

반복충격에 의한 한국형 소총의 공이 피로파괴 사례 연구

이호준*, 최시영, 신태성, 서현수
국방기술품질원

Case Study on the Firing Pin Fatigue Destruction of the Korean Rifle by Repeated Impact

Ho-Jun Lee*, Si-Young Choi, Tae-Sung Shin, Hyun-Su Seo
Defense Agency for Technology and Quality

요 약 현대의 자동소총의 공이는 공이치기에 의해 타격을 받아 장전된 탄약의 뇌관을 기폭 시키는 역할을 한다. 이 과정에서 공이는 충격하중을 받게 되며 소총의 수명주기 동안 반복적인 힘을 받게 된다. 소총의 내구도 시험에서 전체의 96.26% 진행 중 공이가 초기에 파손되는 현상이 발생하였다. 이에 따라 원인분석과 재현시험을 통해 파손현상 사례연구를 실시하였다. 파손이 발생한 공이의 파단면을 현미경 및 SEM 분석결과 반복충격에 의해 표면 원주방향 전체에서 균열이 시작해 심부로 피로균열이 발생했다. 반복충격에 의해 균열이 성장하다 마지막에 피로파괴가 발생하였으며, 노치에 의한 것으로 추정되었다. 검증을 위해 원주방향 0.03mm의 노치를 생성한 공이로 재현시험결과 동일한 형태의 파단면을 가지면서 전체 수명의 64.25%에서 파손되었다. 파손사례연구를 위한 노치형태별 재현시험결과 한쪽 측면 노치 0.3mm, 0.5mm의 공이는 각각 65.53%, 50.76%에서, 6개 지점의 노치 0.03mm는 85.65%에서 파손되었다. 마지막으로 표면 거칠기가 거칠고 톨 마크가 육안으로 확인이 가능한 공이는 내구수명을 만족하며 381 μ m의 내부균열이 진행되었다. 본 연구를 통해 노치형태별 파손에 대해 고찰하였으며, 반복충격을 받는 부품의 신뢰성 확보를 위해 노치와 표면 거칠기 품질관리가 중요한 것을 알 수 있다.

Abstract The firing pin of modern automatic rifles detonates the primer of loaded ammunition via a hammer. During this process, the firing pin receives an impact load and repetitive force throughout the life of the rifle. An endurance test of a rifle showed that the firing pin breaks prematurely at 96.26% of life. Accordingly, a case study was conducted through cause analysis and a reconstruction test. Optical microscopy and scanning electron microscopy of the broken surface of the firing pin showed that a crack began in the circumferential direction of the surface, resulting in a fatigue crack to the core after repeated impact. Crack growth and fatigue destruction occurred at the end due to the repetitive impact and was estimated using a notch. For verification, a sample that produced a 0.03mm circumferential notch was broken at 64.25% of life in the reconstruction test. A test of breakage according to the notch types showed that a 0.3mm and a 0.5mm one-side notch were broken at 66.53% and 50.76%, respectively, and a 0.03mm six-point notch was broken at 85.65%. The endurance life of a sample firing pin with a rough surface and tool mark was examined, but an approximately 381 μ m internal crack formed. Through this study, failure for each notch type was considered. These results show that quality control of the notch and surface roughness is essential for ensuring the reliability of a component subjected to repeated impact.

Keywords : Small Arms, Fatigue, Firing Pin, Repeated Impact, Notch

*Corresponding Author : Ho-Jun Lee(Defense Agency for Technology and Quality)

email: ghwnsking@dtqa.re.kr

Received March 30, 2020

Accepted May 8, 2020

Revised April 21, 2020

Published May 31, 2020

1. 서론

현대의 소구경화기 중 자동소총은 탄이 격발할 때 발생하는 가스를 이용하여 자동으로 탄을 장전할 수 있는 구조로 설계되어 있다. 이를 가스작동식이라고 부르며 Fig. 1과 같이 가스가 직접적으로 노리쇠에 힘을 가해 후퇴시키는 방식을 가스직동식, Fig. 2와 같이 노리쇠에 연결된 피스톤을 후퇴시키는 방식을 가스피스톤식이라고 일컫는다[1].

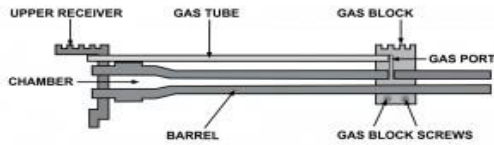


Fig. 1. Impingement Gas System

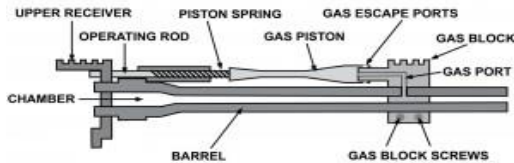


Fig. 2. Gas Piston System

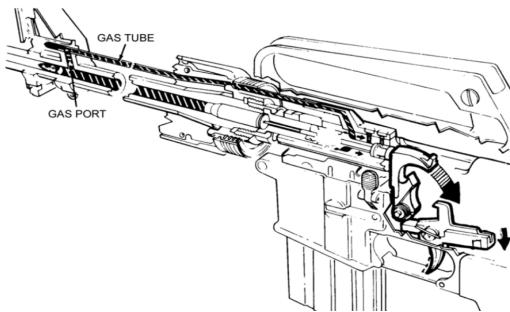


Fig. 3. M16 Rifle Gas Operating System

소총의 사격기능은 송탄, 장전, 잠김, 격발, 풀림, 추출, 방출, 격발준비 단계를 거쳐 진행되며 각 단계별로 소총 내부의 부품들 간 연쇄 작동에 의해 이루어지게 된다. 장전된 소총의 방아쇠를 당겼을 때 고정되어 있던 공이치기는 Fig. 3[2]과 같이 스프링의 힘에 의해 회전하여 공이 뒤를 타격한다. 이때 공이는 약실 내에 위치한 탄약의 뇌관을 타격하여 격발이 이루어지며, 격발과 함께 화약폭발에 의해 생성된 가스는 가스튜브를 따라 다시 뒤로 돌

아오게 된다. 이 가스에 의한 힘으로 노리쇠가 후퇴전진하면서 탄약 재장전이 이루어지며 공이치기가 방아쇠에 의해 고정되어 격발 가능한 상태가 된다. 이 때 방아쇠가 계속 당겨진 상태일 때 공이치기가 방아쇠에 고정되지 않고 바로 공이를 타격하게 되면서 탄약을 격발시키는 자동사격이 반복된다. 이 과정에서 공이는 탄약의 뇌관을 타격하여 폭발시키는 부품으로 노리쇠집 내부에 위치하고 있으며 자동소총 기능에 의해 반복적으로 공이에 충격이 가해지게 된다.

대한민국에서 소총은 군에서 개인화기로 사용되며, 국방규격에 의한 시험을 거친 후 합격 시 납품이 이루어지게 된다. 많은 시험 중 소총의 내구도 시험은 0000발 사격 간 부품에 이상이 없는 것을 확인하는 시험이다. 공이 역시 소총의 부품으로 최소 0000발 이상의 수명을 가져야 하나 수락시험 간 공이가 파손되는 현상이 발생하였다. 소총의 부품파손 관련 연구사례로 국내에서는 볼트액션 소총의 공이파손 개선[3]에 대해 연구된바 있으며, 국외에서 M16소총 노리쇠 파손분석[4], 유한요소모델링을 사용한 공이 최적화 설계에 관한 연구[5]가 있다. 소총 운용의 국내환경 특성 상 개선관련 연구사례는 많지 않으며, 국외에서도 내구도 시험 중 발생한 파손현상과 동일한 사례는 연구된 바 없었다.

본 논문에서는 소구경화기 사격시험 간 반복충격을 받는 공이의 파손원인을 분석하고 원인 검증을 위한 재현 시험 및 공정간 발생 가능한 다양한 형태의 결함에 대한 사례연구를 실시하였다.

2. 원인분석

2.1 작동원리

공이는 노리쇠 내부에서 총열의 축 방향으로 직선운동을 하며, 노리쇠는 노리쇠집 내부에서 약실 잠김 작용을 위하여 회전이동을 한다. 격발하기 전 노리쇠집이 후퇴되어 있을 때 자유로운 상태의 공이가 탄약을 장전하여 노리쇠집이 전진했을 때 Fig. 4와 같은 상태가 된다. 이때 방아쇠를 당겼을 때 Fig. 5와 같이 공이치기가 공이를 타격하게 된다. 이 때 공이의 후방부는 공이치기에 의해 전방으로 이동하는 힘을 받으며 공이의 전방부는 탄의 뇌관을 타격하면서 Fig. 5의 A위치에서 멈추게 된다. 사격이 지속될 때 공이는 충격을 반복적으로 받게 되며, 공이 전진 멈춤에 의해 충격을 직접적으로 받는 A위치가 취약부위가 된다.

공이를 타격하는 공이치기는 스프링의 탄성력에 의해 작동한다. Fig. 6과 같이 공이치기를 당겨 고정된 상태의 각도를 θ_0 , 공이치기가 탄성력에 의해 회전하여 공이를 타격하였을 때의 각도를 θ_1 이라고 하면, 스프링에 의한 회전토크와 회전위치에너지와 회전운동에너지는 각각 Eq. (1) 및 Eq. (2)와 같다.

$$E_p = \frac{1}{2} k_t (\theta_0^2 - \theta_1^2) \quad (1)$$

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega_t^2 = \frac{1}{2} I \cdot \left(\frac{v}{r} \right)^2 \quad (2)$$

Where, k_t denotes rotational stiffness, θ_0 and θ_1 denote rotation degree, E_p denotes rotational potential energy, E_k denotes rotational kinetic energy, I denotes rotational moment of inertia, ω_t denotes angular velocity, v denotes linear velocity at hit point, r denotes distance between center of rotation and hit point

에너지 보존 법칙에 따라 공이치기의 회전에 의한 타격지점에서의 속도는 Eq. (3)과 같이 구할 수 있으며, 타격지점이 위치한 반경 r 에서의 공이치기 등가질량은 Eq. (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_p = E_k \Rightarrow v = r \cdot \sqrt{\frac{k_t(\theta_0^2 - \theta_1^2)}{I}} \quad (3)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m_{eq} v^2 = \frac{1}{2} I \cdot \left(\frac{v}{r} \right)^2 \Rightarrow m_{eq} = \frac{I}{r^2} \quad (4)$$

Where, m_{eq} denotes equivalent mass at hit point

타격 시 공이로 전달되는 충격하중이 half-sine 형태를 가진다고 가정했을 때 시간에 따라 공이에 가해지는 힘의 변화는 Eq. (5)로 표현할 수 있다.

$$f(t) = F \cdot \sin(\omega t) = F \cdot \sin\left(\frac{\pi}{t_I} t\right) \quad (5)$$

Where, $f(t)$ denotes function of hammer force, F denotes Amplitude of hammer force, ω denotes frequency, t denotes time, t_I denotes time of applied impulse

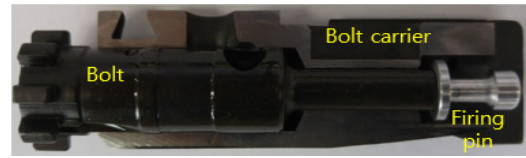


Fig. 4. Bolt Carrier Components

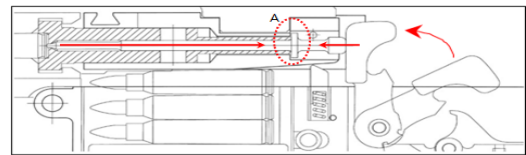


Fig. 5. Firing Pin Acting Force Mechanism

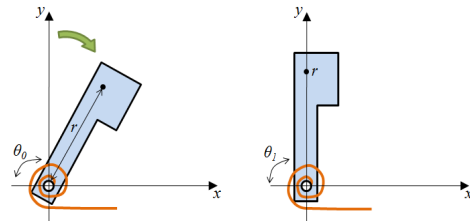


Fig. 6. Firing Pin Hammer Acting Force

충격량은 충격하중 곡선의 면적이므로 Eq. (6)과 같다. 또한 충격량은 Eq. (7)과 같이 공이치기의 운동량의 변화이므로 충격 시 공이에 작용하는 최대 힘은 Eq. (8)과 같다.[6]

$$I_m = \int_0^{t_I} F \cdot \sin\left(\frac{\pi}{t_I} t\right) dt = \frac{2Ft_I}{\pi} \quad (6)$$

$$I_m = m_{eq}(v - v_0) = m_{eq}v \quad (7)$$

$$F = \frac{m_{eq}v\pi}{2t_I} \quad (8)$$

Where, I_m denotes Impulse, v_0 denotes velocity of zero point

이렇게 전달된 힘에 의해 공이는 굽힘이나 파손이 일어나지 않도록 최상급의 재료를 사용한다.[7] 또한 내마모성, 내식성, 부식저항 및 피로강도를 증가시키기 위한 크롬도금과 반복되는 충격에 의한 피로한계를 높이기 위해 쇼트피닝공법이 적용되어 있다. 쇼트피닝은 재료 내부에 압축잔류 응력층을 형성하여 반복하중에 의해 외부표면에서 시작한 균열이 내부로 진전하는 것을 억제하는 역할을 한다. 고장력강의 표면처리에 따른 피로강도 변화

연구의 S-N곡선[8]에서 크롬도금과 쇼트피닝이 적용되었을 때 1000MPa이하의 하중에서 피로강도의 효과가 큰 것을 보여준다. 공이는 내구수명발수를 만족하도록 설계되어 있는 상태이며, 과거 내구수명시험 간 공이 파손 사례는 없었다.

2.2 원인 분석

공이의 파손현상 원인분석은 Fig. 7과 같이 진행하였다. Fig. 8과 같이 특성 요인도를 이용하여 공이 파손에 영향을 줄 수 있는 인자들을 먼저 파악하였다. 다음으로 각 인자별로 규격만족 여부를 확인하여 파손 주요 인자를 식별 및 분석하여 발생 원인을 추론하였다.

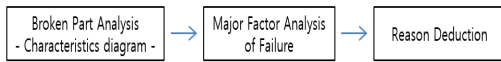


Fig. 7. Cause Analysis Process

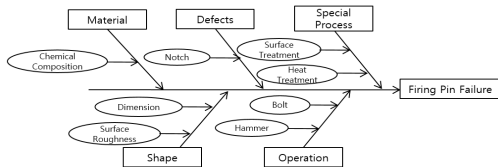


Fig. 8. Characteristics diagram

공이는 내구도 시험 사격 간 0000발째에서 Fig. 9와 같이 파손되었다. 내구수명 발수를 100 %로 보았을 때 96.26 % 진행 중 발생하였다. 취약부위인 Fig. 5의 A 위치를 기준으로 좌우로 절단되었으며 좌측 직선부가 탄의 뇌관을 타격하는 부위, 우측이 공이치기가 공이를 타격하는 부위이다.



Fig. 9. Broken Parts of Firing Pin

공이파손 원인 인자인 재질은 화학분석결과와 규격을 만족하였다. 표면처리 공정과 도금 두께 확인, 열처리 공정 및 경도 확인결과 이상 없었으며, 공이와 상호 작동하는 부품인 노리쇠, 공이치기의 치수와 조립 및 작동 역시 이상 없음을 확인하였다. 표면 거칠기와 노치의 이상여부 확인을 위해 아래와 같이 파손 형상을 분석 하였다.

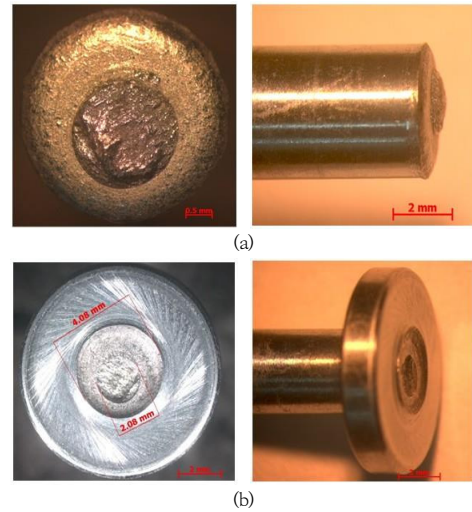


Fig. 10. Broken Shapes of Firing Pin
(a) Primer Hitting Part (b) Hammer Hitting Part

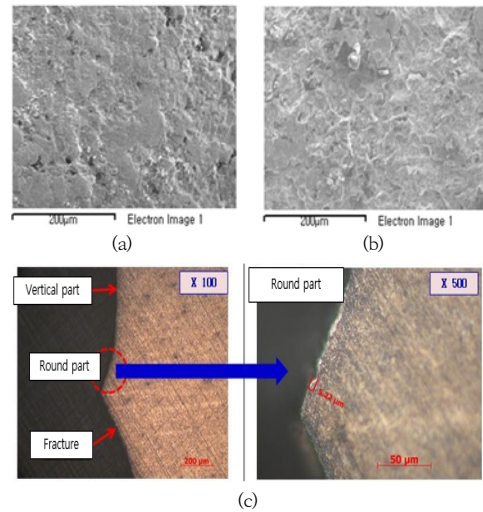


Fig. 11. SEM & Microscopic Views
(a) Out side of Fracture (b) Center of Fracture (c) Round Part Tool Mark

파손된 공이의 좌측부위인 뇌관타격 직선부 파단면의 세부형상은 Fig. 10. (a)와 같으며 우측의 공이치기 타격부 파단면 세부형상은 Fig. 10. (b)와 같다. 파손부품 두 부위 모두 중심을 기준으로 두 개의 원으로 파단면이 형성되었다. 이것은 균열의 시작이 조금씩 차이는 있으나 원주 전체방향에서 시작하여 중심부로 확장된 것을 알 수 있다.

각각의 파단면을 SEM으로 분석한 결과 바깥 원의 Fig. 11. (a)는 매끈하고 평편한 면으로 다져져 있으며 조

직의 모양이 일정한 방향의 양상을 보이고 있다. Fig. 11. (b)는 원의 중심부위로 울퉁불퉁하며 불규칙적인 형상을 띠면서 취성파괴의 형태를 가지고 있다. 이것을 통해 아래와 같이 추론할 수 있다.

1. 반복충격에 의해 균열이 외부표면 전 방향에서 시작하여 심부로 이동하였다.
2. 반복적인 압축 이완에 의해 피로균열이 성장하였다.
3. 균열이 지속적으로 성장하여 사격충격에 의해 심부에서 파손이 발생하였다.

공이 파손부위 외부표면의 현미경 분석결과 Fig. 11. (c)와 같이 미세한 톨마크를 확인하였다. 공이의 파손 시작부위는 수평면과 수직면이 만나기 때문에 응력집중을 감쇄하기 위해 라운드 가공이 되어 있다. 또한 정밀한 치수와 표면 거칠기를 규격범위 내에 맞추기 위해 그라인딩 휠을 이용한 연삭가공을 한다. 이때 공구의 상태에 따라 표면 거칠기가 규격범위를 벗어나거나 과도한 톨마크가 발생하여 노치역할을 할 수 있다. 노치는 반복하중을 받는 재료에 있어서 균열을 내부로 전파시키고 결국 파손에 이르는 원인을 제공할 수 있기 때문에 노치관리가 중요하다.

3. 사례분석

3.1 재현시험

노치에 의한 파손의 검증을 위하여 재현시험을 실시하였다. 재현시험의 절차는 Fig. 12와 같이 내구도시험 결과 발생한 공이파손의 원인으로 추정된 인자에 대하여 재현시험을 통해 원인을 검증하고 인자의 유형에 따른 현상 분석을 실시하였다.

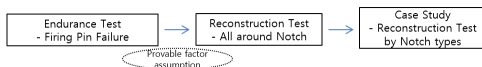


Fig. 12. Reconstruction Test Process

파손의 형태가 원주 전 방향에서 시작하여 내부로 이동하였기에 노치가 원주 전체에 있었을 것으로 가정하여, 재현시험을 위한 공이의 동일한 부위에 Fig. 13과 같이 임의의 노치(0.03 mm)를 생성하여 내구도시험과 동일한 절차로 재현시험을 실시하였다.

시험결과 내구도 수명발수의 64.25 %진행 중 파손이

발생하였으며, 파손형태는 Fig. 14과 같이 나타났다. 생성된 노치를 기준으로 Fig. 14. (a)의 뇌관타격 직선부와 Fig. 14. (b)의 공이치기 타격부로 절단되었다. 기존 파손품과 동일하게 공이 중심축 기준으로 두 개의 원으로 파단면이 형성되어 바깥면은 균열 성장, 내부는 취성파괴가 발생한 것을 확인할 수 있다. 균열의 성장방향 역시 Fig. 14. (a)와 같이 외부에서 중심부위로 성장하여 결국 공이 파손원인은 피로균열 시작 부위에 존재한 노치가 원인임을 알 수 있다.

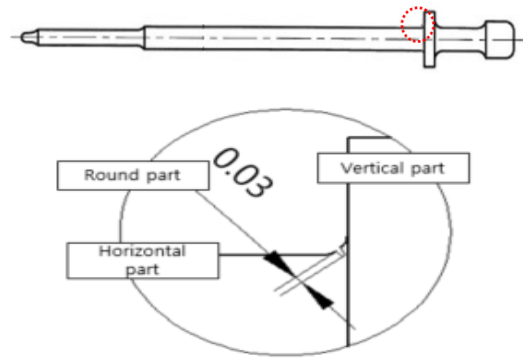


Fig. 13. Notched site of Firing Pin

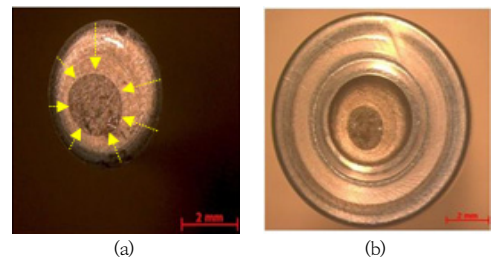


Fig. 14. Broken Shapes of Reproduction Test
(a) Primer Hitting Part (b) Hammer Hitting Part

3.2 노치 형태별 재현시험

라운드 부위에서 연삭가공 중 발생할 수 있는 노치 발생유형별로 파손형태를 분석하였다. Fig. 15. (a)와 같은 형태로 한쪽 측면에 노치를 각각 0.3 mm, 0.5 mm 생성한 Case 1 시료 2개, 6개의 지점에 0.03 mm 노치를 생성한 Case 2 시료 1개, 파손품과 동일한 가공공정을 거친 공이 톨마크가 육안으로 확인 될 수준의 시료 1개를 Case 3으로 하여 내구도 시험 결과를 확인하였으며 시험결과를 Fig. 15, Fig. 16 및 Table 1과 같이 나타났다.

3.2.1 Case 1

한쪽 측면에 노치를 생성한 공이의 재현시험결과와 앞선 시험과 다르게 Fig. 15. (b), Fig. 12. (c)와 같이 파단 경계가 노치를 생성한 반대쪽에 형성되었다. 노치 시작부위와 인접한 파단면은 매끈한 표면을 가지고 있으며, 반대쪽은 울퉁불퉁한 표면의 취성파괴 형상을 가지고 있다. 이것은 노치로부터 시작한 피로균열이 측면에서 반대측면으로 진행하여 마지막에 파손된 것을 알 수 있다. 취성파괴가 일어난 부위의 원주방향에서는 피로균열의 성장이 확인되지 않았고 최종파괴의 주 영향은 노치에 의해 성장한 피로균열인 것으로 판단된다. 이를 보았을 때 기존에 파손된 공이가 명확히 원주 전체방향에서 노치가 있었다는 것을 알 수 있다. 파손 사격발수는 Table 1과 같이 0.3 mm의 노치는 전체 내구수명의 65.53 %이며 0.5 mm의 노치는 50.76 %로 노치의 크기가 클수록 빠르게 파손이 발생하였다.

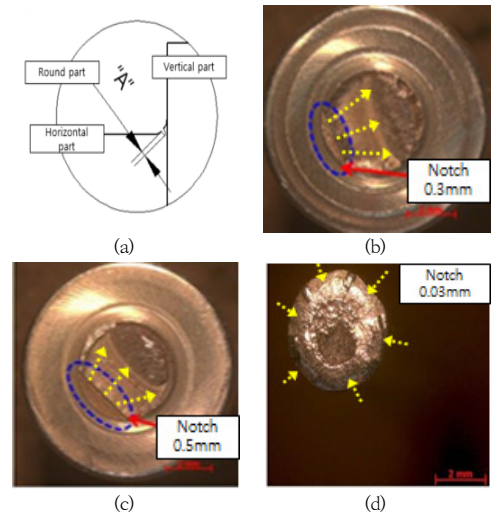


Fig. 15. Broken Shapes by Notched Type
(a) Notch Shape (b) Case 1 0.3mm (c) Case 1 0.5mm (d) Case 2

3.2.2 Case 2

6개의 지점에 0.03 mm의 노치를 생성한 공이의 수명 시험결과 Fig. 15. (d)와 같이 파단면이 나타났다. 노치를 생성한 각 지점에서 균열이 시작하여 매끈한 피로균열 성장 양상을 보이며, 각각의 시작점에서 만난 파단면과는 경계선이 형성되었으며 중심부로 성장한 피로균열이 종국에는 취성파괴의 형태로 나타난 것을 알 수 있다. 사격 결과는 수명의 85.65 % 수준에서 파손되었으며, 원주 전체에 노치를 생성한 시료의 결과와 비교해 보았을 때 더 높은 수명을 가지고 있음을 알 수 있다. 이것은 6개의 시작지점으로부터 성장한 균열이 각각 만났을 때 형성된 경계면에서 응력이 양쪽에서 받게 되어 더 이상 균열이 성장하지 않고 중심부로 성장한 균열이 파손을 일으킨 것으로 추정된다.

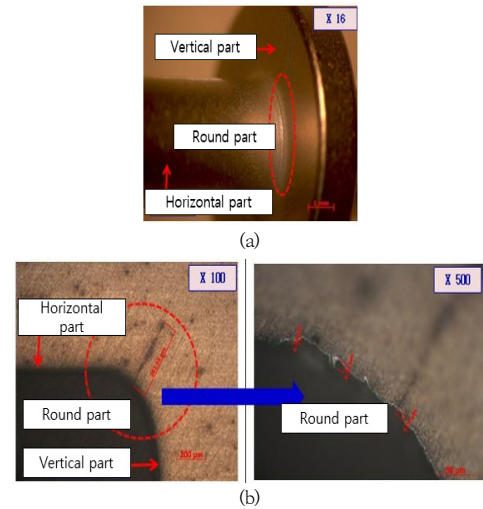


Fig. 16. Microscopic Views of Case 3
(a) Tool Mark (b) Internal Crack Growth

3.2.3 Case 3

Fig. 16. (a)와 같이 육안으로 확인 가능한 툴 마크를 가진 공이를 현미경으로 확인결과 0.005 ~ 0.015 mm의 깊이를 보유하고 있었다. 재현시험결과 수명을 충족하여, 추가적으로 10 % 사격을 진행한 후 이상여부확인을 위해 자분탐상검사를 하였으며, 표면에서 미세균열이 확인되었다. 균열의 진행정도를 파악하기 위하여 절개 후 확대경으로 확인한 결과 Fig. 16. (b)와 같이 미세균열이 381 μ m 진행한 것을 확인하였다. 이것은 미세한 툴마크로부터 피로균열 성장이 발생하고 있음을 의미한다.

3.3 재현시험 결과

노치형태별 재현시험 사례분석결과는 다음과 같다. 한쪽 측면의 노치의 크기가 큰 Case 1과 원주방향으로 미세한 노치가 형성된 재현시험을 비교했을 때 거의 동일한 수명을 가지고 있다. 이것은 노치에 의한 피로균열의 시작범위가 클수록 빠르게 파손되는 것을 알 수 있다.

내구도 시험결과와 원주방향 노치에 의한 재현시험 결과를 비교했을 때 최초 파손된 공이에는 0.03 mm보다

작은 노치가 존재했을 것으로 예상된다.

그럼에도 불구하고 Case 3에서 0.005~0.015mm수준의 툴 마크가 있는 공이에서 파손이 발생하지 않은 이유는 성장한 툴 마크의 최초 깊이를 알 수 없으며 임의로 생성한 노치의 형태가 툴에 의한 노치보다 날카롭게 생성되어 피로균열 성장에 취약한 형태이기 때문에 차이가 있는 것으로 추정된다.

Table 1. Result of Case Study

Test	Notch Type	Finish Rounds
Endurance Test	*	96.26%
Reconstruction Test	All around 0.03mm	64.25%
Case 1	One point 0.3mm	65.53%
	One point 0.5mm	50.76%
Case 2	Six points 0.03mm	85.65%
Case 3	Rough Surface	110%

4. 결론

본 연구에서는 소총 사격 간 반복충격을 받는 부품인 공이의 파손현상 사례에 대해 분석하였다. 공이는 사격기능에서 탄약을 폭발시키는 역할을 하는 중요한 부품이며, 직접적으로 격발충격을 반복해서 받게 된다. 공이치기에 의해 충격하중을 반복적으로 받는 공이는 피로파괴에 강한 소재와 경도, 표면처리 등의 공정을 거친 부품이나 조 기 파손사례가 발생하여 원인 및 발생사례 분석을 실시하였다.

파손부위 현미경 및 SEM 분석결과 균열의 시작이 원 주 전체방향에서 시작하여 반복하중에 의해 피로균열이 성장했으며 전체 내구수명의 96.26 %에서 피로파괴가 발생하였다. 공이 하단의 수직면과 수평면이 만나는 부위에 라운드 가공이 되어 있으나 표면 거칠기 불량 및 공구 툴 마크에 의해 노치가 형성되어 균열이 시작된 것으로 추정하였다. 이에 따라 임의의 노치를 형성한 시료로 재현시험을 통해 검증하였다. 0.03 mm수준의 노치에 대한 재현시험결과 파단면의 양상이 내구도시험 파손 공이와 동일한 형태를 가지고 있으며 전체 수명의 64.25 %에서 파손이 발생하였다.

라운드 가공 간 발생할 수 있는 결함 형태별로 한쪽 측면, 6개 지점에 노치를 임의로 생성한 시료와 표면 거칠기가 과다한 시료를 이용하여 재현시험을 실시하였다.

그 결과 노치가 형성된 시료는 내구수명을 만족하지 못하고 파손이 발생하였으며 표면 거칠기가 과다한 시료는 내부균열이 진행되고 있는 것을 확인하였다. 파손 발수와 균열 진행 형태를 보았을 때 육안으로 식별이 가능한 수준 또는 0.03 mm이하의 노치에서 공이의 피로파괴가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

정밀가공 부위 가공툴의 마모정도 관리, 공정간 주기적인 제품 확인 등으로 발생할 수 있는 결함요소를 사전에 제거하고, 가공부위의 표면 거칠기 검사를 통해 노치에 의한 공이파손을 예방하고 품질 신뢰성을 확보 할 수 있을 것이다.

본 연구를 통해 반복충격을 받는 부품인 공이의 표면 거칠기 및 노치가 중요 관리 포인트임을 도출할 수 있었으며, 같은 작동방식을 가지는 타 소구경화기 및 장비에서도 동일현상 방지를 위한 사례로써 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Richard A. Mann. 6 Facts About AR-15 Direct Impingement Vs. Gas Piston[Internet]. gundigest, c2014 [cited 2014 June 18], Available From: <https://gundigest.com/gun-reviews> accessed March. 18, 2020)
- [2] Shotgunlee. M16 rifle Firing FM 23-9 Fig2-7[Internet]. wikimedia, c2006 [cited 2006 July 10], Available From: <https://commons.wikimedia.org> (accessed March. 18, 2020)
- [3] Shin Jae Won, Jung Chan Man, Choi Si Young, Lee Ho Jun, Shin Tae Sung, Seo Hyun Su, "A Study on Improvement of the Abnormal Operation of One-shot Rifle with Bolt-action Operating System", *J Korean Soc Qual Manag*, Vol.47, No.3, pp.417-424, Sep. 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2019.47.3.417>
- [4] V.Y.Yu, J.G.Kohl, R.A.Crapanzano, M.W.Davies, A.G.Elam, M.K.Veach "Failure analysis of the M16 rifle bolt", *Engineering Failure Analysis*, Vol.12, Issue.5, pp.746-756, Oct. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2005.01.004>
- [5] E P Riyanto, I Yani, A Arifin, M Zahir "Design Optimization in Stress Distribution of Firing Pin Rifle by Impact Force Using Finite Element Modeling", *Symposium of Emergin Nuclear Technology and Engineering Novelty*, Journal of Physics, 1198, April. 2019 . DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/4/042009>
- [6] Anthony Bedford, Wallace Fowler, *Engineering Mechanics DYNAMICS*, p.652, Prentice Hall, 2008, pp652

- [7] Lee, Hung Ju, Rifle and Ballistics. Chung Moon Gak, p.464
- [8] S. H. Kang, J. H. Cha, S. I. Bae, "A Study on Fatigue Strength Influence of Surface Treatment on High Strength Steel SNCM8", *Korean Society for Precision Engineering*, pp.697-703, June 1996.

이 호 준(Ho-Jun Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 부산대학교 항공우주공학과 (학사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기동화력센터 연구원

<관심분야>

기계, 항공, 국방품질경영

최 시 영(Si-Young Choi)

[정회원]



- 2011년 8월 : 부산대학교 기계공학부 (학사)
- 2014년 8월 ~ 현재: 국방기술품질원 기술기획본부 연구원

<관심분야>

생산기술, 기계설계, 품질보증

신 태 성(Tae-Sung Shin)

[정회원]



- 2015년 8월 : 고려대학교 기계공학과 (학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 품질경영부 연구원

<관심분야>

기계, 국방품질경영, 체계공학

서 현 수(Hyun-Soo Seo)

[정회원]



- 1995년 2월 : 부경대학교 대학원 기계공학과(석사)
- 2011년 2월 : 부경대학교 대학원 기계공학과(박사)
- 1993년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기동화력센터 책임연구원

<관심분야>

기계, 국방품질경영, 서비스품질