

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 44(1), 49-56(2016)

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.1.49>

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

한국형 기동헬기 동계운용능력 향상을 위한 플래퍼밸브 개선연구

최재형*, 장인기**, 심대성**, 안정민***

A Study on Winter Season Usability Performance
Improvement of Flapper Valve for KUH-1

Jae Hyung Choi*, In ki Chang**, Dai Sung Shim** and Jeong Min Ahn***

Defense Agency for Technology and Quality* , **

Korea Aerospace Industries***

ABSTRACT

Flapper Valve of Korean Utility Helicopter(KUH-1) is an essential equipment in Environmental Control System(ECS) for pilot to perform flight mission. It provides pilots and crews with heating, ventilating and air conditioning. It has function of maintaining room temperature to sustain operational capability for pilot and crew. This paper summarizes pilot comments in flight test which are classified by cause of occurrence and the troubleshooting process about each comment. It also describes design improvements which was derived from troubleshooting and suggests verification results of flight test at low temperature.

초 록

한국형 기동헬기(KUH-1)에 적용된 플래퍼밸브는 환경제어계통 장비로서 조종사의 임무 수행에 핵심적인 장비이다. 플래퍼밸브는 조종사 및 승무원에게 난방, 환기, 공기조절기능을 가지고 있고, 항공기 내부온도를 유지시킴으로서 조종사 및 병력의 작전 운용능력을 만족시킨다. 본 논문에서는 플래퍼밸브의 비행시험 지적사항을 발생원인 별로 분류하고, 각 지적사항에 대한 고장탐구 수행과정을 정리하였다. 또한, 고장탐구 내용을 바탕으로 도출한 설계개선 사항과 개선사항에 대한 저온비행시험 검증 결과를 함께 기술하였다.

Key Words : KUH-1(한국형 기동헬기), ECS(환경제어계통), Flapper Valve(플래퍼밸브), Linear Actuator(선형작동기)

1. 서 론

본 연구는 한국형 기동헬기(Korean Utility Helicopter, 이하 KUH-1) 환경제어계통(Environmental Control System, 이하 ECS)의 동계운용능력 향상을

위한 설계개선에 대해 정리하였다. KUH-1 운용 중 발생하였던 우천 시 항공기 전방 흡입구를 통한 수분 유입 현상 및 겨울철 난방 성능 저하 현상을 분석하였고, ECS 플래퍼밸브 설계변경 및 성능시험을 통해 개선결과를 검증하였다.

† Received : May 13, 2015 Revised : November 2, 2015 Accepted : November 10, 2015

* Corresponding author, E-mail : jhchoi@dtaq.re.kr

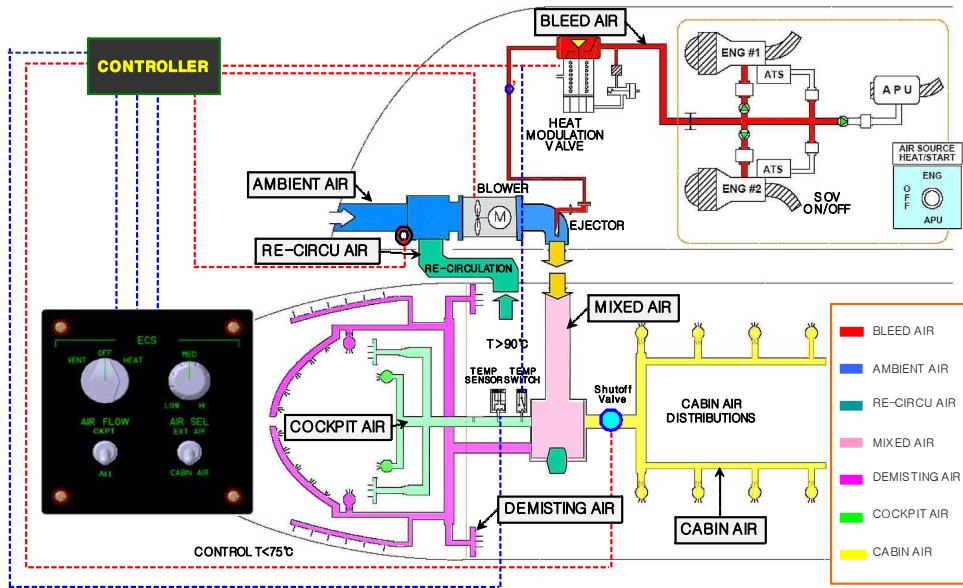


Fig. 1. Schematic Diagram of Environmental Control System(ECS) for KUH-1

II. 본 론

2.1 환경제어계통 설명

환경제어계통은 조종실 및 병력실 온도를 일정한 수준으로 유지하고[1] 외부공기를 실내로 적절히 공급해 주기 위해, 엔진의 블리드에어 및 외부공기 또는 내부공기를 이용하여 난방과 환기 기능을 수행한다[2,3,4]. 주요 구성품으로는 플래퍼밸브(Flapper Valve), 송풍기(Blower), 유량조절밸브(Heat Modulation Valve), 온도센서(Temperature Sensor), 온도스위치(Temperature Switch), 시스템제어기(ECS Controller), 흡입구 및 재순환 덕트 등으로 구성된다. ECS 개략적 설계도는 Fig. 1과 같고, 구성품의 주요기능에 대한 설명은 Table 1과 같다. 승객실 내부에 공급되는 유량은 오리피스를 이용하여 균등한 유량분포를 만족하였다.[5,6] 조종석 상부에 있는 ECS 제어 패널(Fig. 3 참조)에서는 크게 4가지를 제어하는데 첫 번째로 환기와 난방을 선택하고, 두 번째로 실내로 유입되는 공기의 온도를 조절한다. Low에서는 유량제어밸브가 닫히고, Med에서는 절반만 개방되며, Hi에서는 완전히 개방되어 온도 조절이 된다. 세 번째로 승객실 유량공급 유무를 선택하고, 네 번째로 공급하는 유량이 외부에서 들어오는 공기를 포함하는지 아니면 내부 유량으로만 공급할지를 선택한다.

Table 1. Function of ECS Components for KUH-1

구성품	기능 및 설명
플래퍼 밸브	플랩이 존재하여 ECS 패널에서 외부 공기(Ext Air) 선택 시 외부공기를 흡입한다. 실내공기(Cabin Air) 선택 시 외부로부터 들어오는 공기는 차단하고 항공기 내부의 공기를 흡입하도록 한다.
송풍기	AC 200V, 400Hz 3상 모터로 구동되고 공기흡입구 뒤에 장착되어서 외부공기를 흡입하여 조종실 및 승객실로 공급하는 기능을 한다[7].
유량 제어 밸브	엔진 카울링 내부에 위치하며 APU와 2개의 엔진으로부터 발생한 블리드에어(Bleed Air)를 공기흡입구로 부터 들어오는 에어와 혼합하여 온도를 조절하는 역할을 한다.
온도 감지기	조종실 정조종사석 후방과 조종실 환기 덕트에 위치하여 온도를 감지한다.
온도 스위치	혼합공기의 온도가 적정온도 이상일 경우 차단밸브를 작동시켜 혼합공기의 유입을 차단한다.
시스템 제어기	항전 장비실에 위치하여 2개의 온도센서와 온도스위치의 전기적 신호를 입력받아 항공기의 난방과 환기 및 서리 제거 기능을 제어하는 역할을 한다.
ECS 패널	정/부 조종사석 상부에 위치하여 환기, 난방, 온도, 공기흐름 등 ECS계통을 통제하는 역할을 한다(Fig. 3 참조).

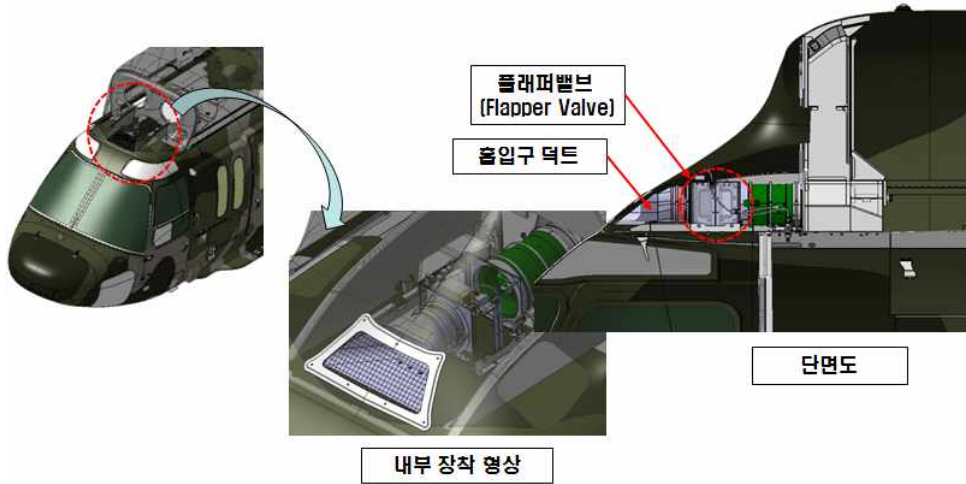


Fig. 2. Intake Duct System (Previous Design)

2.2 플래퍼밸브 형상 및 기능

설계변경 전 플래퍼밸브(Flapper Valve)의 형상은 Fig. 2, 4와 같다. Fig. 5는 공기선택 버튼(ECS Control Panel)에 따라서 유량의 흐름을 표현해 주고 있다. 공기흡입구 내부에 존재하는 플래퍼밸브는 외부공기(Ext Air)를 선택할 때 실내로부터 흡입하는 공기 입구를 막는다. 그리고 공기 흡입구 뒤에 있는 송풍기의 회전력에 의해 흡입구 덕트를 통해 외부공기를 흡입한다. 만일 실내공기(Cabin Air)를 선택한다면 플래퍼밸브는 흡입구 덕트의 입구를 막고 그 대신 실내로부터 공기를 흡입하여 순환하게 한다. 밸브 상단에 장착된 선행작동기(Fig. 4 참조)의 Extract/Retract 운동에 의해 플랩(Flap)이 열고 닫히도록 되어 있으며, 상부 콘솔의 스위치 패널 조작에 따라 선택가능하다. 추가적으로 겨울철 난방을 위해서는 내부공기 순환모드를 이용하여 난방 온도를 효과적으로 상승시키도록 설계되어 있다.



Fig. 3. ECS Control Panel

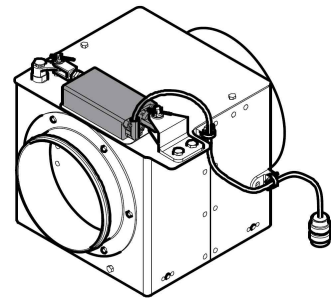


Fig. 4. Flapper Valve (Previous Design)

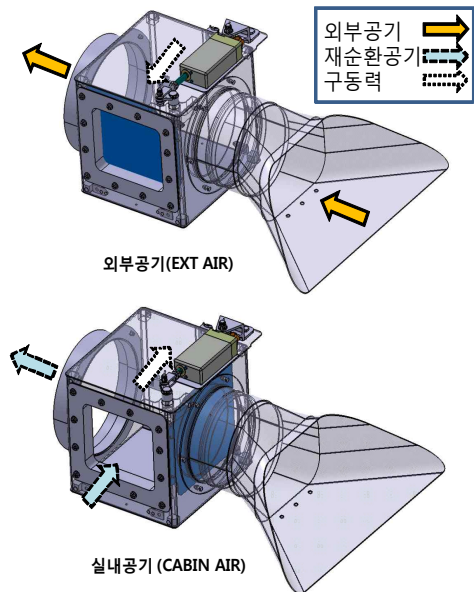


Fig. 5. Concept of Intake Air Flow

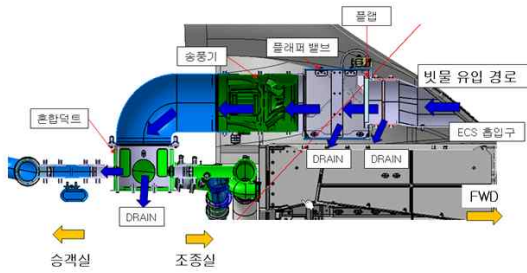


Fig. 6. Inflow Route of Water

2.3 설계보완 요구사항

ECS 플래퍼밸브에 대하여 운용 중 실내 수분유입현상과 기밀성 부족으로 인한 난방성능 저하에 따른 설계보완 요구사항이 발생하였고 내용은 아래와 같다.

2.3.1 실내 수분유입

수분유입은 수락시험 지적사항으로서, ECS 송풍기 작동 시 항공기 내 공기토출구를 통해 공기와 수분이 같이 유입된 사례가 발생하였다. 이는 우천 계류 시 흡입구 덕트를 통해 공기흡입구 내부에 빗물이 들어오고, 배수되지 않은 빗물이 송풍기 작동 시 승객실 내부 공기토출구를 통해 배출되었기 때문이다. 빗물의 유입경로는 Fig. 6과 같고 배수구가 있었음에도 위와 같은 현상이 발생하였다. 따라서 수분이 유입되지 않도록 배수설계 개선이 필요하였다.

2.3.2 난방성능 저하(기밀성 부족)

군용 헬리콥터는 작전 환경에 따라 저온 및 우천 시에도 운용가능 하여야 한다. 특히 저온에서는 난방능력이 큰 변수이다. 항공기 내부 조종실과 병력실에 일정한 온도를 유지시켜야 작전수행능력을 발휘할 수 있기 때문이다. KUH-1의 환경계통 요구도에도 영하 00℃ 이상의 대기 온도에서 운용 가능하도록 명시하고 있다. ECS 운용온도 요구도는 동계예방장비(Winterization Kit)를 사용하지 않고 대기온도 -00 ~ 00℃에서 운용이 가능해야 하며, 저온 조건에서 조종실 15℃ 이상 및 승객실 0℃ 이상의 온도를 유지하여야 한다. KUH-1 양산 O호기 수락시험 비행 중 ECS 난방 작동 시 특정구간(항공기 속도 130kts)에서 조종실 및 승객실 온도가 급격하게 떨어지는 현상이 발생하였다. 아래의 Fig. 7과 Table 2는 수락 비행 시 승객실 온도를 측정된 위치와 각 지점에서 온도를 비교해 놓은 것이다.

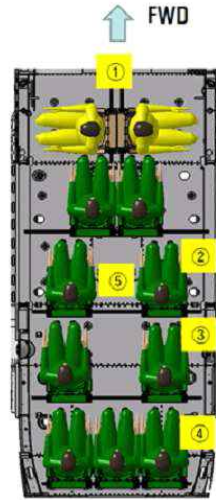


Fig. 7. Measure Point of Temperature

Table 2. Room Temperature at level flight

고도	측정위치에 따른 온도(단위:℃)					비고	
	OAT	①	②	③	④		⑤
지상	6	29	26.4	25.8	25.7	30	Air Source : APU
Hover 60ft	6	29	28.3	27.4	27	31.5	엔진토크 : 68%
Level 1000ft	2	21	18.3	15.9	상:11.5 하:14.9	17.3	100kts, 엔진토크 : 47%
Level 1100ft	2	20.8	19.7	19.7	상:15.5 하:15.9	19.2	100kts
Level 6800ft	-6	18.4	17.1	15	상:14.1 하:14.4	17.4	80kts
Level 10000ft	-11	17.5	15.9	13.5	상:13.1 하:13.1	16	80kts
Level 10000ft	-14	23	23	22.7	상:15.6 하:16.6	22.6	100kts
Level 10000ft	-15	16.3	11.5	5.7	상:1.5 하:7.1	10.8	130kts

위의 표를 보면 항공기 고도와 속도의 변화에 따라서 내부 온도가 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 고도가 10,000ft인 3가지 측정결과를 보면, 항공기 속도가 130kts일 경우에 80 및 100kts 조건과 비교하였을 때 외기온도 1~4℃ 차이가 있지만 승객실 ③,④,⑤의 온도가 위치에 따라 6~15℃ 정도로 낮음이 확인되었다. 승객실 난방성능 온도 요구조건(0℃ 이상)은 만족하였지만 외기온도가 영하 15℃인 점을 감안한다면 영하 00℃일 경우에는 요구조건을 만족하지 못 할

것으로 예측되었다. 이러한 현상의 원인은 플래퍼밸브 플랩의 틈새를 통해 외부공기가 유입되어 조종실 및 승객실 온도를 감소시켰기 때문이다. 결국 플래퍼밸브의 기밀성 부족으로 인하여 차후 조종사 및 병력의 동계 작전운용능력 저하가 발생할 가능성이 있는 것으로 검토되었다.

외부공기 유입에 대한 고장탐구 결과는 다음과 같다. 환경제어패널을 통해 공기선택모드를 실내공기(Cabin Air)로 선택 시 외부공기는 차단되어야 한다. 그러나 플랩(Flap)의 구조적인 문제로 인하여 틈이 생기고 그 틈을 통해 찬 외부공기가 유입되어 엔진이나 APU를 통해 들어오는 공기와 섞여 공급되는 난방용 공기(Mixing Air)의 온도가 감소하는 현상이 발생한 것이다. 이러한 현상은 플랩을 이동시키는 선형작동기 공차의 영향 때문이었다. 설계상 선형작동기의 Push - Pull Rod 작동공차는 약 ±0.5mm로 플랩의 작동 각도 공차를 ±1° 범위 내에서 이동시킨다. 하지만 가공 및 장착공차 누적 시 최대 4~5° 크기의 플랩이 열릴 수 있는 가능성이 있다. 장착상태에서 손으로 살짝 밀어도 유격에 의한 플랩의 움직임이 확인되었다. 또한 유격 완화를 위해 과도하게 리깅할 경우 선형작동기 모터 Jamming 현상으로 인한 과열 및 손상이 발생할 가능성이 있었다.

Figure 8은 플랩의 작동각도(A)에 따른 공기흡입덕트 사이의 거리(X) 나타내 주고 있다. 각도가 0~5° 로 변화할 경우 최소 1.35mm에서 최대 14.17mm까지 넓어질 수 있으며 그에 따라서 실내공기(Cabin Air)를 선택했음에도 외부공기가 유입되어 온도의 감소가 발생함을 알 수 있었다.

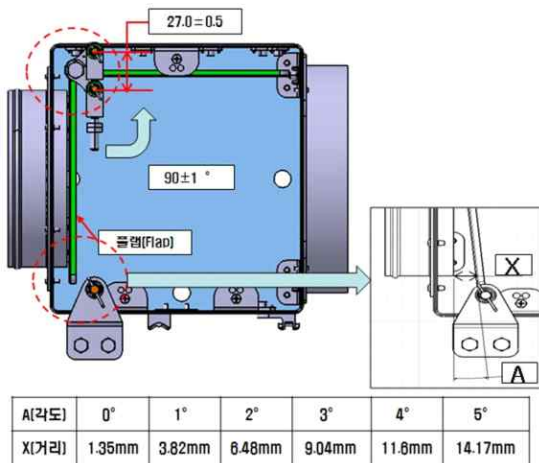


Fig. 8. Measure Value of Flap Angle and Distance

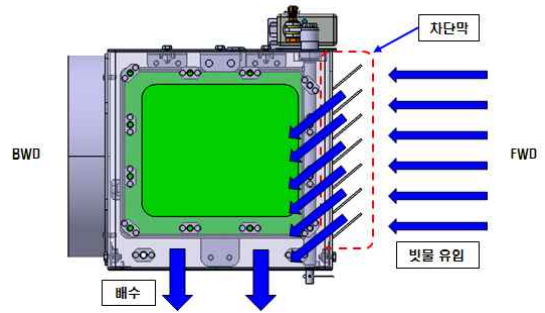


Fig. 9. 1st modified Flapper Valve

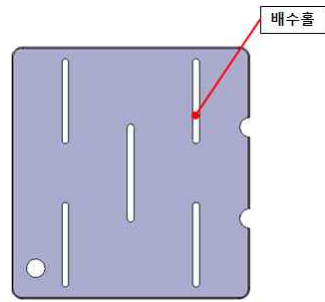


Fig. 10. Shape of Bottom Plate

2.4 설계 개선 검토

2.4.1 수분유입 개선(1차 개선)

수분유입을 막기 위하여 기존의 공기흡입구 덕트를 제거하고 플래퍼밸브의 형상을 Fig. 9와 같이 변경하였다. 플래퍼밸브를 통해 수분이 유입되므로 흡입구 차단막을 사용하여 수분이 내부로 들어오지 않고 바닥면으로 떨어지도록 하였다. 외부로 떨어진 수분은 전방동체의 배수홀을 통해 외부로 배출되게 하였다. 차단막을 통해 내부로 들어온 수분에 대해서는 Fig. 10과 같이 5개의 배수홀을 통해 배출되도록 형상을 설계하였다.

2.4.2 기밀성 개선(2차 개선)

플래퍼밸브 1차 개선을 통해 수분유입을 감소시켰으나 실내공기(Cabin Air) 선택 시 바닥면 배수 홀에서 외부공기의 유입이 발생하였다. 추가적으로 기밀성을 개선하기 위하여 플랩의 제어 방식과 바닥면 배수 홀 수정방안을 검토하였다.

플랩의 제어방식은 기존의 Push-Pull Rod형식에서 Fig. 11과 같은 기어트레인형식으로 변경하였다. 이를 통해 제어형상을 단순화 할 수 있고 가공품에 대한 누적공차를 줄일 수 있어 정교한 제어가 가능하게 되었다. 추가적으로 리그시험을 통하여 누적공차에 의한 간격이 발생하는지를 시

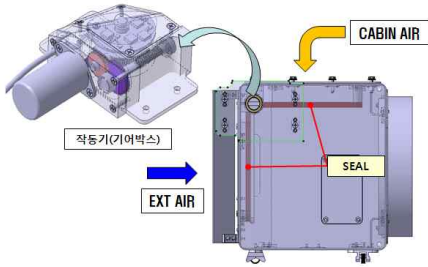


Fig. 11. Gear Box (Top view)

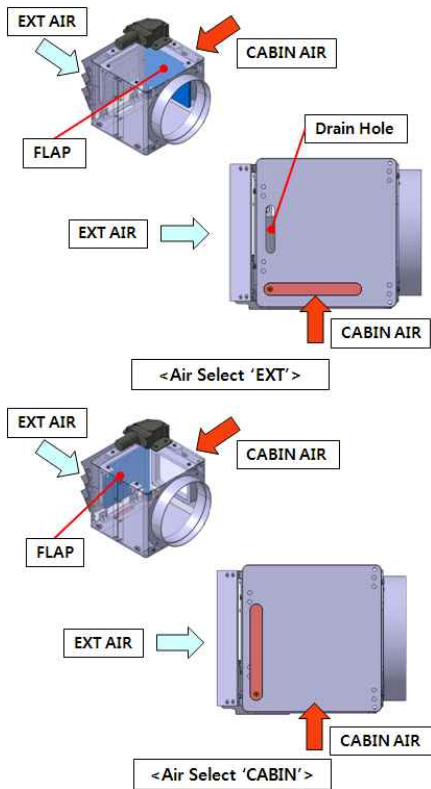


Fig. 12. 2nd modified Flapper Valve (Side & Bottom View)

힘하였다. 외부로부터 공기를 주입시켜 플랩이 열리고 닫혀있는 경우에서 공기 유속을 측정하였다. 플랩이 열려있는 경우는 유속이 1.66 m/s 였지만 플랩이 닫힌 경우는 유속이 0 m/s를 나타내었다. 이를 통해 개선제품은 Seal과 밀착이 되어 플랩자체가 움직이지 않음을 확인하였고, 기밀성이 향상되었음을 알 수 있었다.

바닥면 배수 홀 형상 수정은 Fig. 12와 같이 플랩과 바닥면 아래에 위치한 배수홀 덮개를 연결시켜 플래퍼밸브와 함께 이동할 수 있도록 제

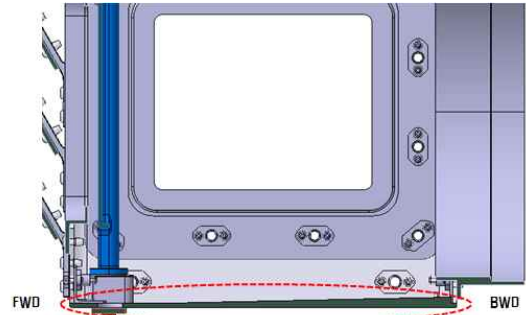


Fig. 13. Bottom Slope (Side View)

작하였다. 외부공기(Ext Air) 선택 시 플랩과 배수 홀이 열리고 외부공기가 들어오게 된다. 실내 공기(Cabin Air) 선택 시 플랩과 배수 홀이 닫히고 공기가 내부 순환하게 된다.

형상변경을 통해 중량 30g을 감소하였다. 이는 기존에 플래퍼밸브 전방에 장착되었던 흡입구 덕트와 블라켓을 삭제하였기 때문이다. 변경 전 중량은 2.319kg이었으나 불필요한 부품을 삭제하고 나니 2.289kg이 되었다. 추가적으로 플래퍼밸브 내부에 수분유입이 발생할 경우를 대비해 Fig. 13과 같이 하부 면에 기밀기를 주어서 차단막에 가까운 1개의 배수 홀을 통해 수분이 배출되도록 하였다.

2.5 설계 개선 검증

수분유입과 기밀성 강화를 위해 설계 변경한 플래퍼밸브는 Fig. 14와 같다. 시제품의 환경시험을 수행하였고[8], 난방성능 검증을 위하여 저온 비행시험 결과[9,10]를 통하여 개선 전 제품 대비 기밀성을 개선하였을 때의 온도결과를 비교를 하였다. 저온시험은 국내에서 영하 23℃까지 확인하였으나 그 이하의 온도(영하 00℃까지)에 대

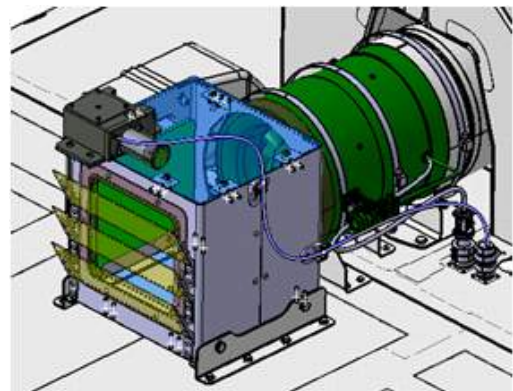


Fig. 14. Improved Flapper Valve

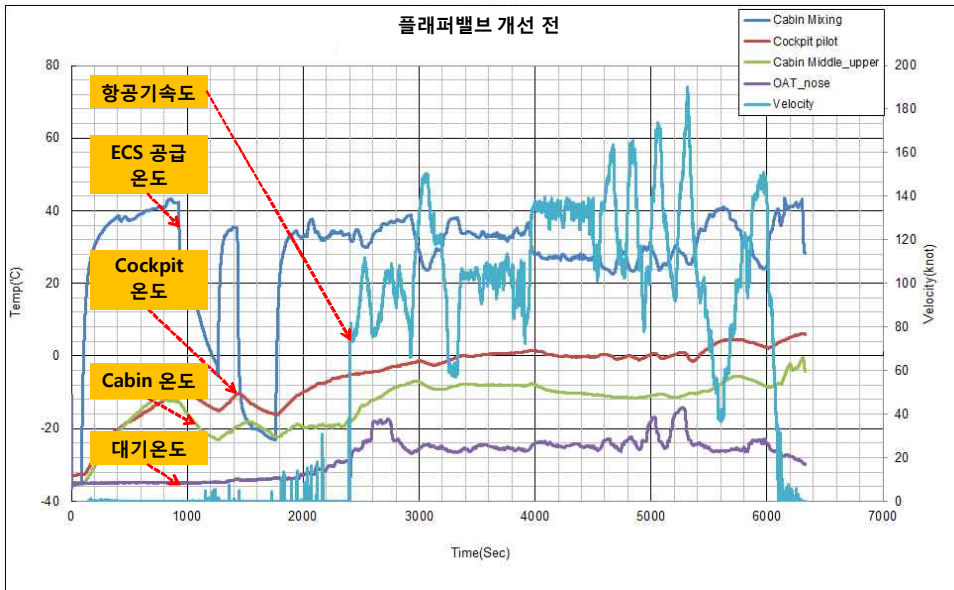


Fig. 15. Flight Test Result(Before Improvement)

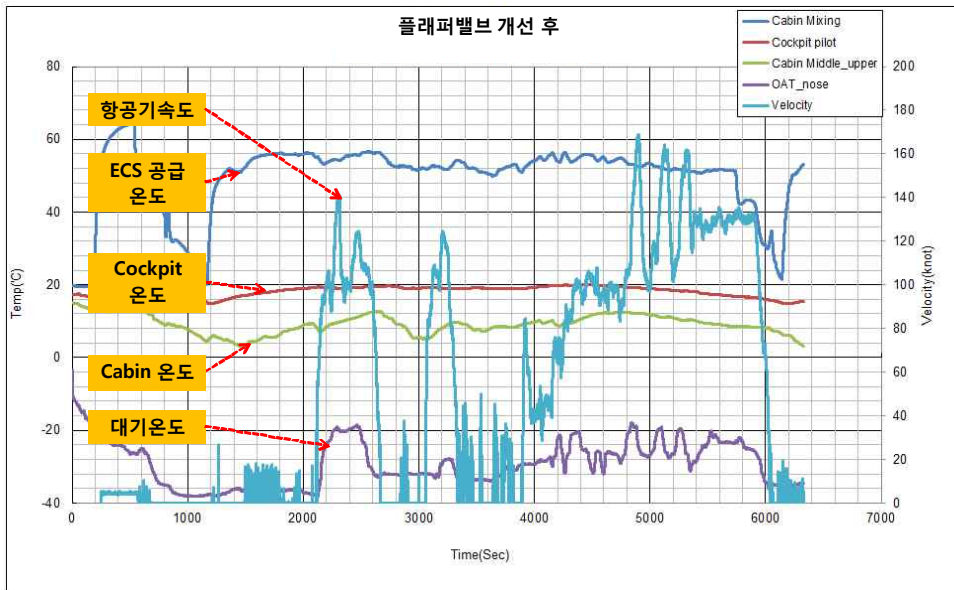


Fig. 16. Flight Test Result(After Improvement)

해서는 국외 극지방으로 항공기를 전개하여 실환경 비행시험을 실시하였다. 장소는 미국 알래스카주 페어뱅크스(Fairbanks) 국제공항에서 시험평가가 하였다.

환경제어계통 난방시험을 위하여 외부온도(Outside Ambient Temperature, 이하 OAT), 조종실온도(Cockpit Temperature), 승객실온도(Cabin Temperature), ECS 공급온도(ECS Supply

Temperature)를 측정하여 난방성능을 확인하였다. 조종실 및 승객실 온도는 조종사 및 승객실 각각의 공기토출구 중간지점에서 온도를 측정하였고 ECS 공급온도는 조종실과 승객실로 공기를 분배하는 지점에서 측정하였다. 참고로 ECS 공급온도는 플랩이 닫힐 경우 엔진과 APU로부터 유입되는 블리드 에어와 항공기 내부 온도와 혼합하여 형성되는 온도이다.

Table 3. Temperature Comparison

구분	개선 전	개선 후
외부 온도(OAT)	-36 ~ -15℃	-37 ~ -20℃
ECS 공급 온도 (Cabin Mixing Temperature)	25 ~ 40℃	40 ~ 58℃
조종실 온도 (Cockpit Temp.)	-8 ~ 0℃	16 ~ 20℃
승객실 온도 (Cabin Temp.)	-20 ~ -8℃	5 ~ 12℃

Figure 15는 설계개선 전 저온 비행시험결과이다. 외기온도 -36~-15℃에서 조종실은 -8~0℃, 승객실은 -20~-8℃를 나타내고 난방성능 요구조건(15℃, 0℃이상)보다 낮은 온도로 유지되었음을 확인할 수 있다.

외부공기 유입을 차단한 결과 Fig. 16과 같은 내부온도 그래프를 얻을 수 있었다. 외기온도 -37~-20℃에서 조종실은 16~20℃, 승객실은 5~12℃를 나타내고 난방성능 요구조건(15℃, 0℃이상)을 만족하였다. 또한 ECS 공급온도를 보면 40~58℃로 측정되었는데 이는 개선 전(Fig. 15 참조) 온도(25~40℃)와 비교하였을 때 약 20℃의 온도 상승이 된 것이다. 이러한 개선활동을 통하여 Table 3과 같이 조종실과 승객실 온도가 약 20℃ 정도 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

III. 결 론

KUH-1의 수분 유입현상 및 겨울철 난방 성능 저하 현상을 개선하기 위한 설계변경 및 성능시험 결과는 다음과 같다.

기밀성 향상을 위해 기존 플래퍼밸브의 선형 작동기를 기어트레인 형식으로 변경하면서 플랩의 정교한 제어가 가능하게 되었다. 수분 유입을 막기 위해 전방 흡입구 쪽에는 3개의 수분차단막과 내부 배수 홀을 설치하여 외부로부터 수분이 송풍기로 직접 유입되는 것을 차단하고, 배수 홀 덮개를 플랩과 연동하여 기밀성도 향상이 되었다. 설계변경은 저온시험을 통하여 검증하였으며 확인결과 조종실 및 승객실의 온도가 증가하는 결과를 얻었다. 추가적으로 덕트와 블라켓을 삭제하여 부품 및 중량 감소를 이루었다.

이러한 설계개선을 통하여 환경제어계통 난방 작동 시 조종석과 승객실의 난방 요구도를 만족하였고 우천 시 수분유입을 방지하는 결과를 얻

었다. 더 나아가 파생형헬기사업에도 적용할 수 있는 회전익 항공기 공기흡입 설계기술을 확보하게 되었다.

후 기

본 논문은 수리온 양산 사업의 일환으로 수행되었습니다. 관련 기관의 도움에 감사드립니다.

References

- 1) Jin-Suk Yang, Y.J. Yu, "Development of A Simple Cycle Type Aircraft Environmental Control System" KSAS 27(4), 1999.06
- 2) Kyung-II Moon, J.H. Gho, Y.J. Oh, M.H. Kim, J.M. Ahn, J.B. Yu, "Heating Load Analysis for the Environmental Control System" KSAS 2007 Autumn Conference (07-3117)
- 3) Kyung-II Moon, M.H. Kim, M.Y. Yu, "Transient Heating Performance Analysis for the KUH Environmental Control System" KSAS 2008 Spring Conference (08-1220)
- 4) Kyung-II Moon, S.B. Lee, J.M. Ahn, M.Y. Yu, C W Heo, "Performance Analysis and Rig test results for the Environmental Control System Ventilation" KSAS 09 Autumn Conference (09-2704)
- 5) Kyung-II Moon, J.H. Gho, Y.J. Oh, J.M. Ahn, J.H. Jung, S.B. Lee, M.Y. Yu, "Pressure Drop Analysis for the KUH Environmental Control System" KSAS 2008 Spring Conference (08-1219)
- 6) Kyung-II Moon, Y.J. Oh, J.M. Ahn, S. Choi, J.D. Lee, "Flow Balancing Analysis Result for the Environmental Control System" KSAS 2011 Autumn Conference
- 7) KDS 4140-4002, "Blower, Ventilating for KUH", Defense Acquisition Program Administration, Mar. 2013
- 8) MIL-STD-810F "Environmental Test Methods"
- 9) 88PR0136 "Flight Test Report for KUH Cold Weather Test" Korea Aerospace Industries, LTD, April. 2013.
- 10) Jik-Su Kim, J.H. Chang, B.S. Choi, I.C. Ahn, J.S. Chang, Y.J. Yun, "The Cold Weather Test of KUH(Surion)" KSAS 2013 Spring Conference