

# 회전의 항공기 조종용 누름식 스위치의 내구성 개선연구

구정모<sup>\*,1)</sup> · 손원애<sup>1)</sup> · 서정미<sup>1)</sup> · 심대호<sup>2)</sup> · 남기봉<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방기술품질원 항공센터

<sup>2)</sup> 성진테크윈 품질경영팀

## A Study on the Improvement of Durability of Push Switches for Rotorcraft Control

Jeongmo Koo<sup>\*,1)</sup> · Wonae Son<sup>1)</sup> · Jeongmi Seo<sup>1)</sup> · Daeho Shim<sup>2)</sup> · Kibong Nam<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Defense Agency for Technology and Quality, Korea

<sup>2)</sup> SungJin Techwin, Korea

(Received 14 August 2023 / Revised 27 November 2023 / Accepted 1 February 2024)

### Abstract

In this study, we propose a method to improve the durability of rotorcraft switches. Additionally, the appropriate verification test results are presented. As a result of analyzing the defective switch, it was found that the contact was defective due to long-term use. It was confirmed that stable contact of the terminal is necessary to achieve appropriate performance. We manufactured a switch with one spring and a switch with two springs. As a result of the verification test using this, it was found that the durability of the improved shape was improved by 15 % compared to the existing shape. Those numbers have merit from an operational perspective. This has the effect of reducing the number of replacements per aircraft.

Key Words : Durability(내구성), Push Switch(누름식 스위치), Rotorcraft(회전의 항공기)

### 1. 서론

회전의 항공기 조종을 위해서는 조종장치로부터 입력받은 조종력을 블레이드에 전달하여, 항공기의 자세, 방향, 상승 및 하강 성능을 충족하여야 한다. 조종 방향 제어를 위한 주요 구성품은 3가지로 구분된다.

해당 구성품의 형상과 위치는 Fig. 1과 같다. 첫 번째로 사이클릭 스틱은 항공기의 종축 및 횡축 운동을 제어한다. 두 번째 컬렉티브 스틱은 항공기 상·하 운동을 제어한다. 마지막으로 페달은 요 방향 운동을 제어한다. 각 조종 명령이 입력되면, 이때 발생된 로터 회전면의 경사 변화로 추력의 방향을 제어하며 항공기는 전/후진, 좌/우 비행을 할 수 있다.

조종 손잡이는 비행 운동 방향을 제어하는 역할과 더불어, 장착된 기능 스위치로 조종과 관련된 입력 신호

\* Corresponding author, E-mail: jeongmokoo@dtqa.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

호를 임무장비에 전달하는 역할을 한다. 사이클릭 스틱과 컬렉티브 스틱은 각각 10개의 스위치를 통하여 자동비행 조종모드 제어, 내부통화 제어, 조종사 화면 제어 등 다양한 역할을 수행하며 스위치는 Fig. 2와 같이 여러 형상을 가지고 있다.

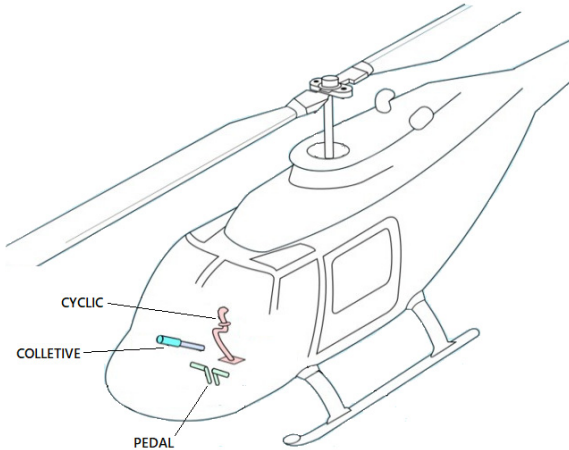


Fig. 1. Main components of the control system



Fig. 2. Various aircraft control switch

스위치는 내구성 요구도를 가지고 개발되었지만, 스위치별 기능 차이로 인해 사용 빈도수의 차이가 발생한다. 특히 조종 방향과 직접적으로 연관이 있는 누름식 스위치(CY1, CYCLIC 1 사이클릭 스틱의 1번 스위치)의 경우 비행 1시간당 평균 사용횟수가 스위치 중

많은 축에 속하고, 내구성 한계에 도달하는 기간이 짧은 것으로 파악되었다.

이는 항공기 운용 관점에서 개선이 필요한 부분으로 식별되었다. 본 연구는 스위치 내부 구조 개선을 통한 스위치 내구성 수명을 증가시켜, 항공기 운용유지단계 품질을 개선하고자 한다.

## 2. 현실태 및 원인분석

현재 제기된 문제점은 종축 및 횡축 운동 제어를 위한 사이클릭 스틱의 누름식 스위치(CY1) 내구성 수명이다. 해당 스위치의 지속적인 사용으로 내구성 수명 한계에 도달하는 기간이 짧아 운용 부대의 스위치 교환이 잦아지고, 이에 따라 항공기 가동률에 영향을 미치게 된다. 따라서 해당 현상을 제기한 소요군의 스위치 사용빈도와 사용횟수 누적에 따른 스위치 고장현상에 대해 분석하였다.

### 2.1 현실태 조사 분석

해당 회전의 항공기는 2006년 개발 착수를 시작으로 2023년 현재 4차양산이 진행 중이며, 운용 중인 항공기는 000대에 달한다. 납품 완료된 부대는 00곳이다. 항공기 사업의 경우 보증기간을 통상적으로 2년 또는 3년으로 설정한다. 해당 기간 이내에 항공기(구성품, 부품 포함) 고장이 발생할 경우 소요군은 품질보증기관을 통하여 수리를 요청한다. 이 수리 이력을 활용하여, 해당 누름식 스위치의 결함빈도와 발생부대를 파악할 수 있다<sup>[1]</sup>.

스위치 고장을 제기하는 부대는 지엽적으로 분포되어 있었다. 특정 몇몇 부대에서 동일한 결함이 지속적으로 제기되고 있었다. 스위치 사용 빈도는 임무의 종류, 조종사의 조종 성향, 군부대의 위치에 따른 항공기 이동 경로 등 다양한 요소가 복합적으로 영향을 미친다. 따라서 특정 요소들이 동시에 적용되는 부대에 해당 문제가 발생하는 상황이다. Table 1의 경우 부대 조종사 인터뷰를 통해 한달 동안 사용하는 CY1 스위치 사용횟수를 조사한 결과이다. 조종사별 편차가 있지만, 사용횟수가 많은 조종사의 경우 한 달에 약 5,000번을 사용한다. 내구성 수명을 100,000으로 가정하면, 20개월에 한 번씩 스위치를 교체할 가능성이 있다. 이는 항공기 수명을 30년으로 가정하면, 항공기 운용 중 한 대에 18개의 스위치가 필요하다.

Table 1. Survey on number of CY1 switch uses

구분	한 달 비행 횟수	1회 비행시간	시간당 스위치 사용횟수	한 달 스위치 사용횟수
A부대	10~15	1.5~2.5	50~150	750~5625
B부대	12	2.5	50~150	1500~4500

항공기에서 사용 중인 스위치는 개발 당시 CYCLE 단위의 요구도를 가지고 검증을 하였다. 하지만 현재 항공기 운용 중에 스위치 CYCLE 기록은 불가능하며, 스위치 고장 시 수리 또는 교체를 할 수 밖에 없는 실정이다.

2.2 스위치 동작 및 결함 원인

누름식 스위치(CY1)의 내부 형상은 Fig. 3과 같다. 버튼(붉은 구조물)을 누를 경우, 구조물 샤프트(푸른 구조물)가 움직이게 되고 연결 된 터미널의 접점으로 회로가 도통 된다. 이 움직임에서 하부 스프링은 터미널의 고정을 도와주는 역할을 한다. 누름 시 이격이 발생하지 않도록 하여 스위치의 안정적인 접촉을 유지하게 한다. 접촉 위치는 Fig. 3의 하늘색 박스이다.

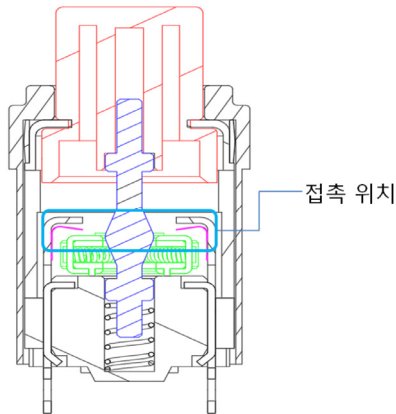


Fig. 3. CY1 internal shape

해당 스위치에서 중요한 성능은 전기적 요구도이다. 아래 그림과 같이 스위치 최종 납품 시 점검하는 항목은 Table 2와 같이 접촉저항, 내전압, 절연저항이다. 스위치가 접촉이 제대로 되지 않는다면 해당 성능을 낼 수 없고, 즉시 수리 또는 교체가 필요하다.

Table 2. Electrical performance test types

구분	접촉저항	내전압	절연저항
기준	00 mΩ Max	AC 00 V 이상	00 MΩ 이상 @ 50V DC
시험 장비			

Fig. 4는 결함 발생 스위치이다. 해당 스위치를 분석한 결과, 외부의 손상은 발견되지 않았다. 하지만 전기적 성능 중 접촉저항값이 기준을 초과한 상태로, 스위치의 기능을 상실한 상태였다. 측정값은 표3에서 확인가능하며, 정상 상태 대비 10배 이상 높았다.



Fig. 4. Defective switch

스위치는 내구성 수명을 가지고 있어, 일정 횟수 이상 사용 시 접촉부의 마모가 발생한다. 스위치의 반복되는 상하 동작 이후 접촉 상태를 유지할 수 없게 되어 그에 따라 적정한 전류가 흐르지 않는다면, 항공기는 해당 스위치를 결함으로 인식하여 조종사 화면상에 결함코드를 띄우게 된다. 항공기 불가동 시간 등을 고려한다면, 가능한 한 빨리 스위치를 분해 수리 또는 신품으로 교체하는 조치를 해야한다.

Table 3. Resistance measurement value

구분	납품시점	고장시점	기준
좌 스위치	24 mΩ	289 mΩ	00 mΩ 이하
우 스위치	21 mΩ	350 mΩ	

### 3. 개선방안 및 검증시험

원인분석을 통해 확인된 문제점은 스위치 접촉 상태에 따른 전기적 성능이다. 스위치의 일정 기간 사용 후 내구성 한계에 도달하게 되어, 누름 이격이 발생한다면 안정적인 접촉 상태를 유지할 수 없게 된다. 따라서, 스위치의 안정적인 접촉상태를 유지하기 위하여, 내부에 스프링 구조물을 추가하는 방안을 연구하였다. 기존 하나의 스프링을 통한 스위치 접촉 유지에서, 스프링을 추가하여 내구성 수명을 향상시키는 개선방안을 채택하였다.

#### 3.1 개선방안 도출

스위치 접촉 상태 개선에 대한 적절한 방안을 도출하기 위하여 두 가지 관점으로 검토하였다. 첫째는 내구성 범위의 적절성을 확인하기 위하여 해외 스위치와 비교 분석하였다. 해외 A업체에서 군수용으로 납품하는 스위치 중 형상이 유사한 누름 형태의 스위치를 확인하였다. 해당 스위치는 제조사에서 기재한 SPEC 항목 중 ELECTRICAL LIFE가 25,000 CYCLE임을 확인하였다. 현재 국내에서 사용하는 CY1 스위치의 요구도는 00,000 CYCLE이며, 해외 스위치 대비 동등 이상임을 확인할 수 있었다. 추가적으로 해외 업체에 기술문의를 한 결과, 고장 발생 비율은 제공할 수 없지만, 스위치 고장이 생길 경우 즉시 신품 교체하는 형태로 후속 지원하고 있음을 확인하였다.

둘째는 스위치의 형상적인 관점을 검토하였다. Fig. 2와 같이 군용항공기에 사용되는 스위치의 형태는 다양하다. 누름식이 아닌 트리거식 또는 4-way 형태의 스위치 형상변경을 검토하였으나, 해당 스위치가 수행하는 임무에 적절하지 않음을 확인하였다. 해당 스위치의 임무는 누름 상태를 유지/해제하여 조종사의 트립 조종력을 제어하는 역할을 하며, 개발당시 상/하 형태의 누름식 스위치 형상이 채택되었다. 또한 해당 임무에 필요한 스위치 동작력 및 동작거리가 규제되어 있어, 해당 수치를 벗어나지 않는 범위 내에서 형상변경이 필요하다. 더불어 컬렉티브/사이클릭 조종간의 경우, 평균 조종사 손 크기에 따른 한손 파지 임무 수행이 필요하다. 앞서 설명한 영향성을 고려하여 스위치 외부는 동일한 형상을 가지며, 내부 형상변경을 통한 설계 개선이 필요하다.

Fig. 4와 같이 스위치 내부에는 버튼, 케이스, 샤프트, 터미널, 스프링 등의 부품이 포함되어 있다. 이 중

스프링은 누름 동작 시 반력을 통해, 터미널의 접촉을 도와주는 역할을 하는 주요한 부품이다. 기존 스위치는 Fig. 5의 좌측과 같이 샤프트 하부에 하나의 스프링이 조립되는 형태로, Fig. 5의 우측과 같이 파랗게 표시된 부분에 스프링을 추가하여 스프링 반력 증가를 통한 접촉 상태 유지 개선으로 내구성을 향상시킨다.

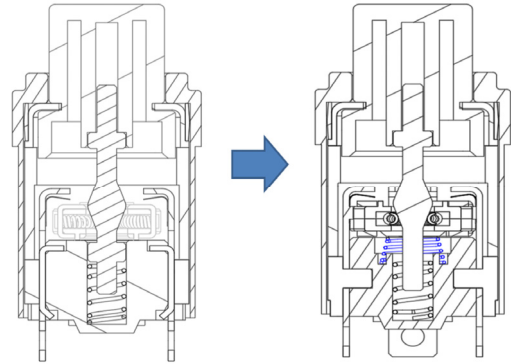


Fig. 5. CY1(before and after)

현재 사용 중인 스위치의 내구성 품질 수준과 형상적인 관점을 검토한 결과, 기존 스위치의 내구성은 타 스위치 대비 충분한 CYCLE을 가지고 있다. 또한 스위치의 동작력, 동작거리, 임무 수행 영향성 등을 고려하여, 외부 형상을 동일하게 유지하며 내부 형상 변경을 통한 개선방안을 선정한다. 개선방안은 스위치 내부의 스프링 추가(1개 → 2개)를 통하여, 내구성을 기존 대비 10 % 이상 향상시키는 것을 목표로 한다. 해당 형상 변경의 타당성을 확인하기 위해, 스위치 내구성 시험 절차를 수립하고 시제품을 제작 후 검증 시험을 진행하였다.

#### 3.2 시험 절차 및 결과

내구성 검증시험은 개발 인증시험과 MIL-PRF-8805 성능 사양을 테일러링하여 시험 절차를 수립한다<sup>2,3</sup>. 내구성 시험은 시험실에서 내구성 시험장비와 전용치구를 활용하여 시험한다. 개선 전 형상(스프링 1개), 개선 후 형상(스프링 2개) 스위치를 각각 3개 제작하여 내구성 시험을 실시한다. 내구성 시험 전/후에 육안검사 및 성능 시험을 실시하여 정상품 여부를 확인하며, 시험 항목은 Table 2와 같다. 시험장비 개략도는 Fig. 6과 같으며, Fig. 7은 내구성 시험장비 실제 사진을 나타낸다.

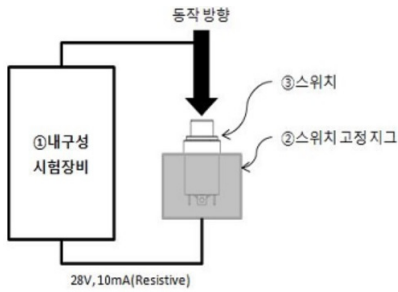


Fig. 6. Diagram of Durability test



Fig. 7. Durability test equipment

내구성 시험 절차 세부사항은 다음과 같다. ① 누름식 스위치를 시험하기 위해 치구에 고정하여, 시험장비를 켜는다. ② 누름식 스위치의 동작속도(분당 12 CYCLE)와 전압(28 VDC / 10 mA)을 설정한다. ③ 스위치 동작방향(상/하), 동작력(2.0 lbs), 동작거리(2.5 mm)를 세팅한다. ④ 시험 횟수를 설정하여 내구성시험을 실시한다. ⑤ 시험 종료 내구성(CYCLE)을 확인한다. ⑥ 스위치 접촉저항값을 측정하여 고장여부(52 mΩ 이상)를 확인한다.

내구성 시험장비 구동 조건은 다음과 같다. 장비 구동 후 In 단자 Out 단자에 28 VDC, 10 mA 정상 출력될 경우 1 CYCLE이 측정되고, 다음 스위치 누름을 진행한다. 해당 전류값이 나오지 않을 경우 스위치 고장으로 인식하여 시험은 자동 종료된다. 스위치 동작력, 동작거리, 동작속도, 고장 판단은 MIL-PRF-8805 (3.10, 3.29, 3.34 등)를 기준으로 한다.

개발당시 내구성 시험결과 및 추가 스프링의 크기 등을 고려하여 내구성은 기존의 30 % 이하로 개선될 것을 예상하여, 70,000 CYCLE 도달 시 시험을 종료하는 것으로 설정한다.

내구성 검증시험 결과는 Table 4와 같다. 개선 전 형상 스위치의 경우 평균적으로 56,000 CYCLE 이후 내구성 한계에 도달하였고, 개선 후 스위치의 경우 평균적으로 64,000 CYCLE 이후 내구성 한계에 도달하였다. 70,000 CYCLE 까지 도달하는 스위치는 없었으며, 평균적으로 약 15 %의 내구성 향상을 나타내었다.

Table 4. Test results for each prototype

시제품	제품 형상	내구성 시험 (CYCLES)	평균
#1~#3	기존 형상 (스프링 개선 전)	56,394	56,179
		57,924	
		54,219	
#4~#6	개선 형상 (스프링 개선 후)	64,109	64,386
		63,911	
		65,139	

Test Parts

시험 장소	시험실(220901003)	품명	002-01 KUH(CY01 스위치)
시험 방법	28v,10mA(개선편) / 온도:25°C ± 10°C, 습도:20~80%	시작 날짜	2022-09-21 14:37:58
설정 전압 (V)	28	완료 일정	0

결과 화면

CHANNEL 1		
시험 방법: 28v,10mA(개	시작 날짜: 2022-09-21 14:37:58	
설정 전압(V): 28	완료 일정: 0	
	Interval (ms): 1000 / 4000	
Time (sec)	현재 COUNT	종료 COUNT
2022-09-26 11:51:14	54220	70000
측정 전류 (A)	SWITCH COUNT	ERROR COUNT
0	54219	1

결과 데이터

시작 시간	종료 시간	전체 카운트	스위치 카운트	스위치 에러
2022-09-21 14:37:58	2022-09-26 11:51:14	70000	54219	1

Fig. 8. Prototype(#3) test result report

Fig. 8은 시제품 #3번의 시험결과를 나타낸다. 70,000 CYCLE 세팅으로 시험을 진행하였고, 54,219 CYCLE 시점에서 해당 전류가 흐르지 않아 에러코드와 함께 시험이 자동 종료되었다. 6개의 시제품 모두 개발 당시 내구성 요구도를 만족하였다. 시험 전/후 접촉저항 확인 결과, 내구성 시험 전 정상품의 경우 접촉저항이 요구도를 만족하였으나, 내구성 수명 한계에 도달 이후 접촉저항이 요구도를 벗어난 것을 확인하였다. 기존 형상 스위치의 내구성 CYCLE 범위는 54,219 ~ 57,924 사이로 시제품 간 내구성 차이가 약 3,700 CYCLE이며, 평균값의 6 %에 해당한다. 개선 형상 스위치의 내구성 CYCLE 범위는 63,911 ~ 65,139 사이로 시제품 간 내구성 차이가 약 1,200 CYCLE이며, 평균값의 2 %에 해당한다. 개선 후 형상의 경우 시제품별 내구성 편차가 더 적은 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 개선 효과

형상 변경 전/후 평균적으로 15 % 내구성 향상을 나타낸 것을 고려하면, 하나의 스프링 추가 형상변경 대비 내구성 개선 효과는 뛰어난 것으로 확인된다. 개선효과를 운용·유지 관점으로 분석하면 다음과 같다. 항공기 총 수명주기를 30년으로 가정하고, 스위치 교체주기를 2년으로 추정한다면 항공기당 14회의 해당 스위치 교체가 필요하다. 기존 2년 대비 15 % 향상된 스위치의 경우 평균 28개월의 교체주기를 가진다. 따라서 30년간 약 12회의 교체를 통해 항공기 운용이 가능하다. 이는 소요군에서 스위치 교체 비용뿐 아니라 정비소요시간 감소 및 항공기 가동률 증가 등에 큰 효과를 얻을 수 있다<sup>4)</sup>.

## 4. 결론

본 연구에서는 회전익 항공기 조종용 누름식 스위치의 내구성 개선방안과 검증시험 결과를 제시하였다. 고장 발생 스위치의 형상과 작동원리를 분석하여 고장탐구를 수행하였다. 원인분석을 통하여 적절한 개선 방안을 도출하였으며, 개선 형상을 제시하였다. 개선 전/후 형상에 대한 검증시험을 수행하고, 유의미한 결과를 도출하였다.

원인분석 단계에서 고장 스위치 실태 분석을 수행

하였고, 스위치 요구도와 내부 형상을 검토하였다. 누름식 스위치의 동작원리와 내구성 요구도 등을 분석하여, 전기적 성능을 내기 위해 터미널의 안정적인 접촉이 필요함을 확인하였다. 내부 구조물 중 스프링 반력 향상을 통해 스위치 접촉을 개선할 수 있음을 확인하였다. 하나의 스프링이 포함되는 기존 형상과 두 개의 스프링이 포함되는 개선형상의 시제품을 제작하여 내구성 검증시험을 수행하였다. 검증시험 결과, 기존형상 대비 개선형상의 경우 약 15 %의 내구성이 개선됨을 확인하였다.

본 연구에서, 내부 형상변경을 통한 누름식 스위치의 내구성 개선 효과를 입증하였다. 개선형상을 적용한다면 스위치 교체비용 절감과 더불어 항공기 가동률 증가 등 운용·유지 관점에서 효과가 있을 것으로 기대된다. 또한, 향후 유사 항공기 개발 사업 수행 시, 본 논문의 고장탐구 접근법과 내구성 시험결과가 활용 가능할 것으로 기대된다.

## References

- [1] H. Kim, S. Ryu, "A Study on User Complaints of Force Operation Equipment Support Program," Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies, Vol. 26, No. 1, pp. 63-73, 2019.
- [2] H. Kwon, J. Park, "An Overview of Flight Test Planning and Test Results for the Development of Korean Utility Helicopter," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 16, No. 3, pp. 268-276, 2013.
- [3] MIL-PRF-8805, PERFORMANCE SPECIFICATION SWITCHES AND SWITCH ASSEMBLIES, SENSITIVE, SNAP ACTION(BASIC, LIMIT, PUSH BUTTON AND TOGGLE SWITCHES), GENERAL SPECIFICATION FOR.
- [4] M. Chu, S. Kim, S. Baek, M. Yu, K. Shin, "A Study of the Economical Replace Time Decision Method of Combat Aircraft Major Parts - Based on the Reliability·Cost Analysis Approach -," Journal of the Aviation Management Society of Korea, Vol. 11, No. 6, pp. 65-80, 2013.