(구체적인 수치는 군 보안상 표기하지 않았다).

그러나 개선된 측정시스템으로 측정한 Figure 5의 결과를 보면 기존 가공 공정 방법으로 작업한 포신의 강선부 내경은 포미쪽의 강선 시작부로부터 약 1,400mm 이후 구간에서 그전 구간 대비 0.010mm 이상 치수가 작아지고, 이로 인하여 허용 공차의 하한치에 치우치는 등의 불균일한 경향이 보이므로 치수 균일화를 위해 포신 구간을 구분한 맞춤형 가공이 필요하다고 판단되었다. 따라서 각 포신별 호닝 장비의 부하 상태를 모니터링하여 내경이 상대적으로 작아 장비의 부하가 커지는 지점을 확인하고 그 구간의 호닝 공정을 O분을 추가로 수행함으로 내경이 0.010~0.015mm 더 커지게 공정을 개선하였다. 결과적으로 맞춤형 가공을 통해 전체적인 강선부 내경 치수가 균일하게 되도록 조정하였다.

또한, 포신 내경 황삭을 위한 호닝 작업 동안 가공으로 발생된 금속 이물질이 호닝 장비의 숫돌 표면에 붙은 상태에서 계속 작업 시 이물질이 점점 커져 결국 포신 내면에 비정상적인 가공을 일으키는 원인이 되므로 기존 보다 숫돌의 세척 작업의 빈도를 2배로 상향 조정하여 비정상적인 가공이 발생되지 않도록 예방하였다.

3.2 포신 내경 가공 공정 개선 효과

공정 개선 후 6개 포신을 개선된 측정시스템으로 측정한 결과는 Figure 8과 같으며, 6개의 각 포신별 강선부 내경 최댓값과 최솟값 차이는 최대 0.022mm, 최소 0.011mm가 발생하였다. 공정 개선 전 포신 6개의 측정 결과와 대비하여 최대 변동은 0.014mm, 최소 변동은 0.01mm 감소하였고 내경 치수가 공차의 하위 20% 이하 수준의 하한치로 치우쳐져 있는 구간은 없다.

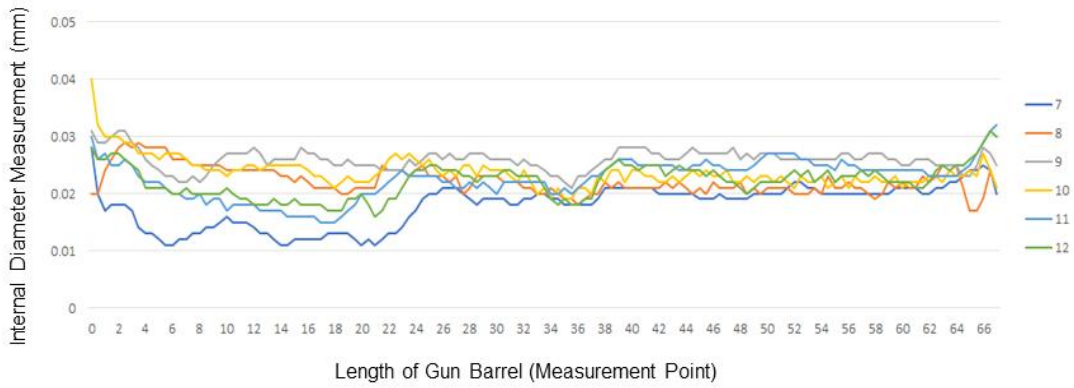


Figure 8. Internal Diameter Profile of the Gun Barrel Measured after Process Improvement

포신 강선부 전체에 대한 내경 치수 변동의 개선 효과를 확인하기 위해 평균제곱오차(Mean square error)를 사용하여 포신별 내경 치수의 평균과 대비한 내경의 산포 수준을 분석하였다. 공정 개선 전, 후 각각 6개의 155 mm 포신 강선부 내경의 평균제곱오차 값은 공정 개선 전 최소 2.835×10^{-5}㎟, 최대 5.334×10^{-5}㎟이고 개선 후 최소 0.313×10^{-5}㎟, 최대 1.426×10^{-5}㎟이다. 공정 개선 전 6개 포신의 평균제곱오차의 평균은 4.200×10^{-5}㎟이며 공정 개선 후는 0.874×10^{-5}㎟로 개선 후 포신 내경 치수의 산포가 감소된 것을 확인할 수 있으며 이는 포신 내경의 공정품질이 향상되었다고 할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 포신의 불균일한 내경 치수로 인해 재가공 사례가 지속적으로 발생하는 문제에 대하여 포신 내경 측정시스템 및 이와 연관된 가공 공정을 개선함으로 문제를 해결하였다. 개선된 측정시스템을 활용하여 현재 공정 상태를 진단하고 그 결과를 포신 가공 공정 개선에 적용하여 다음과 같은 효과를 확인하였다.

첫째, 개선된 측정시스템에서 적용한 포신 내부용 레이저 거리측정기, 강선 구조에 맞춘 안내 돌출부 및 측정 센서 조정은 Gage R&R 분석 결과 측정값 산포 감소에 효과가 있었으며 레이저 거리측정기와 연동하여 측정값을 자동 저장하는 기능은 세분화된 치수 변동 정보를 획득할 수 있게 해주어 포신 내경에 대한 상태 진단을 용이하게 해주었다.

둘째, 현재 포신 내경 상태를 분석 후 최종 치수와 연관성이 높은 호닝 공정에 대해 가공 구간을 구분하여 실시하는 공정 개선을 수행하였고, 이로부터 개선 전, 후 각각 6개의 포신에 대한 평균제곱오차의 평균을 비교하여 포신의 강선부 내경 치수의 산포가 현저히 줄어들었음을 확인하였다.

이는 개선된 측정시스템이 현재 포신의 내경 치수를 보다 정확하게 측정하여 내경 균일화 개선 방안 도출에 도움을 주었으며, 이를 바탕으로 연관된 공정을 개선하여 가공 공정의 품질이 향상되었음을 의미한다.

대외 정세의 변화에 따라 K-방산 수출이 활발해지고 있는 현시점에서 측정시스템 개선을 통한 포신 가공 공정의 품질향상은 포신 강선부 내경의 재가공으로 인한 공정 지연과 비용 발생을 예방하여 제품의 적기 납품과 원가 개선에 도움이 될 것으로 기대한다.

REFERENCES

Chang, Myungjin & Han, Kyutaek. 2000. Effect of Hone Stone on Accuracy of Honing in 2-Cycle Engine Cylinder Having Open Hole. Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 9(3):143-149.

Choi, Cheonkyu. 2006. A Case Study for Improvement of EOP Measurement System through 6 Sigma Introduction. Journal of the Korean Society for Quality Management 34(3):51-61.

Choi, Insoo & Hur, Sun. 2023. A Study on Quality Improvement by Evaluation and Application of GUM-based Measurement Uncertainty. Journal of the Korean Society for Quality Management 51(3):419-436.

Choi, Insoo & Kang, Changwook. 2016. Development of an Investigation Method for Variation Factors of Measurement Processes. Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering 39(2):72-81.

Defense Agency for Technology and Quality(DTaQ). 2010. Measurement System Analysis (4th edition). DTaQ.

Hong, Jisoo, Hong, Yongmin, Oh, Seungyong, Kang, Taeho, Lee, Hyeonjeong, & Kang, Sungwoo. 2023. Injection Process Yield Improvement Methodology Based on eXplainable Artificial Intelligence (XAI) Algorithm. Journal of the Korean Society for Quality Management 51(1):55-65.

Jang, Hongje, Choi, Hyosik, Song, Taeseung, & Lee, Hanhee. 2020. Study on the Improved Test System for High Performance Shield Concrete Blocks. Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea 57(11):57-63.

Jeon, Eonchan, Han, Minsik, Kim, Namhun, & Min, Jungoh. 2010. Improvement of Manufacturing Process for Fuel Oil Supply Pipe Using Large Vessel. Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers 9(5):64-69.

Jeon, Juho, Huh, Hyoungjo, Kwon, Woochang, & Han, Jihun. 2021. Case Study for Validation and Improvement of KVMF Display Test Method Using Gage R&R. Journal of Defense Quality Society 3(1):37-45.

Ju, Youngdon & Lee, Dongju. 2019. Evaluation Method for Measurement System and Process Capability Using Gage R&R and Performance Indices. Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering 42(2):78-85.

Kim, Gamlae & Kim, Myoungbae. 1999. The Development of Deformation System for Structure Using Laser Beam. Journal of the Korean Society of Civil Engineers 19(3-4):669-676.

Korea Dictionary Research Publishing(KDR). 1995. Honing. Mechanical Engineering Glossary.

Korean Agency for Technology and Standards(KATS). 2019. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. KS Q ISO/IEC 17025.

Lee, Jaewoo. 2011. Design and Construction of Laser Range Finder for Many Purposes. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society 12(7):3214-3219.

Lee, Jonghyeon, Yoon, Juhyun, & Park, Joonseong. 2020. A Case Study on the Improvement of the Quality and Safety of the Air-Dropped Mk 82 Manufacturing Process. Journal of Defense Quality Society 2(1):82-91.

Seo, Hojin, Byun, Jaihyun, & Kim, Dohyun. 2021. Quality 4.0: Concept, Elements, Level Evaluation and Deployment Direction. Journal of the Korean Society for Quality Management 49(4):447-466.

So, Soonjin, Jeoung, Choungwoo, Moon, Taeeul, Kim, Jeongbin, & Hong, Sunghoon. 2022. Improvement for Chromaticity Coordinate Quality of Automotive White LED Packages. Journal of the Korean Society for Quality Management 50(3):425-440.

Yu, Jiwon, Jeong, Hyungjin, Park, Jaehyung, & Lee, Domghun. 2022. Analysis of Correlation between FDM Additive and Finishing Process Conditions in FDM Additive-Finishing Integrated Process for the Improved Surface Quality of FDM Prints. Journal of the Korean Society for Precision Engineering 39(2):159-165.

Yun, Jangwoo & Kim, Sangbeom. 2019. Evaluation of the Grinding Performance of an Engine Block Honing Stone through Monitoring of Workload and Heat Generation. Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers 18(4):69-75.

저자소개

박영민 창원대학교에서 산업시스템공학 석사학위를 받았으며, 현재 국방기술품질원에서 품질보증을 담당하는 선임연구원으로 근무 중이다. 주요 관심 분야는 국방품질, 통계적 품질관리, 품질개선 등이다.

배인화 창원대학교 산업시스템공학과에서 학사, 석사학위를 취득하고 현재 박사과정에 재학 중이다. 주요 관심 분야는 품질 및 신뢰성공학, 무기체계 RAM 분석 등이다.

김상부 서울대학교 산업공학과를 졸업하고 KAIST 산업공학과에서 석/박사 학위를 취득하였으며, 현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 품질 혁신, IPS, 무기체계 정비 정책, 무기체계 RAM 분석, 국방 품질보증 등이다.