

회전의 항공기의 와이퍼 암 형상변경을 통한 비행 안전성 향상

김대한^{*}, 이윤우¹, 안정민², 박재호³
¹국방기술품질원, ²한국항공우주산업(주), ³화인정밀(주)

Improvement of Flight Safety on Configuration Change of Rotorcraft Wiper Arm

Dae-Han Kim^{*}, Yoon-Woo Lee¹, Jeong-Min An², Jae-Ho Park³

¹Defense Agency for Technology and Quality, ²Korea Aerospace Industries, ³Fine Precision

요약 본 논문은 회전의 항공기의 와이퍼 시스템의 설계 개선에 관한 연구이다. 국내 회전의 항공기의 우천환경 운용 시, 와이퍼 닦임 성능 저하 및 떨림 현상이 발생하였다. 와이퍼 시스템은 크게 와이퍼 암 조립체, 전동기, 와이퍼 변환기 조립체, 플렉스 드라이브로 구성되며, 와이퍼 시스템에 문제가 발생하면 우천환경의 작전에 제한사항이 발생하여 작전능력이 감소한다. 이러한 와이퍼 시스템의 문제를 야기한 원인은 크게 2가지로 검토되었으며, 첫번째 사유는 항공기 기동조건에서 와이퍼 암에 작용하는 부상력 때문이며, 두번째는 구성품들의 과도한 유격 때문이다. 이 2가지 문제를 개선하기 위해서 본 연구가 수행되었으며, 4가지의 와이퍼 구성품 중 와이퍼 암을 개선하였다. 개선 내용으로는 와이퍼 암의 누름압(스프링 장력) 증가, 기어 공차 개선, 재질 및 형상 변경이 수행되었다. 개선형상의 검증은 구성품 단위 내구성 시험, 항공기 지상 시험, 비행 시험이 수행되었으며, 설계 개선된 와이퍼 암을 장착하였을 시 닦임 성능 및 유격문제가 해소된 것을 확인 할 수 있었다. 닦임 성능은 육안으로 확인하였으며, 유격문제는 와이퍼 작동거리를 측정하여 확인하였다. 현재 국내 회전의 항공기는 개선 형상을 적용하여 문제없이 운용하고 있으며, 이러한 설계 개선 과정은 향후 회전의 항공기 개발 시 유용한 참고자료가 될 것이다.

Abstract This paper examines the design for improving the wiper system of rotorcraft. During rotorcraft operation, the wiping performance and excessive clearance can decrease. The wiper system consists of a wiper arm assembly, motor, convertor and flex drive. If there is a problem with the wiper system, the operation ability decreases because the operation is restricted in a rainy environment. There are two main causes of the problem of the wiper system: the lifting forces acting on the wiper arm in aircraft flight and the excessive gap of the components. To remedy these two problems, the wiper arm was improved. The improvements included increased contact pressure on the wiper arm (spring tension), improved gear clearance, and material and shape changes. Durability test, aircraft ground test and flight test were carried out to verify the improved shape, and it was confirmed that the wiping performance and clearance problems were solved. Currently, the rotorcraft is operated without problem by applying the improved shape, and this design improvement process will be a useful reference for future rotorcraft development.

Keywords : Flight Safety, Flight Test, Rotorcraft, Wiper Arm, Wiper System

1. 서론

회전의 항공기는 항공기의 운용고도가 낮기 때문에 운용 중 우천 상황을 만나게 되며, 그에 따라 와이퍼 시스템을 장착하여 우천 상황에도 원활한 비행이 가능하게

한다.

와이퍼 시스템은 항공기가 우천 환경에서 안전한 비행을 위해서는 필수적인 구성품이다. 구체적으로 살펴보면, 크게 와이퍼 암 조립체, 전동기, 와이퍼 변환기 조립체(컨버터), 플렉스 드라이브로 구성된다(Fig. 1). 암 조

^{*}Corresponding Author : Dae-Han Kim(DTAQ)

Tel: +82-55-751-5872 email: dhkim23@dtaq.re.kr

Received March 3, 2017

Revised (1st April 5, 2017, 2nd April 12, 2017)

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

립체는 와이퍼 변환기 조립체에 장착되어 윈드실드를 닦아 시야를 확보할 수 있게 해주는 역할을 하며, 전동기는 기계적 힘을 발생시켜 와이퍼 변환기 조립체를 작동 시킨다. 와이퍼 변환기 조립체는 전동기로부터 오는 회전 운동을 플렉스 드라이브를 통해 전달 받아 왕복으로 변환하는 역할을 한다[1-3].

대부분의 국내 회전익 항공기의 와이퍼 시스템은 해외제품을 사용한다. 하지만 본 논문의 회전익 항공기는 국내 최초로 국산화를 수행하였고, 국내 기술로 회전익 항공기용 와이퍼 시스템을 개발하여 적용하는데 성공하였다.

하지만 실제 비행시험 과정에서 몇 가지 문제가 발생하였다. 첫 번째로는 항공기의 표면 윈드실드에 빗물이 완벽하게 제거되지 않고 일부 남아 있는 현상이 있었으며, 두 번째로는 와이퍼 정지시, 와이퍼의 파킹 위치가 불일치되는 현상, 마지막으로 고속 운용 시 와이퍼 떨림 현상이 발생하였다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 기존 형상의 와이퍼 암에 형상 변경, 재질 변경, 누름압 증가, 기어 공차개선 등의 설계변경을 수행하였으며, 구조해석, 내구성 시험, 항공기 지상 시험, 비행 시험을 통해 개선형상에 대해 검증을 수행 하였고 그 내용을 기술하였다.

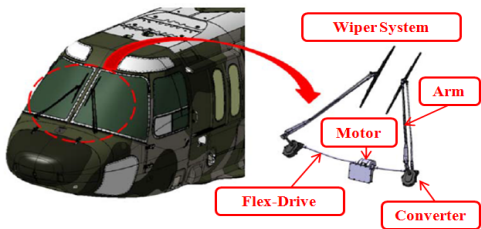


Fig. 1. Wiper system of rotorcraft

2. 결함원인 및 개선방안

2.1 결함원인

와이퍼 시스템에 발생한 문제점의 원인은 크게 2가지로 식별되었다. 첫 번째는 항공기의 고속운용에 따른 부상력(Lifting force)이며, 두 번째는 와이퍼 암의 과도한 유격이다. 항공기가 고속으로 운용되면 윈드실드 표면에 부상력이 작용하게 되고, 와이퍼 암에 들뜸현상이 발생하여 닦임 성능이 저하된다. 또한 유격이 과다 할 경우는

와이퍼가 센터 프레임을 기준으로 바깥(Outboard)방향으로 이동하는 범위가 늘어나 곡면부가 잘 닦이지 않는 현상과 고속운용에서 떨림이나 파킹 위치가 불일치되는 경우가 발생한다(Fig. 2).

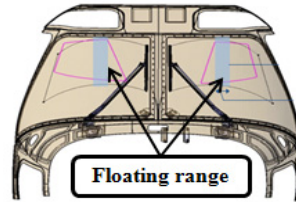


Fig. 2. Lifting force of wind-shield

2.2 개선방안

2.2.1 와이퍼 암 누름압 증가

닦임 성능 저하의 원인인 부상력을 상쇄시키기 위해서는 더 높은 압력으로 와이퍼 암이 윈드실드를 눌러야 한다. 누름압은 Fig. 3과 같이 와이퍼 암의 스프링 장력을 지칭하며, 기존 0.9 kgf에서 1.35 kgf 로 증가시켜 고속 운용 시 발생하는 부상력을 상쇄하였다.

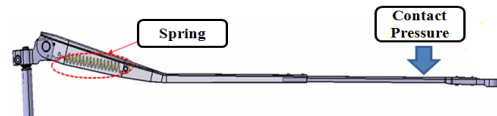


Fig. 3. Contact pressure of wiper arm

2.2.2 스플라인 기어 공차 개선

와이퍼의 떨림 현상 및 파킹 불일치 원인으로 식별된 유격문제를 해결하기 위해서, 스플라인 기어의 이뿌리 폭 공차개선을 수행하였다(Fig. 4). 스플라인 기어는 와

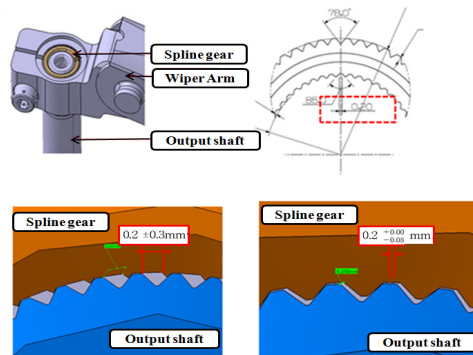


Fig. 4. Improvement of Spline gear tolerance

이퍼 암 허브와 출력축 사이에 존재하는 기어이며, 0.2 ±0.3mm에서 0.2 ^{+0.00}/_{-0.08} mm로 축소하여 유격문제를 개선하였다.

2.2.3 와이퍼 암 형상 변경

개선 전 형상은 운용 중 발생하는 최대 하중조건에서 연장대 부위에 212 MPa의 최대 응력이 발생하는 것으로 해석(Fig. 5)되었으며, 실제 개선 전 형상은 내구성 시험 중에 연장대 부위에서 파단이 발생하였다(Fig. 6).

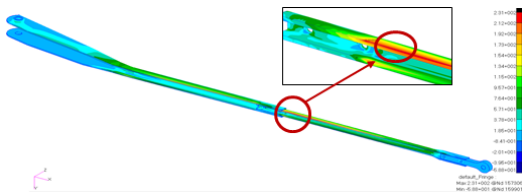


Fig. 5. FE model of wiper arm(before)



Fig. 6. Fracture of wiper arm

이러한 문제를 해결하기 위해서 몸체와 연장대 사이에 연결대(Connector)를 넣는 구조로 새롭게 설계를 하였고, 추가적으로 몸체의 플랜지 높이를 2.0mm 증가시켜 내구성을 향상시켰다(Fig. 7, 8).

	Before	After
Connector		
Body(Flange)		

Fig. 7. Configuration change of wiper arm

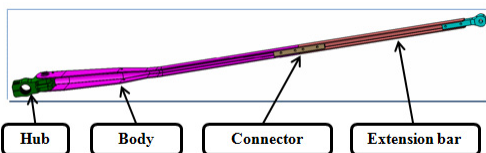


Fig. 8. Improved wiper arm

2.2.4 와이퍼 암 재질 변경

와이퍼 암의 누름압 증가로 인해 암에 가해지는 응력이 커져 암 구성품(허브, 몸체, 연결대, 연장대)의 소재를 기존보다 강도가 높고 부식 특성이 뛰어난 재질로 변경하였다(Table. 1, 연결대는 신규 추가됨).

Table 1. Material spec

Component		Before	After
Hub	Material	A	C
	U.T.S(Mpa)	>980	>1105
Body	Material	B	D
	U.T.S(Mpa)	>590	>655
Connector	Material	-	C
	U.T.S(Mpa)	-	>1105
Extension bar	Material	B	D
	U.T.S(Mpa)	>590	>655

3. 개선 형상의 검증

3.1 개선형상의 구조해석[2]

개선 형상 와이퍼 암을 NASTRAN 프로그램을 사용하여 유한요소 해석을 수행하였다. 피로수명 예측을 위해 실제 운용 중 발생하는 최대하중을 부과하였으며, 해석에 사용된 하중조건 및 경계조건은 Fig. 9과 같다.

설계 개선된 와이퍼 암의 해석결과, Fig. 10, 11과 같이 몸체 부분에서는 최대 139MPa의 응력이 작용하였고, 연결대에는 최대 129MPa의 응력이 작용하는 것으로 평가되었다. 이러한 응력값을 기준으로 피로수명을 평가한 결과 2.0*10⁷ Cycles로 피로 요구 수명을 만족하는 것으로 평가되었다. 구체적인 구조해석 내용은 참고문헌[2]를 참조하였다.

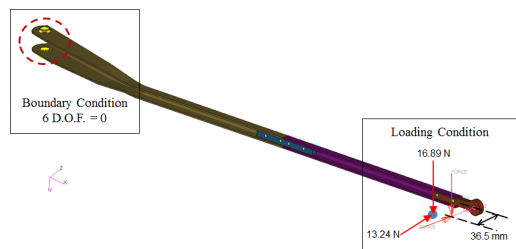


Fig. 9. Boundary and loading condition

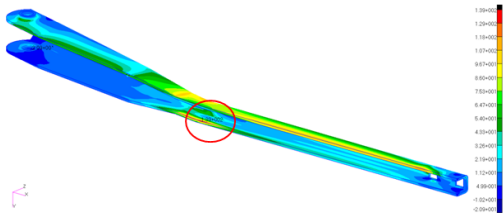


Fig. 10. FE Model of wiper arm body

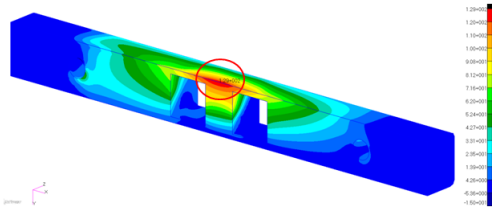


Fig. 11. FE Model of wiper arm connector

3.2 내구성 시험

와이퍼 암 스프라인 기어의 공차 개선효과와 재질 및 형상변경에 따른 영향성을 확인하기 위해 와이퍼를 리그에 장착 후 500시간(저속 250시간, 고속 250시간) 연속 작동 후 결과를 확인 하였다(Fig. 12).



Fig. 12. Durability test rig

시험방법은 센터 프레임에 기준으로 바깥(Outboard) 방향으로 $40\pm 5\text{mm}$ 범위 내에 와이퍼를 위치시키고 지속적으로 분무기를 통해 물을 분사하면서, 표면의 잔여 물방울 존재 여부 육안확인(닦임성능) 및 최대 행정 거리를 측정하여 유격량을 측정한다. 이러한 방법으로 개선 전 와이퍼와 개선 후 와이퍼 시편 5개를 이용하여 측정하였다.

시험결과는 Table. 2와 같이 개선 전 작동범위는 최대 650mm 정도였고, 개선 후는 614-617mm 정도로 작동 범위가 줄어든 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 13). 기존 형

상의 와이퍼는 센터 프레임에서 바깥(Outboard) 방향으로 많이 이동하여, 윈드실드 곡면부의 와이퍼 닦임 현상 저하, 들뜸 현상 등이 발생하였다. 하지만 내구성 시험 결과, 누름압 증가 및 스프라인 기어 공차 개선만으로도 작동범위가 줄어 유격이 개선되었다. 또한 닦임 성능도 500시간 확인 결과 초기와 차이가 없음을 확인 하였다.

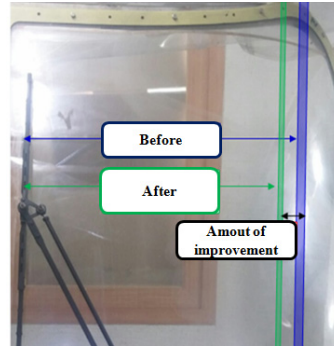


Fig. 13. Working range of before and after

Table 2. Result of durability test

	Working range(mm)	Amount of improvement(mm)
Before	650	-
Specimen1	615	35
Specimen2	616	34
Specimen3	614	36
Specimen4	617	33
Specimen5	614	36

3.3 항공기 지상 시험

개선된 와이퍼 암의 항공기 체계 장착 성능을 확인하기 위해 개선 전 제품이 장착된 항공기와 개선된 제품이 장착된 항공기의 와이퍼 작동 거리 및 닦임 성능을 비교하였다.

시험방법은 Fig. 14와 같이 측정 위치 1, 2를 설정 후 바깥쪽(Outboard) 윈드실드 프레임을 기준으로 작동범



Fig. 14. Control Point 1, 2

위를 측정하여 비교하였다. 윈드실드는 양쪽에 있으므로 좌(LH), 우(RH)의 작동범위를 측정하였다.

Table 3. Result of Ground test

No.	CP1	CP2	CP1	CP2
	RH(mm)		LH(mm)	
before 1	165	263	185	260
before 2	180	255	177	265
before 3	180	250	165	250
before 4	190	280	162	230
before 5	180	265	160	240
After	215	320	188	290

시험결과는 Table. 3과 같이 개선 후의 작동범위가 우측 윈드실드 기준으로 CP1에서는 최대 50mm 정도가 개선되었으며, CP2에서는 최대 60mm정도 유격이 개선된 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 항공기 지상 시험 결과는 내구성 시험 결과와 마찬가지로 개선 전에는 와이퍼 작동범위가 곡면부를 넘었지만, 개선 후에는 곡면부를 넘지 않으며 정상작동 하는 것을 나타낸다. 또한 와이퍼의 누름압이 향상 되어 암의 블레이드가 윈드실드에 더욱 밀착되며 작동하여 닦임 성능이 향상된 것을 확인 할 수 있었다.

3.4 항공기 비행 시험

실제 비행에서 개선된 와이퍼 암의 성능을 확인하기 위해서 정지비행 조건, 기동조건(90kts, 130kts)에서 와이퍼의 지속, 고속모드 작동상태 및 닦임 성능 확인하였다. 와이퍼가 바깥(Outboard) 방향으로 이동 시, 일부 미세하게 빗물이 남아 있으나 안쪽(Inside) 방향으로 이동 시 닦임으로 닦임 성능에는 문제가 없었다. 그리고 130 kts 비행 중 고속 모드 작동에서도 향상된 누름압으로 인해 시야 확보가 원활 하였으며, 떨림 현상도 나타나지 않았다. 또한 와이퍼의 유격이 감소하여 파킹위치가 일정해졌으며, 소음 및 강도 측면에서 향상된 것으로 나타났다(Fig. 15)



Fig. 15. Flight test

4. 결론

본 논문에서는 회전익 항공기용 와이퍼 시스템에서 발생한 비행 중 닦임 성능 저하, 파킹 위치 불일치, 떨림 현상 등의 문제점을 식별하였으며, 와이퍼 암의 설계 개선 및 검증을 통하여 해결하였다. 개선방안으로는 와이퍼 암의 형상 변경, 스플라인 기어의 공차 개선, 누름압 증가, 재질 개선을 수행하였으며, 검증은 구조해석, 내구성 시험, 항공기 지상 시험, 비행 시험을 통해 개선 효과를 확인 하였다. 구조해석 결과, 와이퍼 암의 최대 응력은 139MPa로 나타났으며 피로 수명은 2.0×10^7 Cycles로 요구조건을 만족하였다[2]. 또한 500시간 내구성 시험, 항공기 지상 시험을 통해 와이퍼 작동거리를 측정하여 유격이 개선된 것을 확인 할 수 있었으며, 90kts, 130kts의 우중 비행 시험을 통해 최종적으로 와이퍼 암의 닦임 성능 및 유격이 개선된 것을 확인 하였다.

또한 기술적 측면에서 국내 최초로 국산화를 진행한 회전익 항공기용 와이퍼 시스템의 설계 개선 내용을 포함하였으며, 개선을 위해 진행했던 내구성 시험, 항공기 지상/비행 시험 등의 내용도 포함하였기에 향후에 개발이 예정된 소형민수헬기 사업이나 소형공격헬기 사업의 와이퍼 시스템 설계 시유용한 자료가 될 것이다.

References

- [1] Gerald L. Rogers, Ronald B. Schulte, "Windshield wiper arm", United States Patent, 1982.
- [2] Y. J. Hyun, S. H. Kim, S. W. Lee, Y.S. Hwang, Y.H. Moon, K. Y. Hong, "Rotorcraft Wiper Arm Assembly Fatigue Strength Substantiation for Localization", The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, pp. 917-922, 2015.
- [3] MIL-A-8866, "Military Specification, Airplane Strength and Rigidity Reliability Requirement, Repeated Load, Fatigue and Damage Tolerance", Naval air systems command(USA), 1987.

김 대 한(Dae-Han Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 부산대학교 재료공학부 졸업 (공학학사)
- 2014년 2월 : 부산대학교 재료공학부 대학원 졸업 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품절원 연구원 재직

<관심분야>
소재, 구조

박 재 호(Jae-Ho Park)

[정회원]



- 2016년 2월 : 경남정보대학교 기계설계공학과 졸업(공학학사)
- 2008년 5월 ~ 현재 : 화인정밀(주) 부설연구소 책임연구원 재직

<관심분야>
기계설계, 구조해석

이 윤 우(Yoon-Woo Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 졸업(공학학사)
- 2015년 2월 : 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 대학원 졸업(공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품절원 연구원 재직

<관심분야>
항공우주, 유체

안 정 민(Jeong-Min An)

[정회원]



- 2002년 2월 : 부산대학교 기계공학부 졸업 (공학학사)
- 2007년 1월 ~ 현재 : 한국항공우주산업 세부계통 엔지니어 재직

<관심분야>
기계, 항공우주