

헬기용 와이퍼 조립체의 가속모델 및 가속수명시험 설계 연구

김대유¹⁾ · 허장욱^{*,1)} · 전부일²⁾

¹⁾ 금오공과대학교 기계시스템 공학과

²⁾ 한국항공우주산업 개발사업관리본부

A Study on Accelerated Life Testing Model and Design

Daeyu Kim¹⁾ · Jangwook Hur^{*,1)} · Buil Jeon²⁾

¹⁾ Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea

²⁾ Development Program Management Division, Korea Aerospace Industries, Korea

(Received 10 July 2018 / Revised 27 August 2018 / Accepted 5 October 2018)

ABSTRACT

In the case of helicopters, the development of parts technology is rapidly changing, and the complexity is rapidly increasing. Particularly, the surge of various electric and electronic systems is recognized as a problem that is directly related to the safety of the helicopter. Due to these problems, there is a growing interest in reliability evaluation in the face of the problem of confirming and certifying the reliability of parts in the development stage.

In this paper, the analysis of the failure mechanism of the wiper system was carried out, and the priority and importance of each failure mode were checked by using the results, and major stress factors were derived and the corresponding acceleration model was selected. Also, the accelerated lifetime test time was calculated according to the life test time, acceleration status and acceleration level of the steady state by using the selected acceleration model and characteristic values.

Key Words : Wiper Assembly(와이퍼 조립체), Failure Mode Effect & Analysis(고장 모드 영향 및 분석), Fault Tree Analysis(고장 나무 분석), Reliability Test(신뢰성 시험), Accelerated Life Test(가속 수명 시험)

1. 서론

헬기에 탑재되는 와이퍼 조립체는 비나 눈이 오는 악기상시 안전한 운행을 위해 반드시 정상동작이 요구되는 핵심 구성품으로 분류되고 있으며, 안전성 측면에서 기본적인 성능뿐만 아니라 수명시험 등이 강조되고 있다.

특히, 최근 통신전자 분야를 중심으로 급격한 기술 발전에 따라 기계 및 전기전자 구성품의 성능향상은 헬기의 안전에 대한 중요성을 더욱 강조하게 되었으며, 개발단계에서 부품의 신뢰성을 확인하고 인증하여야 하는 신뢰성 평가에 많은 관심이 집중되고 있다.

헬기용 와이퍼 조립체와 같은 핵심 구성품의 수명

* Corresponding author, E-mail: hhjw88@kumoh.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

시험 비용과 기간을 단축하기 위해서는 가속수명시험 기법의 적절한 적용이 요구되고 있으며, 이와 관련하여 많은 연구가 수행되고 있으나, 군용 무기체계의 경우에는 관련 규정에 신뢰성 시험 중 수명시험 항목에 가속수명시험이 배제되어 있는 등 제반 여건이 미흡한 실정이다^[1].

따라서 본 연구에서는 헬기용 핵심 구성품 중 하나인 와이퍼 조립체를 대상으로 고장률 예측, FTA 및 FMEA를 통하여 주요 고장모드와 고장 메커니즘을 조사하였으며, 2Stage-QFD를 통하여 주요 스트레스 인자를 도출하여 가속모델 및 가속수명시험을 설계하였다.

2. 와이퍼 조립체의 고장 메커니즘

2.1 와이퍼 조립체의 기능과 형상

헬기용 와이퍼 조립체는 Fig. 1과 같이 모터/컨트롤 장치, 플렉스 드라이브, 컨버터, 압, 블레이드로 구성되어 있으며, 우천시엔 윈드실드를 깨끗하게 하여 조종사의 시야를 확보하는 기능을 수행하는 헬기 구성품 중 하나이다.

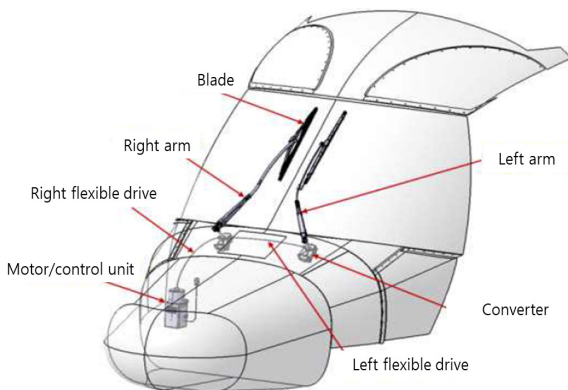


Fig. 1. Components of the wiper system

여기서, 모터/컨트롤 장치는 와이퍼에 동력을 제공하는 구성품이며, 플렉스 드라이브는 모터/컨트롤 장치로부터 입력되는 회전력을 컨버터에 전달하고, 컨버터는 회전운동을 왕복운동으로 변환하여 압에 전달하는 기능을 수행한다. 또한, 압은 항공기 외부에 장착되는 구성품으로 컨버터에 장착되어 블레이드에 일정한 누름압을 가하며, 블레이드는 윈드실드에 밀착되어 블레이드 고무를 이용하여 빗물 등을 제거한다.

2.2 고장률 예측

고장률은 임의의 시간 구간 내에서 실제 동작중인 부품의 모집단에 대한 고장 횟수의 비율로 정의하며, 이는 실제로 장비가 운용을 시작한 후 고장이 일어날 수 있는 시점을 의미한다. 고장률 $Z(t)$ 는 고장 분포에 따라 여러 가지 형태로 표현될 수 있으나, 일반적으로 고장률이 지수분포를 갖는다고 가정하면 $Z(t) = \lambda t$ 로 나타낼 수 있다.

이 때, 신뢰도의 척도는 고장률의 역수로서 MTBF로 정의할 수 있으며, ARW(Airborne Rotary Wing) 환경조건과 38 °C 온도조건을 대상으로 Relux 2011을 사용하여 분석하였다. 와이퍼 조립체에 대한 고장률 및 MTBF는 분석결과 각각 334.602와 2,989H가 계산되었으며, 고장률 예측 상위 5개 부품을 Table 1에 나타내었다. 표로부터 모터가 가장 높은 고장률을 나타내었고, 블레이드 패드, 워م 샤프트, 기어, 베어링 순으로 예측되었으며, 이러한 결과는 FTA의 Critical Path에서 주요 고장모드를 나타내는 부품과의 비교를 통해 수명시험 항목 선정의 기준자료로 사용하였다.

Table 1. Top five parts of wiper prediction failure rate

Name	Failure Rate	MTBF(H)
Motor	12.2058	81,928
Pad	9.0996	109,895
Shaft	4.2896	233,123
Gear	4.2896	233,123
Bearing	3.9879	250,760

2.3 고장모드 및 영향 분석(FMEA)

FMEA(Failure Mode Effect & Analysis)는 체계 또는 체계의 하위 수준에서 잠재적인 고장유형을 검토하고, 체계의 성능에 미치는 고장의 영향을 평가하는 기법으로 귀납적 논리 과정을 사용한다. 이 접근법은 체계의 최하위 수준에서 시작하여 체계 성능에 미치는 최종 영향을 결정하기 위해 상위 수준으로 올라가면서 “bottom up” 방식으로 분석하며, 체계 설계가 완료된 이후보다는 체계 설계의 초기에 적용하는 것이 효과적이다.

FMEA를 통해 계산되는 RPN(Risk Priority Number)은 잠재 고장모드에 대한 기대위험의 예측치이며, 심각도, 발생도 및 검출도의 곱으로 나타낼 수 있다. 와이퍼 조립체의 FMEA에서 RPN이 가장 높게 나타난

Table 2. FMEA results of RPN failure modes

RPN rank	Failure mode	Failure parts	Failure effects	RPN
1	Wiper motor breakage	Motor	Unable to perform task due to wiper system inoperative	84
2	Worm shaft failure	Shaft	Unable to perform task due to wiper system inoperative	56
3	Link failure	Link	Unable to perform task due to wiper system inoperative	56
4	Ball Bearing Breakage (No. 1)	Bearing	Unable to perform task due to wiper system inoperative	56
5	Ball Bearing Breakage (No. 2)	Bearing	Unable to perform task due to wiper system inoperative	56

상위 5개 고장모드에 대한 결과를 Table 2에 나타내었으며, 고장모드 중 와이퍼 모터 파손이 가장 높은 RPN을 갖는 것으로 식별되었다^{2,3)}.

2.4 고장트리 분석(FTA)

FTA(Fault Tree Analysis)는 바람직하지 못한 하나의 특정 사건을 정의하고, 사건을 일으킬 수 있는 모든 가능한 고장을 결정하는 기법이다.

구체적으로 치명적인 상위 사건을 유발할 수 있는 고장을 식별하는데 초점을 두고 있다. 와이퍼 시스템의 FTA는 FMEA상에서 가장 높은 RPN을 갖는 고장 모드인 와이퍼 모터파손의 고장영향을 기준으로 Fig. 2와 같이 수행하였다.

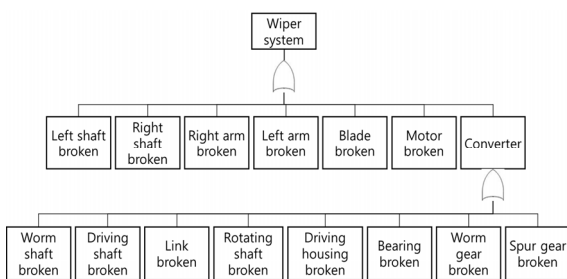


Fig. 2. FTA of top-level RPN

3. 가속모델 및 가속수명시험 설계

3.1 주요 스트레스 선정

FMEA 및 FTA 수행결과 도출된 고장모드 중 와이퍼 조립체의 성능에 영향을 미치는 스트레스 인자를 식별

하기 위하여 2Stage-QFD(Quality Function Deployment)를 수행하였다. 2Stage-QFD 1단계에서는 Table 3과 같이 모터, 축, 링크, 볼 베어링 및 기어에 대한 각각의 고장과 온도, 진동, 습도, 먼지 및 충격의 관계를 나타내고 있다. 표에서 RPN scale은 각각의 RPN에 대해 최대 RPN을 나타낸 84로 나눈 값으로, 잠재 고장모드의 기대위험 예측치가 상대적으로 어느 정도를 나타내는지를 표시하고 있다.

또한 Score는 고장모드별 고장발생시 상대적인 영향성(● 9점, ○ 3점, △ 1점)을 표시한 것이며, RPN score는 RPN scale과 Score의 곱을 나타내고, 부품의 고장원인이 어떤 잠재 고장모드로 나타나는지를 수치로 표시한 것이다³⁾.

2단계에서는 효과적인 시험방법을 결정하는 매트릭스로써 1단계에서 우선적으로 개선해야 할 부품의 고장모드/메커니즘을 확인하였다.

표에서 Test score는 Table 4에서 산출한 RPN score와 고장모드별 고장발생시 상대적인 영향성(● 9점, ○ 3점, △ 1점)을 곱한 것이며, Test rank는 시험설계의 고려사항을 반영하여 효과적인 시험방법을 결정토록 우선순위를 표시하고 있다²⁾.

표로부터 주요 스트레스 인자 중 고온이 가장 큰 영향을 미치는 인자로 식별되었고, 이와 관련된 주 고장모드 및 메커니즘은 온도에 의한 모터 코일의 부서짐이며, 고장영향은 와이퍼 조립체 작동불가로 인한 임무수행 불가이다^{2,4-7)}.

3.2 가속모델

가속수명시험은 사용조건보다 가혹한 환경(온도, 습도, 진동, 전압 등) 수준에서 시험하여 고장을 가속시

Table 3. Results of accumulator 2Stage QFD level 1

Failure site	Motor	Shaft		Link	Ball bearing	6Gear	
Failure mode	Coil broken	Warm shaft broken	Rotary shaft broken	Broken	Broken	Worm gear broken	Spur gear broken
RPN	84	56	58	56	56	56	56
RPN scale	1.00	0.67	0.69	0.67	0.67	0.67	0.67
Temperature	●						
Vibration	○	○	○				△
Humidity	○						
Dust							
Mechanical shock		○	△	○	○	△	△
Score	15	6	4	3	3	1	2
RPN score	15.00	4.00	2.76	2.00	2.00	0.67	1.33

Table 4. Results of accumulator 2Stage QFD level 2

Failure mechanism			Test Items				
Parts	Failure mode	RPN Score	Gas leakage	Discharge flow rate	Pressure resistance	Vibration	High temperature
Motor	Coil broken	15.00	○				●
Shaft	Warm shaft broken	4.00		○	○		
	Rotary	2.76				○	○
Link	Broken	2.00		○			○
Ball bearing	Broken	2.00		○	○		
Gear	Worm gear broken	0.67	△		○		
	Spur gear broken	1.33	△			○	
Test score			47.00	24.00	20.00	12.29	149.29
Test rank			2	3	4	5	1

키는 시험으로 가속조건에서 관측된 데이터로부터 수명과 스트레스의 관계식을 추정하게 된다.

가속수명시험 모형은 수명분포와 수명-스트레스 관계로 이루어져 있고, 수명분포는 지수분포, 와이블분포 및 대수정규 분포 등이 있으며, 수명-스트레스 관계는 아레니우스, 역거듭제곱 및 아이링 방식으로 분

석이 가능하다.

헬기용 와이퍼 조립체의 구성품 중 사용간 고장이 예상되는 품목은 모터이며, 모터의 고장모드로는 브러시 마모, 베어링 마모 및 코일의 절연 열화 등이 있고, 이들 품목에 대한 가속 모델은 다음과 같이 정리할 수 있다.

3.2.1 브러시

모터의 브러시 마모는 모터 수명과 직접적인 관계가 있으며, 브러시의 요구기능을 수행 할 수 있는 임계 마모량인 유효거리가 Fig. 3과 같이 존재하고, 만약 이 유효거리를 벗어나 마모가 진행되었을 때에는 모터의 전류가 증가되지 않게 되어 고장이 발생한다.

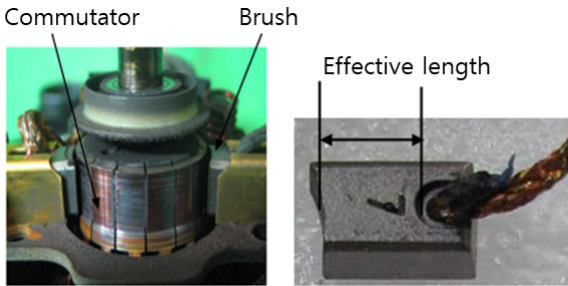


Fig. 3. Effective distance of brush and commutator

브러시 마모의 가속인자로는 온도와 사용전압이 있으며, 온도와 수명과의 상관모델은 아레니우스 모델을 적용할 수 있고, 전압과 수명과의 상관모델은 역승모형의 적용이 가능하기 때문에 브러시 마모 수명(L)은 전압(V)과 온도(T)를 결합한 식 (1)과 같이 정리 할 수 있다^[8,9].

$$L = \frac{A}{V^n} \cdot \exp\left(\frac{E}{kT}\right) \quad (1)$$

여기서, E는 활성화에너지, k는 볼츠만 상수, A는 제품 또는 시험조건에 따른 상수, n은 전압에 따른 수명 민감수준을 나타내는 지수를 의미한다.

3.2.2 베어링

모터는 소결베어링을 사용하고 있으며, 이러한 소결 베어링은 모터 축에 비해 강도 및 경도가 작으므로 편심하중 시 Fig. 4와 같이 쉽게 마모가 진행될 수 있다.

베어링 마모의 가속인자로는 소결 베어링의 전반 마모를 촉진하기 위해 원심력으로 작용하는 편심하중이 있으며, 편심하중은 원심력을 발생시킴으로서 베어링의 전반 마모를 초래하게 되고, 소음을 증가시키는 원인으로 작용한다.

소음 고장을 유발하는 소결 베어링에는 임계마모량이 존재하며, 이는 편심하중에 비례하게 되고, 이러한 임계마모량에 이르는 누적 마모횟수를 고장 수명 회

전수(L)라고 하면, 고장 수명 회전수는 편심하중(F_c)에 반비례하게 된다.

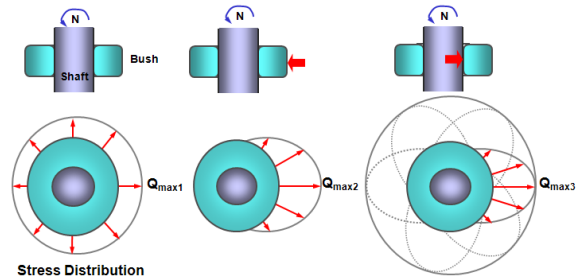


Fig. 4. Wear mechanism of motor shaft and bearing

따라서 편심하중과 고장 수명 회전수와의 상관 모델로 역승모형을 적용하여 식 (2)와 같이 정리할 수 있다^[8,10].

$$L = f(F_c) = \frac{A}{F_c^n} \quad (2)$$

여기서, A는 제품 또는 시험조건에 따른 상수, n은 편심하중에 따른 수명 민감수준을 나타내는 지수를 의미한다.

3.2.3 코일

모터 코일의 피막이 파손될 경우 모터 과부화에 의한 열발생으로 모터 코일 절연 열화의 고장메커니즘이 나타나며, 온도 및 습도에 의해 Fig. 5와 같이 코일의 절연이 파괴되어 정상적인 전기적 성능을 발휘하지 못하게 된다^[8,11].

따라서, 모터 코일의 절연열화 가속인자로는 온도(T)와 습도(RH)의 복합 스트레스를 고려할 필요가 있으므로 모터 코일의 수명(L)은 아이링 모델을 적용할 필요가 있다. 아이링 모델은 아레니우스 모델의 연장으로서, 온도 외에 습도 등이 복합되어 있는 경우에 적용할 수 있는 모델로 식 (3)과 같이 표현할 수 있다^[8,11].

$$L = C \cdot \exp\left(\frac{E_a}{k \cdot T}\right) \cdot (RH)^{-n} \quad (3)$$

여기서, C는 제품 또는 시험조건에 따른 상수, n은 습도에 따른 수명 민감 수준을 나타내는 지수를 의미한다.

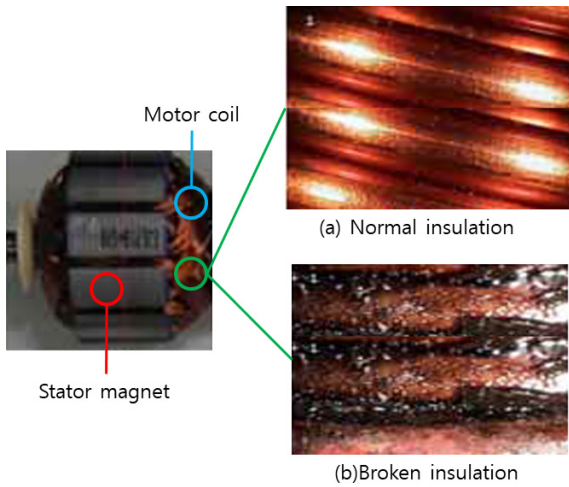


Fig. 5. Motor coil insulation example

3.2.4 종합

모터의 구성품인 브러시, 베어링 및 코일의 가속모델에 대한 결과를 Table 5에 나타내었다. 표로부터 3가지 품목의 모두 가속인자, 가속모델 및 가속계수로 표현이 가능하나, FMEA, FTA 및 2Stage-QFD로부터 와이퍼 조립체는 Table 3과 같이 모터 코일부분의 고온 열화가 가장 취약한 것으로 식별되었기 때문에 모터를 대표하는 가속 모델로는 아이링 모델에 의한 코일 절연열화의 수명식과 특성값을 사용하는 것이 타당하다.

식 (3)에 대해 정상상태의 절대온도(T_s)와 습도(RH_s) 및 가속상태에서의 절대온도(T_a)와 습도(RH_a)를 반영하여 정리하면 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며, 모터 코일 절연열화 고장메커니즘의 활성화에너지, 형상모수 및 습도에 따른 민감도 지수와 볼츠만 상수는 Table 6과 같다^[7-9].

$$A_f = \left(\frac{RH_s}{RH_a}\right)^{-n} \cdot \exp\left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_a}\right)\right] \quad (4)$$

Table 6. Characteristic value of deterioration failure mechanism

Activation energy	0.86 eV
Shape parameter	11.24
Sensitivity index according to humidity	2.21
Boltzmann constant	8.62×10^{-5} eV/K

3.3 MTBF 보증시험

시험기간의 단축을 위하여 무 고장 합격기준을 사용하는 것은 허용 고장수를 “0”으로 채택한다는 것을 의미하고 있으며, 짧은 시험기간을 사용하는 대신 완벽한 신뢰성을 보증한다는 의미로 해석된다.

무 고장 시험방식은 요구수명을 주어진 신뢰수준으로 보장하는 시험방식들 중에서 적용이 비교적 용이하다.

상대적으로 시험시간이나 시료 수가 단축된다는 장점을 갖는다. 수명을 보증하기 위한 무 고장 합격기준을 적용하는 시험에서는 규정된 사용수명과 신뢰수준을 만족하는 시료 수 n과 무 고장 시험시간 t를 결정하게 된다.

동일한 신뢰수준으로 백분위 수명을 보증하는 무 고장 시험방식에는 다양한 (n, t) 조합이 존재하며, 와이퍼 분포에서 형상모수와 신뢰수준, 합격판정계수 및 샘플수가 정해질 때에 식 (5)와 같이 카이제곱 분포표를 통하여 보증하고자 하는 시험시간(t)을 도출할 수 있다^[12,13].

Table 5. Acceleration stress, model and acceleration factor formula according to failure mode

	Brush	Bearing	Coil
Acceleration stress	Voltage, Temperature	Eccentric load	Temperature, Humidity
Acceleration model	Equation that combines arrhenius model and inverse power model	Inverse power model	Eyring model
Acceleration factor	$\left(\frac{V_s}{V_a}\right)^n \cdot \exp\left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_a}\right)\right]$	$\left(\frac{F_{ca}}{F_{cs}}\right)^n$	$\left(\frac{RH_s}{RH_a}\right)^{-n} \cdot \exp\left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_a}\right)\right]$

Table 7. Test time according to the number of reliability test samples and confidence level

Number of samples	Confidence level	$\left[\frac{\chi_{1-\alpha, 2(k+1)}^2}{2 \cdot n \cdot \ln(\alpha)^{-1}}\right]^{\frac{1}{\beta}}$	Test time(H)
1	0.6	1.212134991	2,849
	0.7	1.241933638	2,919
	0.8	1.274414141	2,995
	0.9	1.315664694	3,092
2	0.6	1.139661477	2,678
	0.7	1.167678463	2,744
	0.8	1.198216958	2,816
	0.9	1.237001142	2,907
3	0.6	1.099292911	2,583
	0.7	1.126317492	2,647
	0.8	1.155774267	2,716
	0.9	1.193184655	2,804

$$t \geq \left[\frac{\chi_{1-\alpha, 2(k+1)}^2}{2 \cdot n \cdot \ln(\alpha)^{-1}}\right]^{\frac{1}{\beta}} \times MTBF \quad (5)$$

여기서, α 는 신뢰수준, k 는 합격판정계수, β 는 형상모수, n 은 시료의 수, $MTBF$ 는 신뢰도 예측값을 의미한다.

시료 수가 각각 1개, 2개 및 3개일 때의 신뢰수준과 시험시간을 Table 7에 나타내었으며, 동일한 시료 수를 대상으로 신뢰수준을 향상하거나 동일한 신뢰수준을 대상으로 시료 수를 축소하려면 시험시간의 연장이 필요함을 알 수 있다.

즉, 시료 수가 1개일 때 신뢰수준 90 %는 신뢰수준 60 %에 비해 243H(약 8.5 %)의 시험시간이 추가로 필요하고, 신뢰수준이 90 % 일 때 시료 수 1개는 시료 수 3개에 비해 288H(약 10.3 %)의 시험시간이 추가로 필요함을 제시하고 있다. 그리고 시료수가 최소인 1개이고 신뢰수준이 60 %의 경우 시험시간은 2,849H를 표시하고 있다.

3.4 가속수명시험 설계

와이퍼 조립체가 정상상태일 때의 온도는 38 °C이

고 습도는 85 %이며, 이때 온도와 습도를 변화시켰을 때 식 (4)에 의한 가속계수를 Table 8과 Fig. 6에 나타내었다. 표와 그림으로부터 가속계수는 온도 및 습도의 증가에 따라 증대함을 알 수 있다.

Table 8. Acceleration factor according to temperature change

Temperature	Humidity	Accelerate factor
50 °C	85 %	3.29
	90 %	3.74
	95 %	4.21
60 °C	85 %	8.33
	90 %	9.45
	95 %	10.65
70 °C	85 %	19.96
	90 %	22.65
	95 %	25.52

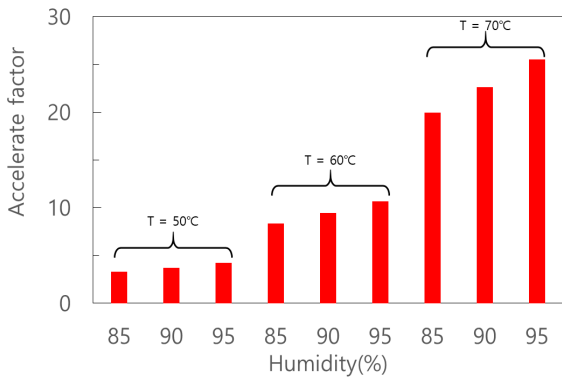


Fig. 6. Acceleration factor according to change of temperature and humidity

신뢰수준이 60 %의 경우 시료수가 1개 및 3개일 때, 시험온도 50 °C와 습도 85 %에서 시험시간은 각각 865H 및 939H이었으나, 시험온도 70 °C와 습도 95 %에서는 각각 112H 및 121H로 감소되었다. 또한, 신뢰수준 90 %의 경우 시료수가 1개 및 3개일 때, 시험온도 50 °C와 습도 85 %에서 시험시간은 각각 784H 및 851H이었으나, 시험온도 70 °C와 습도 95 %에서는 각각 101H 및 110H로 감소되었다. 따라서, MTBF 보증 시험을 가속수명시험으로 수행시에는 시료수가 최소인 1개이고, 최소 신뢰수준이 60 % 일 때, 시험온도가 70 °C와 습도 95 %에서 최소 112H의 시험시간이 필요함을 알 수 있다.

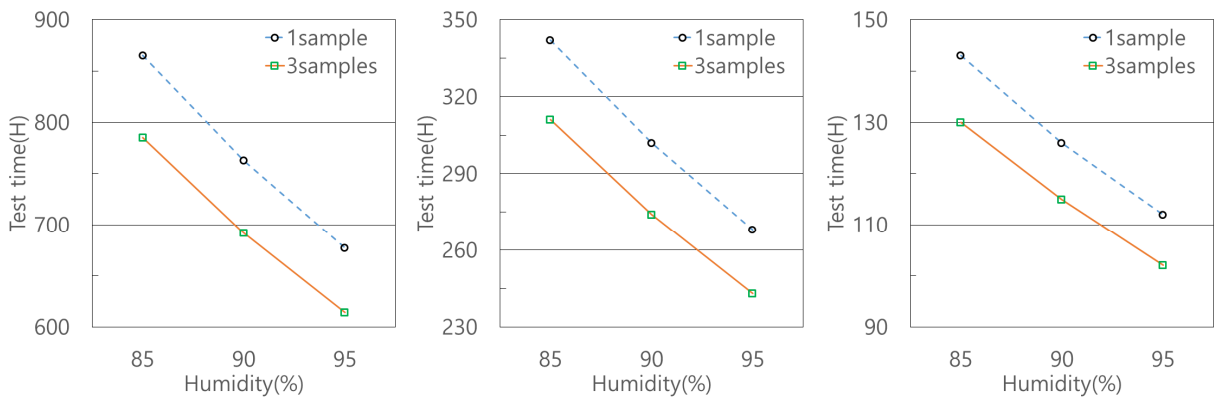
신뢰수준과 시료 수 및 온도와 습도의 변화에 따른 가속인자를 고려하여 가속수명시험 시간을 Table 9 및 Fig. 7, 8과 같이 나타내었다.

4. 결론

헬기용 와이퍼 조립체의 가속수명시험 설계를 위해

Table 9. Test time according to change of temperature and humidity(H)

Confidence level		50 °C			60 °C			70 °C		
		85 %	90 %	95 %	85 %	90 %	95 %	85 %	90 %	95 %
60 %	1 sample	865	762	676	342	301	267	143	126	112
	3 samples	939	827	734	371	327	290	155	137	121
90 %	1 sample	784	691	613	310	273	242	129	114	101
	3 samples	851	750	666	337	297	263	140	124	110



(a) Temperature : 50°C

(b) Temperature : 60°C

(c) Temperature : 70°C

Fig. 7. Test time according to change of temperature and humidity(Confidence level : 60 %)

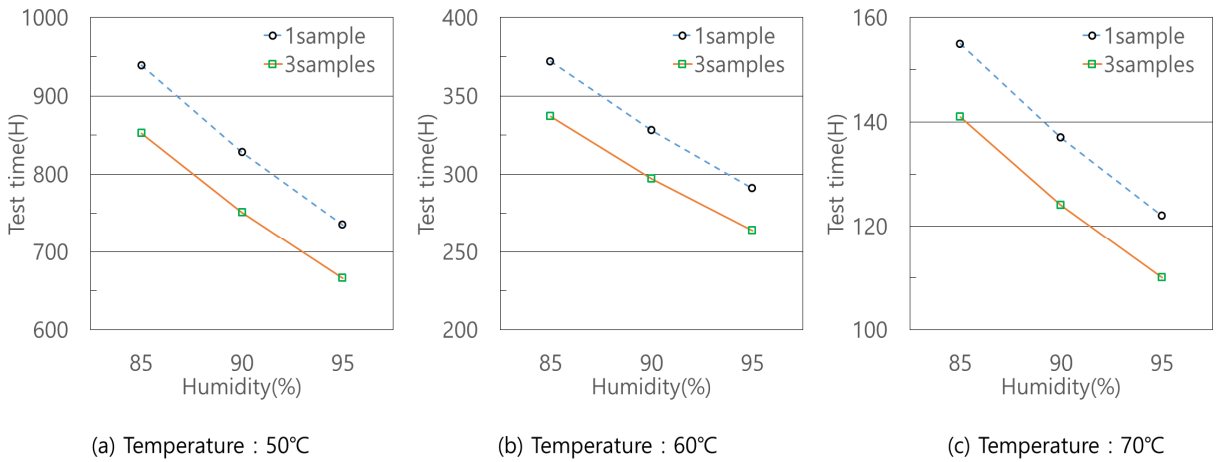


Fig. 8. Test time according to change of temperature and humidity(Confidence level : 90 %)

고장률 예측, FMEA, FTA를 수행하였으며, 이를 통하여 와이퍼 조립체의 고장모드 및 메커니즘을 분석하여 가속인자 및 가속수명시험을 설계하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 와이퍼 조립체의 가장 치명품목은 모터이며, 온도와 습도에 매우 민감함을 알 수 있다.
- 2) MTBF 보증시험의 경우 최소한의 시료 수량으로 신뢰수준 60 %로 시험시 2,849H의 시험시간이 도출되었다.
- 3) 가속수명시험의 경우 최소한의 시료 수량으로 신뢰수준 60 % 및 시험온도 70 °C와 습도 95 %로 시험시 112H의 시험시간이 요구된다.

후 기

본 논문은 산업기술평가원과 한국항공우주산업의 지원(10053155)을 받아 수행된 연구 결과임

References

- [1] Department of Defense, "Defense Force Development Business Instruction," pp. 62-63, 2018.
- [2] Wae-Gyeong Shin, Soo-Hong Lee, Young-Sik Song, "The Reliability Life Test Design and Analysis of Wiper Motor for Automobiles," KSAE Annual Spring Conference, pp. 1968-1973, 2006.
- [3] SungJae Lee, YoonKi Kim, ChangHoon Lee, HongWoo Im, "How to Determine Reliability Test Items First through FMEA and QFD," Proceedings of the Korea Reliability Society Conference, pp. 74-81, 2016.
- [4] Agency for Technology and Standards, "Wiper Motor for Automotive," pp. 2-7, 2003.
- [5] Agency for Technology and Standards, "Wiper Blade for Automobiles," pp. 5-9, 2003.
- [6] Agency for Technology and Standards, "Wiper Arm for Automobiles," pp. 3-8, 2003.
- [7] Agency for Technology and Standards, "Wiper System for Automobiles," pp. 4-9, 2003.
- [8] Hakyong Eom, Shinhwan Wei, Hyungmin Kim, Heebok Lee, "A Study on Accelerated Life Test Method of Blower Motor," KSAE Annual Spring Conference, pp. 1619-1624, 2011.
- [9] Hakyong Eom, Sungok Kim, Shinhwan Wei, Sangwook Park, Gyuro Kim, "Development of Accelerated Life Test Method for Brush Wear of the Vehicles DC Motor," KSAE Annual Spring Conference, pp. 2003-2008, 2010.
- [10] Kyungteak Lee, Shinhwan Wi, Hyungmin Kim, Heebok Lee, "Development of Accelerated Test Method for Noise Failure Mode of Automobiles

- DC Motor,” KSAE Annual Spring Conference, pp. 2009-2014, 2010.
- [11] Tae-Gu Lee, Jong-Sun Moon, Hoseon Yoo, Jae-Heon Lee, “Thermal Reliability Analysis of BLDC Motor in a High Speed Axial Fan by the Accelerated Life Test,” Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 17(12), pp. 1169-1176, 2005.
- [12] Andre Kleyner and Joseph Boyle, “Demonstrating Product Reliability Theory and Application,” pp. 1-5, 2002.
- [13] IYoung Yang, JunGu Kang, SangWoo Yu, GeunTae Oh, YoonGyoon Na, “Development of Accelerated Life Test Method for Constant Electrical Potential Electrolysis Gas Sensor,” Journal of Applied Reliability, 16(3), pp. 180-191, 2016.