

링크식 격발기구 설계에 관한 연구

A Study on Designing Link Type Percussion Lock

이 준 호* 여 운 주* 최 의 중*
Joon-Ho Lee Woon-Joo Yeo Eui-Jung Choe

Abstract

In the traditional percussion locks of small arms, a firing pin is struck by a hammer rotating on a single center of rotation, which makes the percussion mechanism simple and reliable. In order to strike the firing pin by the hammer, however, the firing pin should be located within the radius of rotation of the hammer. As the distance between the striking point of the firing pin and the center of rotation of the hammer becomes longer, the radius of rotation of the hammer should also be increased, which results in the increase of the volume and weight of the small arms because the hammer needs the more space for its operation inside of the small arms. In this paper, a link type percussion lock was newly proposed in order to overcome the limitation of designing small arms when using traditional percussion locks, as mentioned above. The link type percussion lock was modeled by using multi-body dynamics software and designed to satisfy the requirements such as striking force level of the hammer exerting on the firing pin enough to detonate the percussion cap of ammunitions and the safety on the accidental drop. It was applied to the newly developed dual-barrel weapon system, in which the weight and overall length are important design factors, and verified by durability test and drop test on the ground.

Keywords : Small Arms(소화기), Percussion Lock(격발기구), Link Type(링크식)

1. 서론

일반적으로 화기는 화기에 구비된 격발장치로 공이에 충격을 가하면, 공이가 탄환의 뇌관을 타격하도록 구성되어 탄환의 뇌관에 의해 탄환 내에 삽입된 화약을 점화시킴으로써 탄환이 발사되는 구조를 가지고 있다. 여기서 격발장치는 스프링의 탄성력을 이용하여

공이를 가격하게 되는데, 화기의 운용자가 격발장치와 연결된 방아쇠를 작동시켜 탄환을 발사시키기 때문에 화기의 구성 중 가장 중요한 역할을 수행하게 된다.

종래의 대표적인 화기 격발장치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 공이의 후방에 위치하여 공이를 타격하도록 형성된 일정 길이의 공이치기와, 공이치기를 탄성력으로 지지하는 비틀림 스프링으로 구성되어 있으며, 공이치기는 한 개의 회전중심점을 기준으로 회전하도록 되어있다. 운용자가 방아쇠를 당길 경우, Fig. 1 (a)에 위치해 있던 공이치기는 방아쇠에 의한 회전 구속에서 벗어나게 되고 압축되어 있던 비틀림 스프링의

† 2009년 3월 10일 접수~2009년 4월 17일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이준호(justinlee@add.re.kr)

회전 모멘트에 의해 공이치기는 회전하여 Fig. 1 (b) 위치에서 공을 타격하게 된다. 그러나 종래의 격발장치는 공이치기가 회전운동을 하기 때문에 공이가 공이치기로부터 먼 곳에 위치할 경우, 공이치기의 길이를 길게 형성해야 하고 그로 인해 공이치기의 회전반경이 증가하게 된다. 이는 공이치기의 작동을 위해 더 많은 공간을 요구하게 되므로 화기의 부피 및 무게가 증가되어 화기를 소형화하기 어려운 문제점이 있었다.

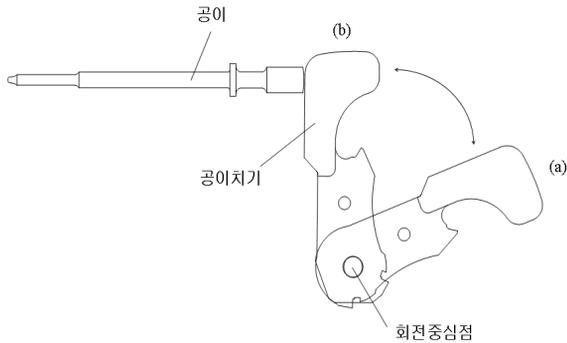


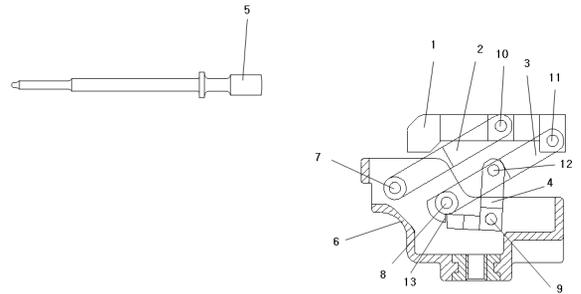
Fig. 1. 종래의 화기 격발장치

종래의 격발장치의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 전, 후방 공이치기 링크의 회전운동을 조합하여 공이치기를 작동시켜 공이가 먼 곳에 위치한 경우에도 타격할 수 있는 링크식 격발장치를 제안하였다. 이를 통해 종래의 격발장치에 비해 작은 공간 내에서도 작동이 가능하므로 화기의 부피 및 무게를 줄여 소형화된 화기를 설계할 수 있게 하였다.

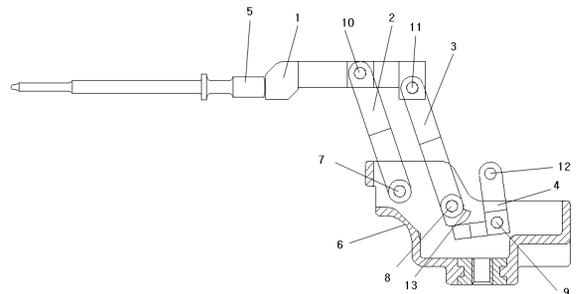
본 논문에서는 제안된 링크식 격발장치를 실제 화기에 적용하기 위해 다물체 동역학 해석 프로그램인 Recurdyn^[1]을 이용하여 설계 요구조건을 만족시키는 설계안을 도출하고자 한다. 이 때 설계 요구조건으로 탄환의 뇌관 격발을 위해 필요한 비틀림 스프링 상수와 낙하 충격에 대한 격발 방식이 고려된다. 또한 링크식 격발장치의 실제 화기에 대한 적용을 통해 그 성능 및 신뢰성을 검증하고자 한다.

2. 링크식 격발장치 구성 및 작동방식

본 논문에서 제안하는 링크식 격발장치는 Fig. 2 (a)에서 보는 바와 같이 공이치기(1), 전방 공이치기 링



(a) 격발 준비 상태



(b) 격발 상태

Fig. 2. 링크식 격발장치

크(2), 후방 공이치기 링크(3) 및 화기에 고정되는 하우징(6)이 4절 링크를 구성하고 있다. 공이치기(1)는 공(5)을 가격하는 두껍게 형성된 머리부와 머리부로부터 수평으로 일정 길이 연장된 몸체부로 이루어지고, 동일한 길이로 서로 평행하게 위치된 전방 공이치기 링크(2)와 후방 공이치기 링크(3)에 핀(10, 11)으로 연결되어 있다. 여기서 공이치기(1)의 머리부와 전방 공이치기 링크(2)와의 연결점(10) 간의 거리가 멀어질수록 더 먼 거리에 위치한 공(5)을 타격할 수 있게 된다. 후방 공이치기 링크 회전 중심점(8) 근처에는 걸림턱(13)이 있어 이 부위에 단발자(4)가 걸림으로써 격발 준비 상태가 된다. 전방 공이치기 링크(2), 후방 공이치기 링크(3) 및 단발자(4)는 하우징(6)에 모두 핀으로 연결되어 있고 각각의 회전 중심점(7, 8, 9)을 중심으로 회전 운동한다. 전방 공이치기 링크(2)와 하우징(6) 사이에는 비틀림 스프링이 장착되어 반시계방향으로 회전 모멘트를 작용시키며, 단발자(4)와 하우징(6) 사이에도 비틀림 스프링이 장착되어 시계방향으로 회전 모멘트를 작용시킨다. 단발자(4)의 방아쇠 연결점(12)은 별도의 링크부에 의해 방아쇠와 연결되게 된다. Fig. 2 (b)에서 보는 바와 같이, 운용자가 방아쇠를

당기면 단발자(4)가 단발자 회전 중심점(9)을 기준으로 반시계방향으로 회전하게 되고, 걸림턱(13)에서 단발자(4)가 이탈되면 전방 공이치기 링크(2)에 작용하고 있는 비틀림 스프링에 의한 회전 모멘트에 의해 반시계방향으로 공이치기(1)와 전, 후방 공이치기 링크(2, 3)가 회전을 하게 된다. 이로 인해 공이치기(1)는 화기 내부에서 수평을 유지한 상태로 회전운동을 하게 되며 공이 타격지점에서 공이(5)를 타격함으로써 탄환을 발사시킨다.

3. 모의 실험 1 : 뇌관 격발에 필요한 비틀림 스프링 상수 설계

본 논문에서 제안된 링크식 격발장치가 적용될 화기의 경우, 탄환의 뇌관을 격발하는 기준이 약 0.15J 이므로, 공이와 뇌관 충돌 시의 공이 전진 속도가 최소 약 4.429m/s 이상이 되어야 뇌관을 격발시킬 수 있게 된다. 격발에 관련된 부품들의 기하학적인 치수들이 결정된 상황 하에서, 공이 전진 속도는 공이 스프링과 전방 공이치기 링크에 연결된 비틀림 스프링 두 요소에 관련되어 있으나 모의 실험 1에서는 공이 스프링 상수를 고정시킨 상태에서 비틀림 스프링 상수만을 설계 변수로 고려하여 공이의 최소 전진 속도를 만족시키는 비틀림 스프링 상수를 구하는 것을 목적으로 하였다.

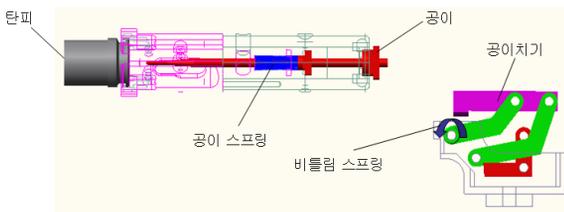


Fig. 3. 비틀림 스프링 상수 설계 해석모델(1차 설계안)

사용된 설계 변수의 기준값 및 범위는 다음과 같다.

- 기준 : $K = 177.43N \cdot mm/rad$, 조립 시 220도(3.84 rad) 압축(preload = $681.3N \cdot mm$)
- $K = 20 \sim 240N \cdot mm/rad$ 사이의 12가지 경우

12가지 비틀림 상수에 대해 case study를 수행하였으며, 해석 결과는 Table 1과 같다. 해석을 통해 공이

의 최소 전진 속도를 만족시키는 비틀림 스프링 상수는 최소 $K = 60N \cdot mm/rad$ 이 되어야 함을 알 수 있었다. 참고로 Table 1에서 속도의 의미는 아래와 같다.

- 공이치기 속도 : 공이치기 머리부가 공이와 충돌하기 직전의 속도
- 공이 전진 속도 : 공이치기와 충돌 시/탄피 바닥(뇌관)과 충돌 시 속도

Table 1. Case별 해석결과

| 비틀림 상수 (N · mm/rad) | 공이치기 속도 (m/s) | 공이 전진속도 (m/s) | 공이치기-공이 충격력 (kN) | 공이-탄피 충격력 (kN) |
|---------------------|---------------|---------------|------------------|----------------|
| 20 | 2.344 | 2.744 / 2.444 | 3.524 | 2.100 |
| 40 | 3.385 | 3.909 / 3.663 | 5.775 | 3.321 |
| 60 | 4.165 | 4.784 / 4.560 | 7.728 | 4.151 |
| 80 | 4.816 | 5.599 / 5.386 | 9.396 | 4.979 |
| 100 | 5.385 | 6.162 / 5.965 | 11.031 | 5.354 |
| 120 | 5.896 | 6.738 / 6.541 | 12.532 | 6.058 |
| 140 | 6.365 | 7.264 / 7.072 | 13.945 | 6.471 |
| 160 | 6.799 | 7.848 / 7.662 | 15.324 | 7.243 |
| 180 | 7.207 | 8.208 / 8.024 | 16.622 | 7.286 |
| 200 | 7.590 | 8.749 / 8.553 | 17.859 | 8.114 |
| 220 | 7.954 | 9.045 / 8.870 | 19.008 | 8.337 |
| 240 | 8.300 | 9.852 / 9.683 | 21.735 | 8.762 |

참고로 공이치기에 의해 공이가 타격되고 나서 공이 전진함에 따라 공이 스프링이 압축되므로, 공이치기에 의해 공이에 전달되는 운동에너지 중 일부가 공이 스프링을 압축시키는데 사용 된다. 이에 필요한 에너지를 제외한 나머지 에너지가 뇌관 격발에 사용되며, 결과적으로 공이 전진 속도는 공이치기와 충돌

시에 비해 탄피 바닥과 충돌 시 더 작아지게 된다. 또한 격발 준비 상태에서 단발자가 3.5도 이상 회전 시, 후방 공이치기 링크가 단발자에 의한 구속에서 벗어나 공이치기에 의한 공이 타격이 이루어짐을 확인하였다.

4. 모의 실험 2 : 낙하 충격에 대한 안전 설계

화기에 적용되는 격발장치는 운용자가 방아쇠를 당겨 격발하는 정상적인 경우를 제외하고는 안전을 고려하여 어떠한 충격에 의해서도 격발되어서는 안된다. 따라서 모의 실험 2에서는 운용자가 실수로 화기를 지면에 떨어뜨려 낙하 충격이 가해졌을 경우에 대해 본 논문에서 제안된 링크식 격발장치의 1차 설계안에 대한 안전 여부를 검토하였다.

사용된 낙하 충격 해석조건은 다음과 같다.

- 지상 1.5m 높이^[2]에서 수직으로 자유 낙하
- 높이 기준 : 윗총몸 무게 중심
- 충격 방향 : 상향

1차 설계안을 이용하여 낙하 충격 해석을 수행한 결과, Fig. 5와 같이 단발자가 3.5도 이상 회전하여 후방 공이치기 링크로부터 단발자가 이탈되었다. 이는 Fig. 6과 같이 낙하 충격에 의한 관성으로 인해 공이치기가 하강하게 되고, 공이치기에 연결된 후방 공이치기 링크가 시계 방향으로 회전하면서 후방 공이치기 링크 하부면이 반시계 방향으로 단발자를 눌러 3.5도 이상 회전시킨 것이 단발자 이탈의 원인임을 알 수 있었다.

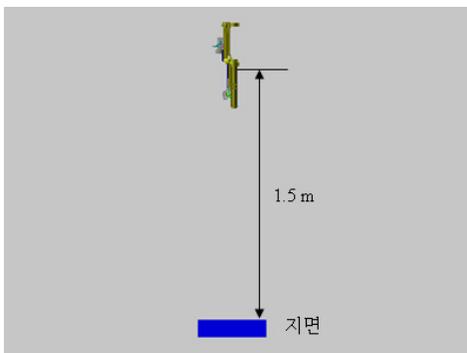


Fig. 4. 낙하 충격 해석모델

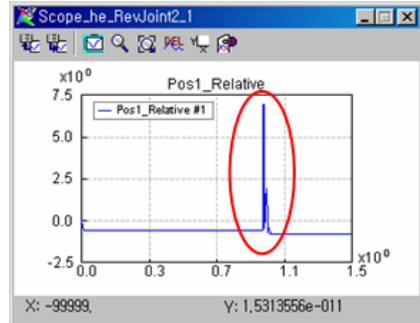


Fig. 5. 단발자의 회전 각도

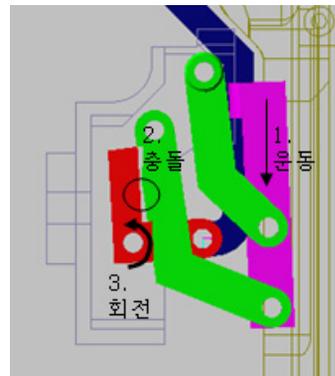


Fig. 6. 낙하 충격에 의한 격발 원인

1차 설계안의 문제점을 해결하기 위해 비틀림 스프링의 preload를 기존 값에서 약 2.5배 증대시킨 경우에 대해 낙하 충격 해석을 수행한 결과는 Fig. 7과 같으며, 전방 공이치기 링크에 연결된 비틀림 스프링에 작용하는 비틀림 모멘트를 증가시킬 경우, 지면 충돌 시 관성에 의한 공이치기 하강으로 인해 유발되는 후방 공이치기 링크의 시계방향 회전량이 감소하게 되고 그로 인해 단발자를 덜 눌러주게 되어 단발자의 회전량이 제한됨으로써 격발이 일어나지 않게 된다.

그러나, 비틀림 스프링의 preload를 증대시키는 것은 실제 적용에 한계가 있으므로 2차 설계안에서는 Fig. 8과 같이 단발자와 후방 공이치기 링크 간의 접촉 면적을 1차 설계안에 비해 적게 하여 충돌 시 단발자의 이탈 가능성을 작게 하였다. 2차 설계안에 대한 낙하 충격 해석 결과, Fig. 9 및 10과 같이 접촉부 형상변경 효과로 인해 충돌 시 단발자의 회전 각도가 3.5도 이하가 되어 단발자가 이탈되지 않음을 알 수 있었다.

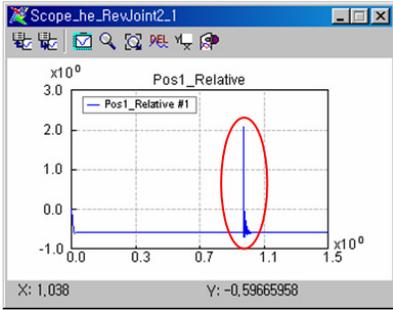


Fig. 7. 비틀림 스프링 preload 증대 시의 단발자 회전 각도

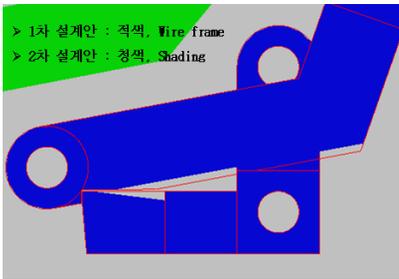


Fig. 8. 격발장치 설계 변경

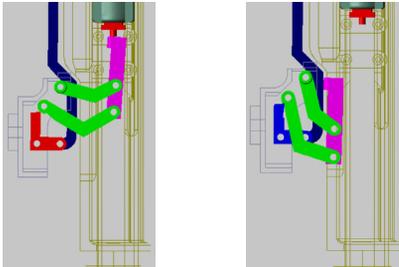


Fig. 9. 격발장치 설계 변경 전(좌측)/후(우측) 지면 충돌 이후 상태 비교

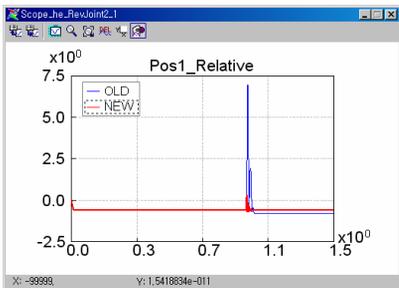


Fig. 10. 격발장치 설계 변경 전(old)/후(new)의 단발자 회전 각도

5. 모의 실험 3 : 낙하 충격에 대한 안전 설계(격발기구 형상 변경 고려)

링크식 격발장치의 2차 설계안을 이용하여 실제 시제품을 제작/운용한 결과, 운용자가 방아쇠를 당겨 격발하기 위해 필요한 단발자 작동 토크가 과도하게 요구되어 Fig. 11과 같이 단발자와 후방 공이치기 링크 간의 접촉부 형상을 변경하였다.(3차 설계안) 모의 실험 3에서는 이러한 접촉부 형상 변경에 따른 단발자 작동 토크 및 낙하 충격에 대한 안전 여부를 검토하는 것을 목적으로 하였다.

참고로 단발자와 후방 공이치기 링크의 접촉점이 2차 설계안의 경우 단발자 회전 중심점 위쪽에 위치한다 반면, 3차 설계안의 경우는 아래쪽에 위치하고 있다.

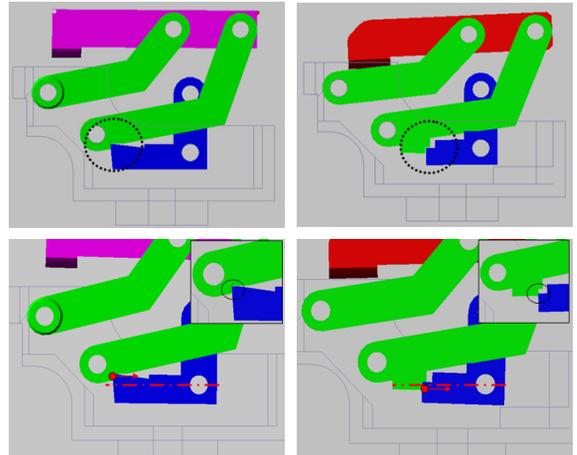


Fig. 11. 접촉부 형상 변경
좌(2차 설계안) / 우(3차 설계안)

단발자 작동 토크는 단발자와 후방 공이치기 링크 간의 접촉부 위치에 따라 달라질 수 있으므로 접촉부 위치를 상/하로 변경하여 그에 따른 단발자 작동 토크 변화를 파악해보았다. 2차 설계안을 포함하여 총 5가지 경우(Fig. 12 참조)에 대한 case study를 수행한 결과는 Table 2 및 Fig. 13과 같다. 검토 결과, 접촉부 위치가 단발자 회전 중심점 위쪽에 있을 경우 낙하 충격에 대해서는 안정적이나 사용자 편의성에 영향을 주는 단발자 작동 토크는 커지게 된다. 반대인 경우에는 작동 토크는 작아지나 낙하 충격 및 기타 외력에 의해 단발자가 이탈할 가능성이 커지게 됨을 알 수 있다.

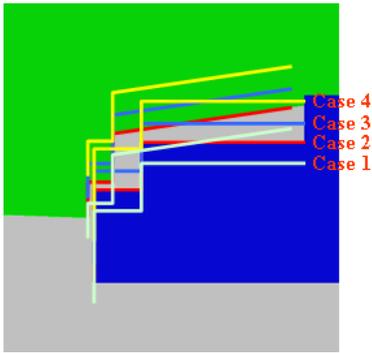


Fig. 12. 접촉부 위치 변경

Table 2. 접촉부 위치에 따른 단발자 최대 작동 토크

| Case 번호 | 설명 | 최대 작동 토크 (N · mm) |
|---------|--------------------|-------------------|
| 1 | 3차 설계안 대비 0.5mm 하향 | - 71 (저질로 풀림) |
| 2 | 3차 설계안 | 30 |
| 3 | 3차 설계안 대비 0.5mm 상향 | 147 |
| 4 | 3차 설계안 대비 1.0mm 상향 | 284 |
| 5 | 2차 설계안 | 843 |

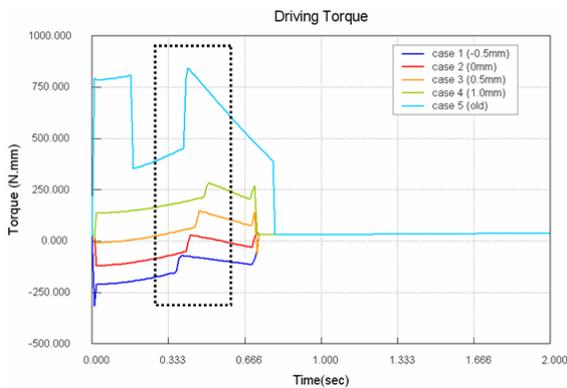


Fig. 13. 접촉부 위치 변경에 따른 단발자 작동 토크

다음으로는 모의 실험 2의 해석 조건을 이용하여 case 1~4의 각 경우에 대해 낙하 충격에 대한 안전 여부를 검토하였다. 낙하 충격 해석 결과, case 1은 낙하 이전에 이미 단발자가 저질로 이탈이 되며, case 2,

3, 4는 지면과 충돌 후에 단발자가 이탈되었다. 추가로 접촉부 위치를 3차 설계안 대비 1.5mm 상향시킨 경우(case 5)에 대해 낙하 충격 해석을 실시한 결과, 지면 충돌 후에 단발자가 이탈되지 않았다. 따라서 관련 스프링의 수정이 없는 경우에는 3차 설계안 대비 접촉부 위치를 1.5mm 상향시켜야 낙하 충격에 안전하게 됨을 알 수 있다.

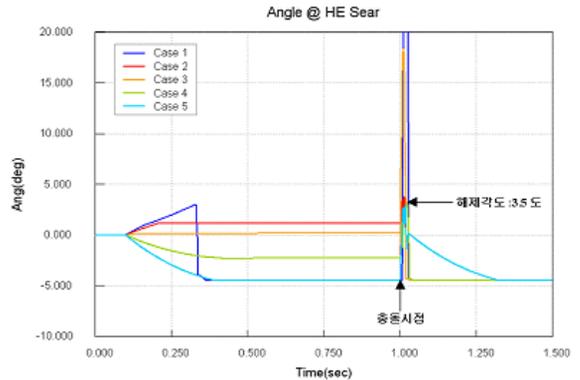


Fig. 14. 접촉부 위치 변경에 따른 낙하 충격 후 단발자 회전 각도

6. 링크식 격발장치 적용 시험

이상의 모의 실험을 통해 파악된 해석 결과를 바탕으로 하여 링크식 격발장치를 Fig. 15와 같이 제작하였으며, 신규 개발된 이중충열 복합발사 방식의 화기에 적용하였다. 참고로 대상 화기는 중량 및 전장이 중요 설계 고려 대상이었으며 이를 위해 제안된 링크식 격발장치를 적용하게 되었다. 링크식 격발장치의 성능 및 신뢰성을 확인하기 위해 일정 수 이상의 탄환에 대한 내구도 시험을 수행하였으며, 내구도 시험 과정 중 링크식 격발장치의 기능 이상 및 격발 불량 현상은 발생하지 않았다. 또한 실제 화기 낙하 시의 격발 방지 여부를 확인하기 위해 링크식 격발장치를 격발 준비 상태에 두고 Fig. 16과 같이 지상 약 1m 높이에서 흙바닥 및 콘크리트바닥에 화기를 낙하시켰다. 그 결과, 낙하에 의한 충격으로 인해 격발이 발생하지 않음을 확인하였다. 참고로 전자광학장치로 구성된 사격통제장치가 대상 화기에 장착된 점을 고려하여, 운용시험평가 시 사용군과의 합의 하에 낙하 높이를 1m로 정하였다.



Fig. 15. 제작된 링크식 격발장치



(a) 흙바닥



(b) 콘크리트바닥

Fig. 16. 화기 낙하 시험

7. 결론

본 논문에서는 전, 후방 공이치기 링크의 회전운동을 조합하여 공이치기를 수평으로 작동시켜 공이가 먼 곳에 위치한 경우에도 타격할 수 있는 링크식 격발장치를 제안하였다. 이를 통해 종래의 격발장치에 비해 작은 공간 내에서도 공이치기의 작동이 가능하므로 화기의 부피 및 무게를 줄여 소형화된 화기를 설계할 수 있게 하였다.

제안된 링크식 격발장치의 설계 요구조건을 만족시키기 위해 다물체 동역학 해석 프로그램을 사용하였고, 이를 통해 주요 설계 고려 사항을 도출하였다.

해석 결과를 바탕으로 링크식 격발장치를 상세 설계/제작하여 신규 개발된 이중총열 복합발사방식의 개인 화기에 적용하였으며, 내구도 시험 및 낙하 시험을 통해 그 성능 및 신뢰성을 검증하였다.

본 논문에서 제안된 링크식 격발장치는 화기의 길이 및 높이 축소 등 경량화된 개인 화기 및 공용화기 설계 시 적용이 가능할 것이다.

Reference

- [1] Program Manual, Recurdyn Ver. 7, Function Bay, Inc., 2008.
- [2] ITOP 4-2-602, "Rough Handling Tests", AD-B220218, U.S. Army Aberdeen Test Center, 1996.