

다기능레이더 공조시스템 공기 순환구조 변경에 따른 드레인 성능 개선 연구

이강호

한화시스템 감시정찰사업부문 레이더연구소

A study on the drain performance improvement following change of the air circulation structure in air conditioner system, Multi Function Radar

Gang-Ho Lee

Radar R&D Center in ISR Sector, Hanwha Systems co.

요약 현대 첨단 무기체계에서 가장 중요한 시스템 중 하나는 공조시스템이다. 레이더와 같은 고전력 소모 장비는 많은 열이 발생하기 때문에 적정온도를 유지시키기 위해 공조시스템은 필수이다. 이 공조시스템에는 고온 다습한 하절기에 응결수가 다량 발생하는데 이때 적절하게 배출하는 드레인 성능은 공조시스템의 중요한 요소이다. 본 연구를 통해 OO 다기능레이더의 승무원용 공기조절기에서 발생한 응결수 넘침 현상에 대해 이론적, 실험적 탐구를 통해 드레인 성능개선 방안을 찾아냈다. 현상의 주요 원인은 토출용 팬이 동작할 때 발생하는 흡입 정압이 아래로 작용하는 응결수 무계에 의한 압력보다 더 높아 배수구로 배출되지 않는 것이었다. 흡입 정압을 낮추는 것이 원천적인 해결책이었으나 흡입 정압을 낮출 경우 냉방성능도 동시에 낮아질 수 있으므로 실험을 통해 냉방성능 유지와 동시에 응결수 넘침현상을 개선시키는 흡입 정압의 조건을 도출해냈다. 그리고 최종적으로 공기 순환구조 모델 상세설계를 통해 드레인 성능 개선을 이루어냄으로써, 본 연구는 향후 무기체계 공조시스템의 드레인 구조 설계 기준 확립에 기여할 것으로 기대된다.

Abstract The air conditioning system is one of the most critical systems in modern high-technology weapons. High-power consumption equipment, such as radar, generates considerable heat. Hence, an air conditioning system is essential to maintaining an appropriate temperature. In this air conditioning system, a large amount of condensate is generated during the hot and humid summer season, and the proper drain discharge is an important factor. This study developed a way to improve the drain performance through theoretical and experimental exploration of the condensate overflow phenomenon in the air conditioner of a radar. The main cause of the phenomenon was that the static suction pressure generated when the discharge fan was operated was higher than the pressure caused by the weight of the condensate acting downward, and it was not discharged to the drain. Lowering the static suction pressure was the fundamental solution, but lowering the static suction pressure could also lower the cooling performance. An experimental study found the lowest static suction pressure that maintains the cooling performance, and theoretical analysis found the maximum value to derive the optimal conditions for improving the drain performance. Finally, by improving drain performance through a detailed design of the air circulation structure model, this study is expected to contribute to establishing drain structure design standards for weapon air conditioning systems.

Keywords : Radar, Air Conditionner, Drain, Static Pressure, Air Circulation Structure Modeling

*Corresponding Author : Gang-Ho Lee(Hanwha Systems co.)

email: gh14.lee@hanwha.com

Received November 2, 2023

Accepted February 6, 2024

Revised November 21, 2023

Published February 29, 2024

1. 서론

현대 첨단 무기체계에서 가장 중요한 시스템 중 하나는 바로 냉각시스템이다. 레이더와 같이 많은 전력을 소모하는 첨단 장비들은 작동시 과량의 열을 발생시킨다. 야전에 배치되는 무기체계 특성상 고온, 저온, 다습 등 다양하고 열악한 환경조건에 노출되므로 장비의 내구도 및 성능을 유지하기 위해서는 항온, 항습을 위한 냉각시스템이 매우 중요하다. 또한 이 공조시스템에는 냉방장비 구조상 고온다습한 환경에서 응결수가 발생할 수밖에 없는데 이를 적절하게 배출하는 드레인 성능은 공조시스템의 중요한 요소이다.

본 연구의 대상 장비인 OO 다기능레이더에는 ‘승무원용 공기조절기’라고 불리는 공조 시스템이 존재하며, 운용시 승무원실 내부의 온/습도를 일정하게 유지시킨다. 승무원용 공기조절기는 좁은 공간에 압축기, 응축기, 팬, 드레인 판 등의 구성품들이 집약적으로 모여있는 소형 공조 시스템으로 승무원실의 실내공기를 공조덕트를 통해 흡입하고, 냉매의 상태변화에 따라 냉각된 공기를 다시 공조덕트를 통해 토출하는 방식으로 설계되어 있다. 승무원용 공기조절기는 집약된 구조상 공기 토출용 팬과 응결수를 모으는 드레인 판이 바로 인접해있는데 토출용 팬으로 흡입되는 강한 바람으로 형성된 정압에 의해 드레인 판의 응결수가 배출되지 못하고 넘치는 현상이 발생했다. 그로인해 응결수는 승무원실 내부로 역류하면서 여러 전자 장비들이 수분에 노출되는 상황이 발생했다.

따라서 본 연구는 OO 다기능레이더의 공기순환 구조 분석을 통해 응결수의 드레인 판 넘침현상에 대한 원인을 찾고, 2가지 실험을 통해 냉방성능 유지와 동시에 응결수 넘침 현상을 개선시킬 수 있는 흡입 정압 조건을 도출하여 드레인 성능을 개선시킬 수 있는 최적의 해결책을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 승무원용 공기조절기 기능 및 형상

승무원용 공기조절기는 OO 다기능레이더 통제유닛 승무원실의 온/습도를 일정하게 유지시켜, 외부의 다양한 환경에서도 일정한 운용환경을 제공하는 장비이다. 온도, 습도센서를 탑재하여 외부 기온변화에 대응해서 자체 온도 프로파일에 따라서 냉방 또는 난방이 가동되

며, 상황에 따라서 송풍 및 제습 모드로 동작하기도 한다. 승무원용 공기조절기의 형상은 Fig. 1과 같다.

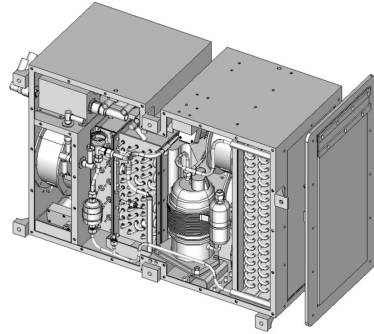


Fig. 1. Shape of air conditioner, crewman in radar

2.2 공기조절기 구조 및 공기순환 구조

2.2.1 승무원용 공기조절기 구조

상용 공조 시스템의 경우 열을 외부로 방출시키는 실외기, 냉각된 공기를 불어넣어 주는 실내기와 같이 물리적으로 구분되지만, OO 다기능레이더 승무원용 공기조절기는 Fig. 2와 같이 응축기, 응축기 팬, 압축기와 같은 실외기용 구성품과 제어용 회로판, 증발기, 발열기, 토출용 팬, 드레인 판과 같은 실내기용 구성품이 한 곳에 집약된 형태다.

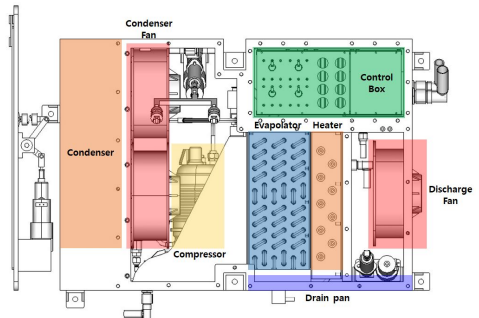


Fig. 2. Structure of air conditioner, crewman

2.2.2 공기 순환구조

OO 다기능레이더 통제유닛은 장비실과 승무원실로 구분되며 승무원실의 공기 유동 경로는 Fig. 3의 파란색 화살표와 같다. (통제유닛 셸터 벽면 흡입구→공조 덕트→승무원용 공기조절기→공조덕트→통제유닛 승무원실 공기 토출구)

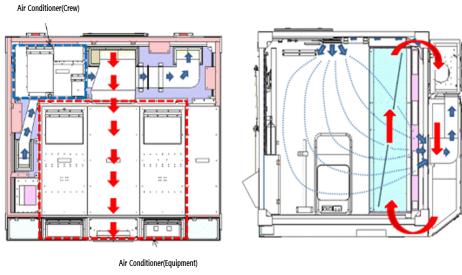


Fig. 3. Air circulation path in radar

2.3 드레인 문제현상

OO 다기능레이더 승무원용 공기조절기를 다습한 환경에서 장시간 운용했을 때 드레인 판에서 응결수가 넘치는 현상이 발생하였다. 승무원용 공기조절기의 증발기(Evaporator)는 냉방 동작시 냉매가 액체에서 기체로 증발되면서 주변의 열을 흡수하게 된다. 이 과정에서 증발기 표면에는 습기가 응결되어 발생한 응결수가 맺히는데 하절기와 같이 고온 다습한 환경일 경우 다량의 응결수가 발생하며, 증발기 하부에 위치한 드레인 판에 모이게 된다. 이때 드레인이 정상적으로 되지않을 경우 응결수가 지속 축적되어 드레인 판의 용량을 넘길 경우 넘치게 되는 것이다.

3. 드레인 문제 원인분석

3.1 원인분석

승무원용 공기조절기가 운용될 때 토출용 팬이 작동하여 강력한 바람이 바람이 불어나가게 되는데 이때 유체역학에 따르면 흡입 정압 발생하게 되며, 이 정압이 드레인 판에 모여있는 응결수 하중에 의한 압력보다 클 경우 응결수는 배수구로 배출되지 못하고 드레인 판에 계속 차오르게 된다. 드레인 판의 크기와 높이는 Fig. 4와 같다[1].

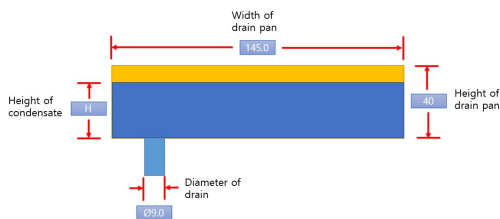


Fig. 4. Size of drain plate

여기서 응결수 하중에 의한 힘은 Eq. (1)과 같고, 드레인판 면적에 작용하는 압력은 Eq. (2)와 같다.

$$F = mg = V\rho g = AH\rho g \quad (1)$$

$$P = \frac{F}{A} = H\rho g \quad (2)$$

- F = Power
- P = Pressure
- m = Mass
- g = Gravitational acceleration
- V = Volume
- A = Area of drain plate
- H = Height of drain plate
- ρ = Density of water

위 수식과 같이 응결수 하중에 의한 압력은 응결수 높이에 비례하고, 토출용 팬이 동작할 때 위로 작용하는 흡입 정압보다 응결수가 축적되며 아래로 작용하는 하중에 의한 압력이 높아졌을 때 응결수는 비로소 배수구로 배출되게 된다. 여기서 흡입 정압이 응결수 하중에 의한 압력보다 높을 경우 응결수가 배출되지 못한다는 것을 추론할 수 있다.

4. 드레인 성능 개선 연구

앞서 언급한 바와 같이 드레인 문제의 원인은 높은 흡입 정압인 것으로 추정된다. 따라서 흡입 정압을 낮추는 것이 드레인 성능 개선에 원천적인 해결책이다. 그러나 흡입 정압을 낮추기 위해서는 토출되는 바람의 세기를 약하게 해야 하는데 이는 냉방성능 약화와 직결된다.

따라서 냉방성능 측정실험을 통해 승무원용 공기조절기의 설계 요구 냉방성능을 만족시키는 최저 흡입 정압을 찾고, 흡입 정압을 낮추기 위한 유량조절판의 최적 모델을 실험을 통해 도출하였다.

4.1 공기 순환구조 개선모델

승무원용 공기조절기 토출용 팬에서 나오는 공기는 2개의 공조덕트를 거쳐 승무원실로 전달된다. Fig. 5와 같이 흡입 정압을 낮추기 위하여 위에서 언급된 2개의 공조덕트 접합부에 공기흐름을 약화 시킬 유량 조절판을 추가하는 모델을 설계하였다. 유량 조절판은 중앙에 여러 개의 홀을 뚫어 공기의 흐름이 가능하도록 만들어진 구조물이며, 실험을 통해 최적의 홀 개수를 정하고자 한다.

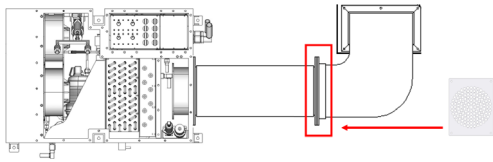


Fig. 5. Idea of air circulation structure to improvement

4.2 냉방성능 측정실험

4.2.1 실험방법

승무원용 공기조절기의 설계 규격상 냉방성능은 3kW 이상으로 규정되어 있다.

본 실험을 통해 정압별 냉방성능을 계산하여 규격을 만족하는 최저 흡입 정압을 찾아냈다. 이때, 흡입 정압은 Fig. 6과 같이 토출구 크기 조절을 통해 조절했고, 냉방 성능 산출은 국가표준 KS C 9306에서 정의한 냉방성능 산출식 Eq. (3)을 이용했다.



Fig. 6. Experiment of measuring cooling performance

$$\Phi_{cr} = \frac{Q_{vr}(h_{a1} - h_{a2})}{\nu_n(1 + x_n)} \Phi_{t1} \quad (3)$$

- Φ_{cr} = Cooling capacity
- Q_{vr} = Indoor air flow measurement value
- h_{a1} = Enthalpy of indoor intake air
- h_{a2} = Enthalpy of indoor air discharge
- ν_n = Specific volume of air
- x_n = Absolute humidity of air
- Φ_{t1} = Heat from measurement equipment

4.2.2 실험결과

실험 결과는 Table 1과 같다. 다음과 같은 실험 결과를 통해 흡입정압 249 Pa 이상에서는 승무원용 공기조절기 냉방능력 규격인 3kW를 만족하는 것을 확인할 수 있었고, 249Pa 미만에서는 냉방능력이 3kW 미만으로 떨어질 것이라고 추론할 수 있다[2].

Table 1. The result of measuring cooling performance

Measurements by static pressure	Static pressure(Pa)		
	224	249	486
Suction temperature(℃)	34.4	34.4	34.4
Suction humidity(%)	41.5	41.0	41.5
Discharge temperature(℃)	22.2	23.4	22.2
Discharge humidity(%)	64.3	71.8	64.3
Discharge static pressure(Pa)	374.0	541.6	465
Air volume(CMH)	400	400	400
Cooling performance(kW)	2.8	3.1	3.1

4.3 공기 순환구조 모델 상세설계

승무원용 공기조절기 드레인 판의 높이는 Fig. 4와 같이 40mm이다. 응결수의 높이가 40mm를 넘기는 순간부터 물이 넘치게 되므로, 본 연구에서는 응결수가 드레인판에 축적되는 최대치를 드레인판 높이보다 낮은 30mm로 정했다. 이 높이를 Eq. (2)에 대입하면 흡입 정압 최대치가 294 Pa라는 사실을 알 수 있다. 따라서 위 실험 결과와 이론적 계산 값을 대입했을 때 드레인 성능 개선조건은 다음과 같다.

$$249 \leq P \leq 294 \quad (4)$$

P = Suction pressure

4.3.1 실험방법

이번 실험에서는 Fig. 7과 같이 가운데 금속 판 가운데에 공기가 지나갈 수 있는 홀의 갯수가 각기 다른 4가지 유량 조절판 구조를 설계하여, Fig. 5의 위치에 유량 조절판을 적용했을 때 유형별로 정압이 어떻게 변화하는지 측정하였다.

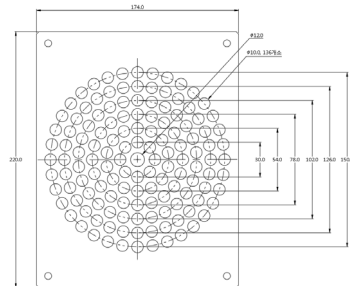


Fig. 7. Flow control plate

4.3.2 실험결과

4가지 유량 조절판을 적용하여 정압 측정 실험을 수행한 결과 홀의 개수와 흡입 정압의 크기는 비례한다는 것을 확인할 수 있다. Table 2의 실험결과에서 Eq. (4)를 만족하는 최적의 구조는 홀의 개수가 51개인 모델임을 이번 실험을 통해 확인했다[3].

Table 2. The result of measuring suction pressure

Number of hole on flow control plate	Suction static pressure (Pa)	Discharge static pressure (Pa)
None	516 ~ 540	456 ~ 448
67	365 ~ 371	503 ~ 501
59	337 ~ 342	511 ~ 512
51	291 ~ 301	524 ~ 527
43	260 ~ 269	537 ~ 534

5. 결론

본 연구에서는 OO 다기능레이더의 공조 시스템인 승무원용 공기조절기에서 발생한 응결수 넘침 현상을 이론적, 실험적 탐구를 통해 드레인 성능개선 방안을 찾아냈다.

문제현상의 주요원인은 승무원용 공기조절기의 토출용 팬이 동작할 때 발생하는 흡입 정압이 아래 방향으로 작용하는 응결수 무게에 의한 압력보다 더 높아 배수구로 배출되지 않는 것이었다. 흡입 정압을 낮추는 것이 드레인 성능 개선을 위한 원천적인 해결책이었으나, 흡입 정압과 냉방성능은 비례관계에 있어 흡입 정압 감소는 냉방성능 약화를 가져오는 결과를 초래하게 된다. 따라서 트레이드오프 관계인 흡입 정압과 냉방성능 사이에서 드레인 성능 개선시킬 수 있는 중간 지점을 찾는 것이 본 연구의 목표였다.

우선, 승무원용 공기조절기 설계 규격인 냉방능력 3kW를 만족하는 최저 흡입정압을 시험을 통해 찾았고, 유체역학 방정식을 통해 최대 흡입정압을 계산하여 설계한 최적의 드레인 배출조건인 Eq. (4)를 도출해냈다. 그리고 이 조건을 만족시키는 공기순환 구조 모델링을 통해 최종적으로 드레인 성능 개선을 이루어냈다.

본 연구의 개선사례를 통해 향후에 개발될 무기체제 공조시스템의 드레인 구조 설계 기준 확립에 기여할 것으로 기대된다[4].

References

- [1] Gormly, Michael, Swaffield, John. A, "Active pressure control devices and vent systems for building drainage and vent systems", *The magazine of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol.39, No.9, pp.41-51, Sept. 2010.
- [2] H. R. Kim, "Air conditioning blower and related specifications", *The magazine of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol.29, No.9, pp.10-17, Sept. 2000.
- [3] B. C. Lee, *A Study on the Field Measurement Data for the Application of Proper Safety Factor for the Selection of Fan Static Pressure*, Master's thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea, pp.4-21, 2020.
- [4] G. H. Lee. "A study on the drain performance improvement following change of the air circulation structure in air conditioner system, Multi Function Radar", *Autumn conference of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.2, pp.812-815, Dec. 2022.

이 강 호(Gang-Ho Lee)

[정회원]



- 2014년 7월 : 부경대학교 전자공학과 (전자공학 학사)
- 2014년 7월 ~ 현재 : 한화시스템 선임연구원

<관심분야>

전기/전자, 신호처리기술, 레이더, 무기센서 및 제어