

30mm 자동포용 폐쇄기의 내구성 향상에 관한 연구

박영민^{1*}, 김성훈¹, 노상완¹, 김성진²

¹국방기술품질원 기동화력센터, ²S&T중공업 특사품질보증팀

A Study on Durability Improvement of Breech Block for 30mm Automatic Gun

Young Min Park^{1*}, Sung Hoon Kim¹, Sang Wan Noh¹, Sung Jin Kim²

¹Land Systems Center, Defense Agency for Technology and Quality

²Defense QA Team, S&T Dynamics

요 약 본 연구는 30mm 자동포에 적용 중인 폐쇄기의 내구성을 향상시킴으로서 제품의 신뢰성을 증가시키는 것을 목적으로 하고 있다. 연구 대상인 폐쇄기는 왕복운동을 통해 탄의 장전, 약실 폐쇄, 탄피 추출 등의 기능을 하는 포의 주요 구성품으로 높은 신뢰성이 요구되지만 운용 중 폐쇄기 균열이 조기에 발생됨에 따라 개선이 필요하였다. 개선을 위해 원인 분석을 수행하여 균열은 반복적인 충격에 의해 발생함을 확인하였다. 그리하여 다음과 같은 개선방안을 연구하고 입증 사격을 통해 효과를 증명하였다. 개선방안으로 소재 변경으로 충격 흡수에너지를 증가시켰으며 균열 부위의 R 값을 증대하여 응력 집중을 완화하였다. 또한, 쇼트피닝 추가, 크롬도금 삭제, 단조 방법 변경으로 피로수명을 증가시켰다. 개선품의 입증 사격 결과 5,000발까지 사격 장애가 발생하지 않았고 균열의 시작이 늦춰졌으며 그 깊이가 작아졌다. 따라서 개선방안이 적용된 폐쇄기는 기존 제품 보다 내구성이 향상됨을 확인하였다. 본 연구는 유사제품의 내구성 향상, 폐쇄기 균열 성장 속도 예측(수명 연구) 및 균열 허용 기준 설정을 추진할 때 유용한 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract The purpose of this study was to increase product reliability by improving the durability of the breech block for a 30mm Automatic Gun. The breech block is a key component of a gun that functions as chambering, closing, and extracting. The breech block requires high reliability, which needs to be improved because cracks of a breech block can occur early in operation. Cause analysis confirmed that the crack is caused by repeated impacts. Therefore, the following improvement measures were studied, and the effects were demonstrated using a firing test. The energy of impact absorption was increased by changing the material, and the stress concentration was mitigated by increasing the value of R. In addition, the fatigue life was increased by adding Shot-peening, deleting chromium plating, and changing the forging method. The firing test did not show firing trouble for up to 5,000 rounds. The start timing of the crack was delayed, and the depth was small. Therefore, the improved product was more durable than the existing product. This study can be used as a useful reference when assessing the improvement of the durability of similar products, life study, and criteria for crack acceptance.

Keywords : Breech Block, Crack, Durability Improvement, Reliability, Fatigue Crack

*Corresponding Author : Young-Min Park(Defense Agency for Technology and Quality)

email: parkym@dtaq.re.kr

Received February 11, 2020

Accepted May 8, 2020

Revised March 5, 2020

Published May 31, 2020

1. 서론

30mm 자동포는 자주 대공포 및 함정 등에 장착되어 적의 공중 위협을 대처하기 위한 장비로서 좌우쌍열식으로 장착되며 매우 빠른 발사속도를 가지고 있다. 주요 구성품은 포열, 폐쇄기, 송탄기, 완충기 등이 있으며, 그중 폐쇄기는 왕복운동을 통해 탄의 장전, 약실 폐쇄, 탄피 추출 등의 기능을 수행한다.

연구 대상인 30mm 자동포용 폐쇄기는 격발 시 전진 스프링 압축력에 의해 전진하여 탄을 약실 안으로 장입 시키며, 전진운동으로 돌출된 공이에 의해 탄 뇌관이 격발되면 탄의 폭발력에 의해 주퇴한다. 이때 폐쇄기 하부에 있는 잠금쇠는 상승 회전 운동을 하며 폐쇄기에 충격을 가한다. 균열은 이 부위에서 발생하였다.

군용장비는 그 사용 목적의 특수성 때문에 높은 신뢰성이 요구된다. 이에 따라 신뢰성 향상을 위한 수집된 정보 분석 연구[1-2], 보조 장비 개발을 통한 신뢰성 향상 연구[3], 고장 사례 및 원인 분석 기반의 신뢰성 개선 연구[4-5] 등 다양한 형태 및 방법으로 군용장비의 신뢰성과 관련된 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 군용 총포류와 관련된 연구에는 부품의 해석 모델 개발[6], 부품의 개선 연구[7-8] 등이 있으며 기존 연구에서는 내구성 효과 입증에 비용, 시간의 제약으로 주로 시험 장비 등으로 수행하였지만 본 연구에서는 제품의 내구도 시험 규격에 준하여 실 사격으로 수행하였다.

본 연구는 폐쇄기 균열 현상 개선을 통해 제품의 신뢰성 증가에 그 목적이 있으며 균열의 원인 분석 후 내구성 향상을 위한 방안을 고안하였고, 입증시험을 통해 효과를 확인한 내용을 기술하였다.

2. 폐쇄기 균열 원인 분석

2.1 폐쇄기 균열 현상

폐쇄기는 Fig. 1과 같이 다양한 부품이 기계적인 연동으로 작동되며 잠금쇠와 접촉되는 면의 모서리 부위에 Fig. 2와 같은 균열이 발생하였다.

균열은 사격 발수에 따라 성장하는 현상이 보였으며 상대적으로 경도가 높은 크롬도금 부위에서 시작하여 모재로 성장된 것으로 관찰되었다.

균열 발생 부위는 잠금쇠를 지지하는 모서리 공간으로 직접적인 사격 기능에는 이상이 없으나, 장기간 사격 시 균열의 지속적인 성장으로 파단 될 경우, 손상 조각에 의

해 기능장애가 발생될 가능성은 있다고 판단되었다.

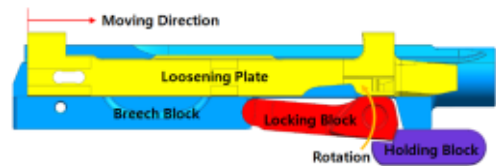


Fig. 1. Breech Block and Surrounding Components

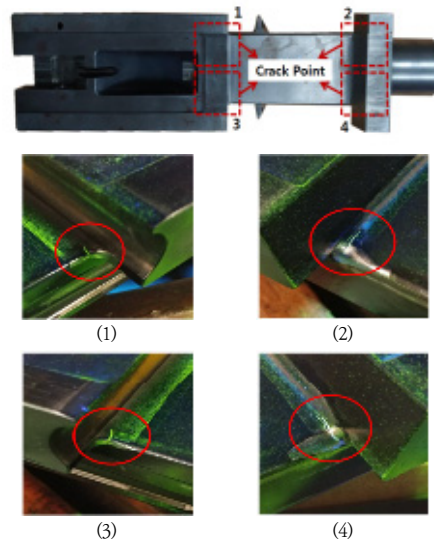


Fig. 2. Crack of Breech Block

2.2 균열 원인 분석

균열 원인 분석을 위해 소프트웨어 해석을 통해 충격력 분석과 유한 요소 해석(FEA: Finite Element Analysis, 이하 FEA)을 수행 후 균열 부위 파단면 상태를 확인하였다.

사격 시 시간에 따른 부품의 동작은 Fig. 3과 같으며 ADAMS 동역학 해석 프로그램으로 Fig. 4의 해석 조건을 적용하여 잠금쇠와 폐쇄기의 접촉 충격력을 분석한 결과 Fig. 5와 같이 최대 충격력은 500.4 kN, 최대 충격량은 2.0383 N·S이었다.

잠금쇠와의 접촉 충격에 대한 유한 요소 해석을 ABAQUS 구조해석 프로그램으로 Fig. 6과 같은 경계조건을 적용하여 수행한 결과, Fig. 7과 같이 인장응력집중 현상이 발생되었으며 이는 폐쇄기 균열이 발생한 위치와 동일하였다.

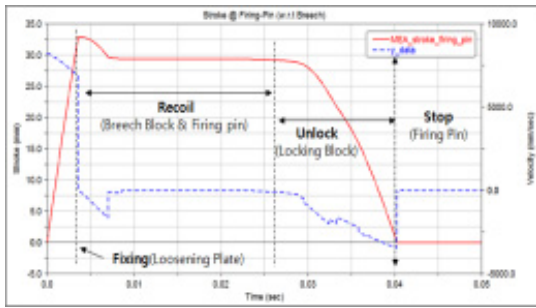


Fig. 3. Stroke of Parts over Time

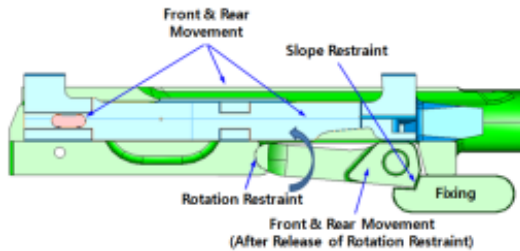


Fig. 4. Condition for Impact Force Analysis

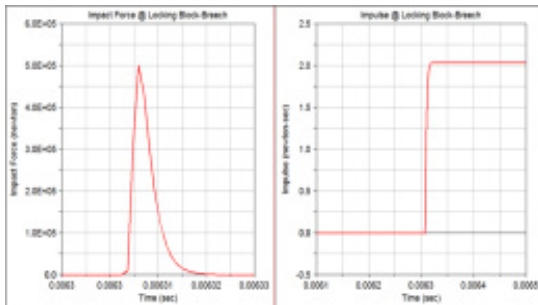


Fig. 5. Impact Force and Impulse (Breech-Locking Block)

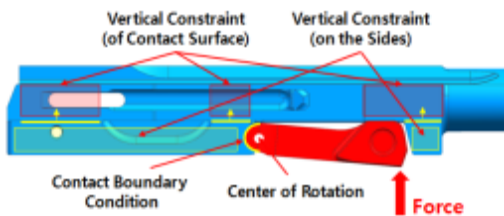


Fig. 6. Constraint Boundary Conditions for FEA

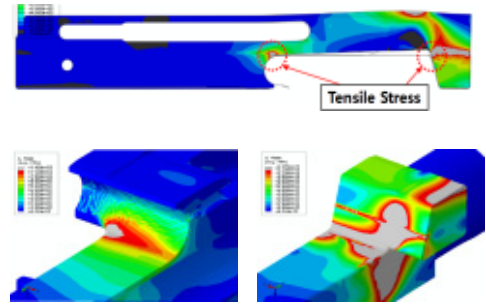


Fig. 7. Tensile Stress Analysis of Breech Block

보다 정확한 원인 분석을 위해 사격으로 균열이 발생한 폐쇄기의 균열 부위를 강제 파단하여 파단면 조직 상태를 확인하였으며, 그 결과 Fig. 8과 같이 래칫 마크(Ratchet Mark)와 비치 마크(Beach Mark)가 관찰되었고 파단면에 대한 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Microscope, 이하 SEM) 분석 사진은 Fig. 9와 같다.

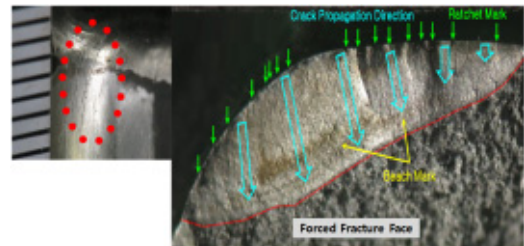


Fig. 8. Shape of Fracture Surface

균열은 래칫 마크가 있는 표면의 다수 부위에서 시작된 것으로 보이며 비치 마크가 발견되었다. 미세 조직상의 특이점이나 비금속 개재물은 없었으며, 열처리 조직은 템퍼드 마르텐사이트(Tempered Martensite) 조직으로 열처리 및 단조 시 발생한 균열의 흔적이나 재료적 결함은 관찰되지 않았다.

따라서 폐쇄기와 잠금쇠는 사격 시 충돌이 매 1회 발생하는 구조로 유한 요소 해석 결과 충격력에 의한 응력이 균열 발생부에서 가장 높게 나타나며 사격에 의해 발생한 균열에서 비치 마크와 같은 피로균열 형상이 보이므로 균열은 화학성분, 경도 등 소재의 제조 결함보다는 사용 중 발생하는 잠금쇠와의 반복되는 충격 피로에 의해 발생 및 진전된 것으로 판단되었다.

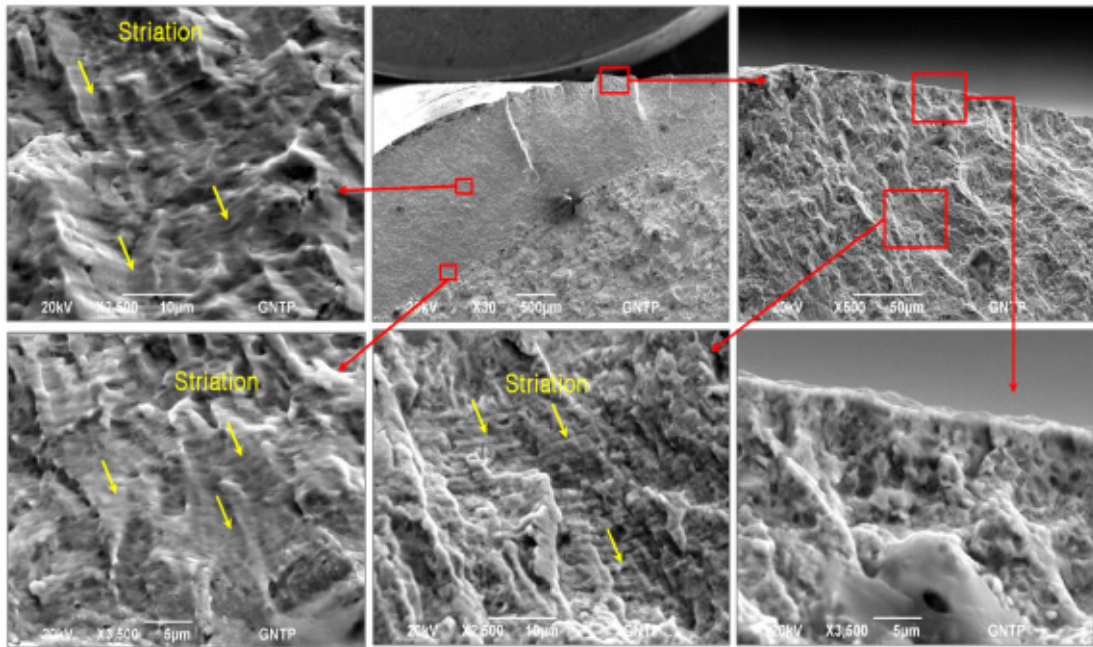


Fig. 9. SEM(Scanning Electron Microscope) analysis of Fracture Surface

3. 폐쇄기 내구성 향상 연구

내충격성 향상을 위해 소재를 기존 SNCM439에서 포열 소재로도 많이 사용되고 있는 MIL-S-46119로 변경하였다. 효과성 확인을 위해 인장 및 충격시험을 수행하였으며 기존 소재 대비 상온에서의 충격 흡수에너지가 약 2배임을 확인하였다. 시험 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Results of Tension & Impact Test

	SNCM439	MIL-S-46119
Tensile(Mpa)	1026	1210.9
Yield(Mpa)	879	1119.5
Elongation(%)	17.1	19
Absorbed energy(J)	41.2	86.3

기존 폐쇄기는 자유단조 방법으로 제작되었으며 파팅라인(Parting Line)이 균열 발생부와 겹치게 되어 있었다. 따라서 균열 발생부의 강성을 증대시키기 위하여 발생되는 응력의 흐름과 유사하게 메탈 플로(Metal Flow)가 형성되도록 형단조 방법으로 변경하였다.

폐쇄기와 잠금쇠 작동 간 발생하는 충격으로 인한 응력집중을 완화하기 위해 기존 균열부의 R 크기를 기존 R 2.0에서 R 2.5로 증대시켰으며, 변경 시 기존 형상보다

최대 응력이 약 5%가 감소될 것으로 해석되었다. 또한, 충격에 약하고 균열 발생에 취약한 크롬도금을 삭제하고 기존 균열 부위에 쇼트피닝 작업을 추가하였다.

쇼트피닝은 금속 표면에 숏이라는 작은 알갱이를 표면에 분사하여 압축 잔류응력을 발생시키는 공정으로 쇼트피닝으로 발생된 압축 잔류응력이 피로균열의 진전 속도를 저하시켜 피로수명이 향상된다.[9] 쇼트피닝의 피로수명에 관련된 연구[10-11]는 지속적으로 이루어지고 있다.

개선 전, 후에 대한 비교 내용은 Table 2에 정리하였다.

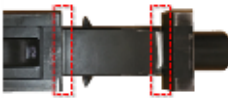
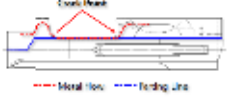
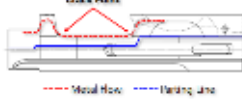
4. 내구성 향상 입증시험

4.1 입증시험 방법

3절에서 제시된 개선 제품을 제작하여 1발 고압탄 사격 후 연속탄 5,000발의 실 사격 내구도 시험을 수행하여 균열상태 및 사격 불능의 기능장애가 발생하지 않는 지 확인하였다. 폐쇄기만 개선 제품을 적용하고 다른 부품은 기존 부품을 사용하였다.

사격 리듬은 총 403발로 한 리듬은 포신 예열을 위해 3단발, 2초 간격으로 10연발 4회, 2분 간격으로 40발 9회로 구성하였다. 총 13리듬 사격을 실시하였으며 마지막 13리듬은 164발을 사격하여 총 5,000발을 맞추었다.

Table 2. Comparison of Improvements

Items	Before	After	Effect
Material	SNCM 439	MIL-S-46119	Impact resistance(↑)
Plating	Chromium plating	-	Crack(↓)
Corner round	R 2.0 	R 2.5 	Stress concentration(↓)
Post processing	-	Shot Peening 	Fatigue life(↑)
Forging	Open die forging 	Die forging 	Crack(↓)

리듬이 종료될 때 마다 Fig. 10부위에 육안 및 자분탐상시험을 실시하여 균열의 크기를 기록하였다

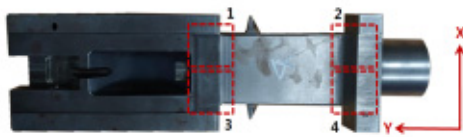


Fig. 10. Check Area of Crack

4.2 입증시험 결과

4.2.1 육안검사 결과

5리듬(2,015발) 사격 후 1번 부위에서 미세 균열이 확인되기 시작하였으며, 6리듬(2,418발) 사격 후에는 1, 2, 3번 부위에서 균열은 확인되나 길이를 측정하기 어려울 정도로 미세하였다.

7리듬(2,821발) 사격 후에는 잠금쇠 접촉부 모서리 전체 부위(1, 2, 3, 4번)에서 미세균열(3~7 mm)이 확인되었고 8리듬(3,224발)부터는 Y 방향(1, 2, 4번)에서도 미세균열이 확인되었다.

12리듬(4,836발) 사격 이후부터는 1, 2, 3, 4번 전체 X 방향과 Y 방향에서 균열이 확인되었다. 13리듬(5,000발) 사격 결과 X 방향에서는 10~26 mm, Y 방향에서는 2번은 전체에서 미세한 균열이 확인되었고, 1, 3, 4번은 10~17 mm의 균열이 확인되었다.

4.2.2 자분탐상시험 결과

2리듬(806발) 사격 후 자분탐상 결과 잠금쇠 접촉부 모서리 부위(2, 4번)에서 미세균열(3, 4 mm)이 확인되기 시작하였으며, 3리듬 사격 후에는 2, 4번의 측면인 Y 방향에서도 균열(7 mm)이 확인되었다.

4리듬(1,612발) 사격 후에는 2, 4번의 X 방향 균열이 약 3 mm 정도 성장하였고, Y 방향은 모서리 전체(1, 2, 3, 4번)에서 균열이 확인되었다. 5리듬(2,015발) 사격 후에는 잠금쇠 접촉부 모서리 전체(1, 2, 3, 4번)의 X, Y 방향 모두 균열이 확인되었다.

6리듬(2,418발) 사격 후에는 X 방향의 균열 길이가 1~4 mm 정도 성장하였고, Y 방향은 2, 4번에서는 전체 부위에 균열이 확인되었으며 1, 3번은 3~5 mm 정도 성장하였다.

7리듬(2,821발) 이후 13리듬(5,000발)까지 리듬이 진행될수록 균열 길이가 1~5 mm 정도 성장하는 경향을 보였으며, 최종 13리듬(5,000발) 사격 결과 2, 4번에서는 X, Y 방향 전체 균열이 확인되었고 3번에서는 X, Y 방향에서 각각 11 mm, 23 mm, 1번에서는 X, Y 방향에서 각각 12 mm, 25 mm의 균열이 확인되었다.

4.2.3 시험 결과 종합

육안 검사에서는 5리듬(2,015발) 사격 후 미세균열이 확인되기 시작하였고 자분탐상시험에서는 2리듬(806발) 사격 후 미세균열(3 mm, 4 mm)이 확인되기 시작하였다. 이후 사격이 진행됨에 따라 균열은 성장하였으나 성

장 속도는 느리게 진행되어 최종 5,000발 사격 후에도 육안으로는 세밀히 살펴보아야 확인되는 미세 균열 상태를 유지하였다.

Table 3. Comparison of Crack Length

Before					After				
Rounds (S/N)	Crack Length(mm)				Rounds	Crack Length(mm)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
549 (1*-**0)	3	8	4	7	403	0	0	0	0
932 (1*-**7)	5	9	4	8	806	0	4	0	3
1,297 (0*-**3)	4	12	6	15	1,209	0	6	0	5
1,576 (0*-**8)	4	15	4	18	1,612	0	9	0	8
2,012 (1*-**5)	10	25	10	25	2,015	4	9	3	9

13리듬(5,000발)까지 사격 간 폐쇄기 균열로 인한 고장이나 사용 불능 현상이 발생하지 않고 정상적인 사격이 가능하였으며, 균열의 최대 깊이가 2.5 mm로 기존 제품의 2,211발에서의 3 mm보다 작았다. 또한 개선 전 제품과 균열 길이 비교 결과 개선 후 균열 길이가 전반적으로 낮게 발생되어 기존 제품과 대비하여 개선 효과가 있음을 확인하였다. 개선 전 샘플 시료와의 균열 길이 비교는 Table 3과 같다.

5. 결론

본 연구는 30mm 자동포용 폐쇄기가 운용 중 균열이 발생됨에 따라 개선을 통해 폐쇄기의 내구성을 향상하고자 하였다.

균열은 폐쇄기와 잠금쇠의 지속적인 충돌로 인한 충격 피로에 의해 발생된 것으로 판단되었고, 충돌은 매 사격 시마다 1회 발생하는 구조로 누적 사격 발수에 따라 점차 균열 크기가 증가하였다.

내구성 향상 방안으로 기존 재질을 MIL-S-46119로 변경하고, 크롬도금은 삭제하였으며, 단조 공정을 변경하여 내충격성 향상 및 균열 감소 개선을 하였다. 또한, 기존 균열부의 R 값을 증대하여 응력을 분산시키고 하중 집중부위에 쇼트피닝 공정으로 압축 잔류응력을 발생시켜 피로강도를 향상시켰다.

개선 제품의 사격시험 결과 5,000발까지 폐쇄기로 인

한 사격 장애는 없었으며, 문제 된 균열은 균열 발생 시점이 부위마다 늦춰졌고, 기존 제품은 2,211발에서의 최대 균열 깊이가 3 mm이었으나 개선 제품은 5,000발 사격 후 2.5 mm로 감소하여 개선 효과가 있다는 것을 확인하였다.

본 연구는 향후 유사제품의 내구성 향상, 폐쇄기 균열 성장 속도 예측(수명 연구) 및 균열 허용 기준 설정을 추진할 때 유용한 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] B. G. Song, G. H. Kim, Y. K. Kim, S. H. Park, J. G. Baek, "The research of Correspondence Analysis centered on the Failure Period to improve the reliability of Weapon Systems", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.10, pp.289-299, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.10.289>
- [2] H. S. Chang, K. W. Lee, Y. H. Choi, D. S. Seo, "Reliability analysis and its application based on quality information of submarine installed equipment during building stage", *Journal of Korean Society of Marine Engineering*, Vol.41, No.9, pp.934-942, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2017.41.9.934>
- [3] R. B. Na, B. H. Kim, J. S. Lee, B. H. Kim, "A Study on the Increase of the Reliability of the Flick Rammer on K-55A1 Self Propelled Artillery", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.9, pp.62-68, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.9.62>
- [4] I. H. Song, "Reliability improvement method in weapon systems through field failure data analysis", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.12, pp.110-117, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.110>
- [5] T. W. Kang, H. W. Yeom, H. R. Lee, J. M. Ahn, "Research on fault analysis and reliability improvement of APU start motor for Korea Utility Helicopter", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.18, No.6, pp.703-709, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.6.703>
- [6] D. K. Noh, Y. K. Kang, J. D. Ji, J. S. Park, J. S. Jang, "Case of Developing Analysis Model for Recoil System for Automatic Gun", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.24, No.4, pp.35-41, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9709/KSS.2015.24.4.035>
- [7] R. B. Na, B. H. Kim, J. H. Seo, "A Study for Increasing the Safety of Gun Firing System of Patrol Killer Guided Missile from Failure Mode Analysis", *Journal of the KIMST*, Vol.20, No.2, pp.159-169, 2017..

DOI: <http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.2.159>

- [8] J. W. Shin, C. M. Jung, S. Y. Choi, H. J. Lee, T. S. Shin, H. S. Seo, "A Study on Improvement of the Abnormal Operation of a One-shot Rifle with Bolt-action Operating System", *Journal of the Korea Society for Quality Management*, Vol.47, No.3, pp.417-424, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7469/KSQM.2019.47.3.417>
- [9] D. S. Shim, S. H. Lee, M. H. Lee, "Effect of Shot-peening on Fatigue Crack Growth", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol.18, No.6, pp.91-95, 2004.
- [10] J. C. Kim, H. S. Cho, S. K. Cheong, "Fatigue Characteristics and Compressive Residual Stress of Shot Peened Alloy 600 Under High Temperature", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A*, Vol.37, No.3, pp.333-338, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.3.333>
- [11] S. J. Yoon, N. S. Chol "High Cyclic Fatigue Life and Fracture Behaviors of Shot-Peened Bearing Steel", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A*, Vol.35, No.9, pp.1119-1129, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2011.35.9.1119>

박 영 민(Young-Min Park)**[정회원]**

- 2013년 2월 : 울산대학교 조선공학 (공학사)
- 2013년 1월 ~ 2017년 1월 : STX 조선해양 대리
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품 직원 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계/조선, 진동/소음

노 상 완(Sang-Wan Noh)**[정회원]**

- 2012년 7월 : Tsinghua University 정밀기계과 (공학사)
- 2015년 6월 : 연세대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2015년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 직원 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계/재료, 열/유체

김 성 진(Sung-Jin Kim)**[정회원]**

- 2005년 2월 : 안동대학교 기계공학과 (공학사)
- 2004년 6월 ~ 2010년 7월 : 에스엘텍 선임연구원
- 2010년 7월 ~ 현재 : S&T중공업 책임

〈관심분야〉

국방, 기계, 전기/전자

김 성 훈(Sung-Hoon Kim)**[정회원]**

- 2014년 12월 : 한양대학교 재료공학과 (공학사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 직원 연구원

〈관심분야〉

재료공학, 열역학