Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 25, No. 8 pp. 450-456, 2024

https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.8.450
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

안테나의 냉각 시스템을 통한 안전성 검토

김동윤, 이준혁, 허장욱*
국립금오공과대학교 기계공학과(항공기계전자융합전공)

Safety Review of Antenna with Cooling System

Dong-Yun Kim, Joon-Hyuk Lee, Jang-Wook Hur*
Department of Mechanical Engineering(Department of Aeronautics, Mechanical and Electronic Convergence Engineering), Kumoh Natinoal Institute of Technology

요 약 안테나는 전파를 발생시키고 수신하는 기능을 수행한다. 본 연구에서 분석한 안테나는 상단의 안테나 장치와 하단의 냉각판으로 구성되었고, 안테나장치는 3개의 부품으로 세분화되어 총 10개의 모듈로 이루어져 있다. 이 안테나의 전자제어 부품은 열이 집중되는 경향이 있어, 효과적인 냉각 시스템의 부재는 내부 열 분산 실패로 인해 부품의 성능 저하를 초래할 수 있다. 이를 방지하기 위해 시제품 제작 전에 안테나의 냉각 시스템이 적절히 구현되었는지를 검증하는 과정이 필수적이다. 본 연구에서는 ANSYS 프로그램을 사용하여 각 모듈의 발열 특성을 고려하여 격자를 형성하고, 이를 바탕으로 각 부품을 독립적으로 해석하여 최적의 격자 크기를 산출했다. 이 최적화된 격자는 전체 안테나 시스템의 열적 분석에 사용되어, 시스템의 열 관리 성능을 평가한다. 해석 결과, 각 부품과 전체 시스템의 온도가 안전 허용치 내에 있음을 확인할 수 있었고, 이는 실제 환경에서 안테나 시스템이 안정적으로 작동할 수 있음을 시사한다. 실제 환경에서의 추가 실험을 통해 신뢰성을 확인하는 연구가 필요하다는 제안을 포함하고 있으며, 이러한 해석 결과를 통해 냉각 필요성이 높은 다른 전자 장치에도 적용이 가능하며, 관련 연구와 제품 개발에 유용한 참고자료가 될 것으로 기대된다.

Abstract Antennas generate and receive radio waves. In this study, the analyzed antenna was composed of an antenna device at the top and a cooling plate at the bottom, with the antenna device subdivided into three parts, making up a total of ten modules. The electronic control components in this antenna tended to concentrate heat, which could lead to failure in dispersing internal heat and consequently degrading component performance without an effective cooling system. This can be prevented by verifying the proper implementation of the cooling system of an antenna before producing prototypes. In this research, the ANSYS program was used to form grids based on the heat generation characteristics of each module. From this, each part was independently analyzed to determine the optimal grid size. This optimized grid was then used for thermal analysis of the entire antenna system to assess its heat management performance. The analysis confirmed that the temperatures of the individual parts and the entire system were within safe limits, suggesting that the antenna system could operate stably in real-world conditions. Nevertheless, further experiments in actual conditions are necessary to verify reliability. This analysis result can also be applied to other electronic devices that require significant cooling and are expected to be useful for related research and product development.

Keywords : Antenna, Cooling System, Flow Analysis, Heat Dissipation, Temperature

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업임.
(IITP-2024-2020-0-01612)
*Corresponding Author : Jang-Wook Hur(Kumoh Natinoal Institute of Technology)
email: hhjw88@kumoh.ac.kr
Received May 20, 2024 Revised July 10, 2024
Accepted August 2, 2024 Published August 31, 2024

1. 서론

안테나는 전자파를 발산하고 수신하는 역할을 수행하는 장치로 전기 신호를 전자파로 변환하거나 반대로 변환하는 역할을 하며, 주파수 범위에 따라 다양한 형태와 크기로 설계되어 통신, 방송, 레이더 등 여러 분야에서 중요한 역할을 한다[1]. 이를 위해 안테나 내부에는 칩으로 표현되는 전자제어 부품이 밀집되어 있고, 칩의 수명은 설계 온도보다 10℃ 높일 때마다 칩의 수명이 50% 이상씩 감소한다고 알려지는 등 작동 온도에 영향을 크게 받는다[2]. 이로인해 안테나는 적절한 냉각 시스템의 작동에 의해 내부의 열을 분산하지 못할 경우 부품의 성능 저하 및 제품의 신뢰성에 영향을 미칠 것이므로, 안테나의 안전성을 보장하기 위해 설계간 냉각 시스템의 역할이 제대로 구현되었는지 검토해야 한다[3]. 이러한 안테나의 냉각 시스템은 안테나 장치와 냉각판 사이에 있는 팬과 공기 통로를 이용하여 공기의 순환을 통해 내부 온도를 적절히 유지하는 방법을 주로 적용하고 있다.

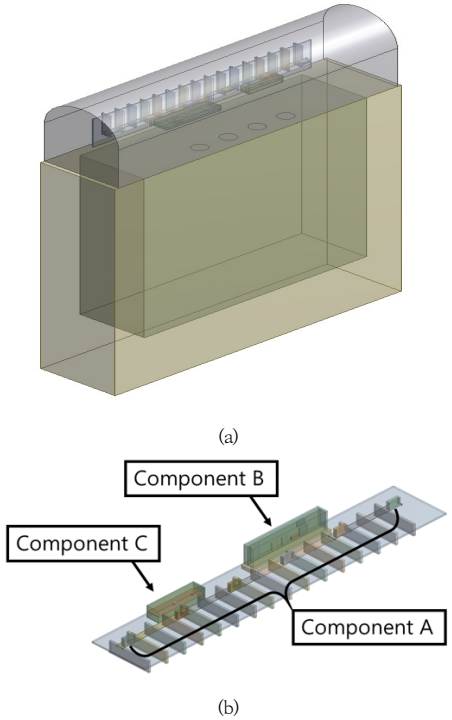


Fig. 1. Simplified system model
(a) Antenna model (b) Antenna device model

본 연구에서는 안테나 시스템을 해석할 때 각 모듈이 다양한 발열량을 가지는 것을 고려하여 격자를 형성해야 하므로, 각 부품에 대한 독립적인 해석을 실시하여 일정 온도에 수렴하는 적절한 격자를 파악하였으며, 해당 격자를 적용하여 전체 시스템을 해석한 후 허용 온도 범위 만족 여부를 확인하여 실제 운용 가능성을 검토 및 평가하였다[4].

2. 부품 모델 해석

2.1 부품 모델 특징

안테나 형상은 Fig. 1과 같으며, 상단이 안테나 장치이고, 하부에 냉각판이 있다. 안테나 장치는 Fig. 2와 같이 3개의 부품(A, B, C)로 세분할 수 있고, 부품 내부에는 모듈을 포함하고 있다[1,5].

부품 A는 Fig. 1(b)에 나타낸 바와 같이 구조체의 중간부에 동일한 크기로 나란히 위치하며,

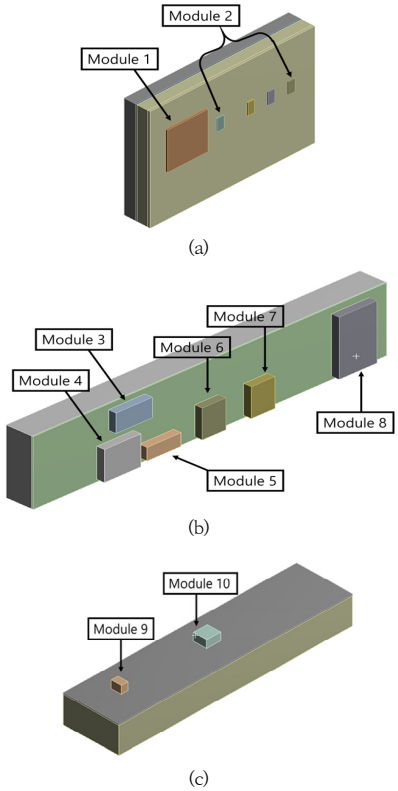


Fig. 2. Simplified Component model
(a) Component A (b) Component B (c) Component C

Table 1. Component properties

Type	Density (kg/m^3)	Specific heat capacity(J/kg·K)	Axial thermal conductivity(W/m·K)	Radial thermal conductivity(W/m·K)
Component A	2268	1167	0.26	24.7
Component B	2145	1136	0.25	16.5
Component C	2391	1073	0.28	32.7

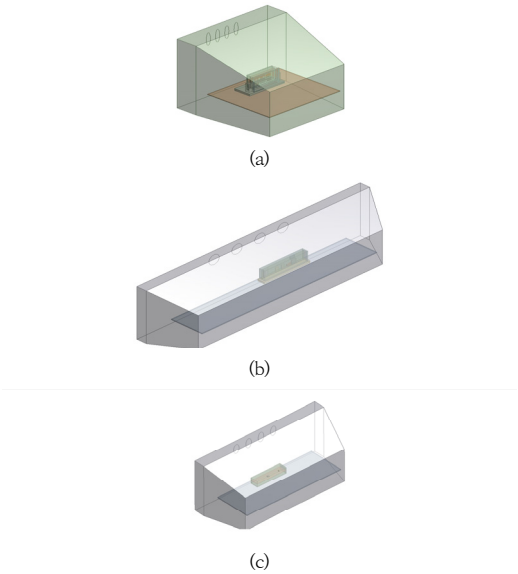


Fig. 3. Component boundary condition
(a) Component A (b) Component B (c) Component C

2종류의 모듈로 이루어져 있다. 부품 B는 부품 A의 우측 뒤편에 위치하며, 6개의 모듈을 가지고 있다. 또한, 부품 C는 좌측 뒤편에 있으며, 2개의 모듈이 부품 A, B와는 다른 방향으로 배치되어 있다. PCB는 다층 기판으로 구성된 이방성 구조이므로 이를 반영하였고, 재료의 성질은 Table 1과 같다.

2.2 부품 해석 절차

각 부품의 모듈에 대한 적절한 격자를 도출하기 위해 부품 A, B, C에 대하여 독립적인 해석을 진행하였고, 모델의 형상은 Fig. 3과 같이 구성하였다. 모델링은 ANSYS Workbench의 Geometry를 사용하여 3D 형상을 제작하였으며, 다양한 설계 조건에 맞게 모델을 최적화하였고, 이후 Mesh에서 부품의 격자 크기를 다양하게 적용하여 세밀한 해석이 가능하도록 격자망을 생성하여 각 부위의 정확한 분석이 가능하도록 하였다.

Table 2. Volumetric heat source

Type		Volumetric heat dissipation (W/m^3)
Component A	Module 1	625,000
	Module 2	46,897,547
Component B	Module 3	82,021
	Module 4	20,341
	Module 5	52,832
	Module 6	367,454
	Module 7	252,625
	Module 8	103,870
Component C	Module 9	45,461
	Module 10	41,145

생성된 격자망 파일을 유동 해석 전문 소프트웨어인 ANSYS Fluent로 가져왔고 해석을 하기 전, 필요한 유체의 성질, 물성치 및 경계 조건 등을 입력하였다. 이때 물성치는 유체의 밀도, 열전도율 등의 특성을 포함하며, 경계 조건은 유체가 들어오고 나가는 입출구의 속도, 압력, 온도 등을 지정하였다. 부품에 속한 모듈의 경계조건은 Table 2와 같고, 모델의 바깥면은 냉각판 온도인 50℃로 설정하였다. 공기의 대류가 원활히 이뤄지기 위해 안테나 형상을 고려하여 중력을 입력하였으며, 발열량은 각 소자의 발열을 부피로 나누어 계산하였고, 이러한 입력 데이터를 바탕으로 Fluent를 통해 유체의 흐름, 열 전달 등을 시뮬레이션하였다[4,6,7].

2.3 부품 해석 결과

모서리의 격자를 5mm 수준에서부터 천천히 감소하여 일정한 온도에 수렴하도록 반복 해석을 진행하였고, 부품의 최대 온도에 대한 수렴 그래프는 Fig. 4와 같다. 부품 A는 격자 크기가 0.25mm가 되었을 때부터 온도가 75℃에 수렴하였고, 부품 B는 격자 크기가 1.5mm부터 83℃ 정도의 온도를 유지하고, 부품 C는 격자 크기가 1mm에서 69℃에 안정화되었다.

3. 시스템 모델 해석

3.1 시스템 모델 특징

안테나 시스템은 63℃에 해당하는 외부의 공기와 맞닿아 있으며, 안테나 상단의 장치에 있는 모듈의 발열을 냉각시키기 위하여 하단에 50℃의 냉각판이 존재한다. 안테나와 냉각판 사이에 팬과 공기 통로가 있는데, 정면을 기준으로 좌측의 팬이 안테나에서 냉각판으로 공기를 흡입하는 역할, 우측의 팬이 냉각판에서 안테나로 공기를 배출하는 역할을 하고, 통로와 팬들이 중앙에 모여있어 공기가 순환할 수 있도록 도와 온도를 일정하게 유지한다.

3.2 시스템 해석 절차

경계조건은 Fig. 5처럼 안테나 형상의 바깥면은 63℃로 고정하였고, 내부의 냉각판 모델은 50℃로 설정하였으며, 팬의 정보를 고려하고 유속을 계산하여 팬 형상의 위치에 입력하였다.

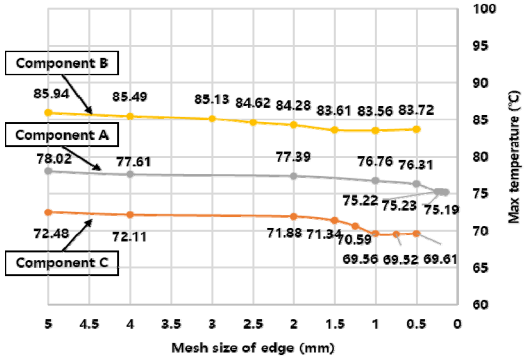


Fig. 4. Temperature convergence results

부품 해석과 동일하게 ANSYS Workbench의 Geometry에서 Fluent Meshing의 Cutcell 기법을 이용하여 격자를 만들었다[7,8]. 이때 Cutcell 기법은 일반 Mesh 생성 기법과 달리 주로 직교 구조를 사용하여 계산의 효율성을 높이고 격자의 형태를 일관적으로 만들어 복잡한 형상에서도 높은 품질의 격자를 생성한다. 모델링의 절점 수는 8,275,400개이고, 요소 수는 7,423,949개이며, 형상은 Fig. 6과 같다. 시스템 모델의 경우 Fig. 4의 해석 결과를 바탕으로 산출된 모서리의 크기를 적용한 형상은 Fig. 7과 같고, 해당 시스템은 모듈의 발열을 제어하기 위해 내부에서 열을 순환하는 시스템이므로 난류 모델로 가정하였다.

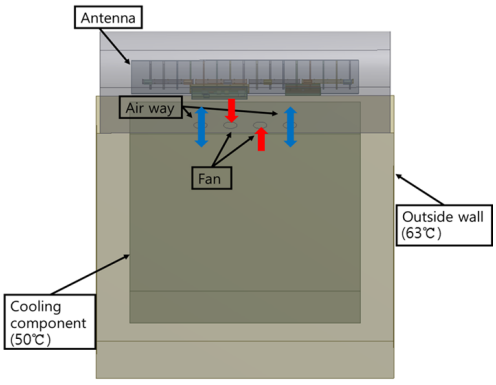


Fig. 5. System boundary condition

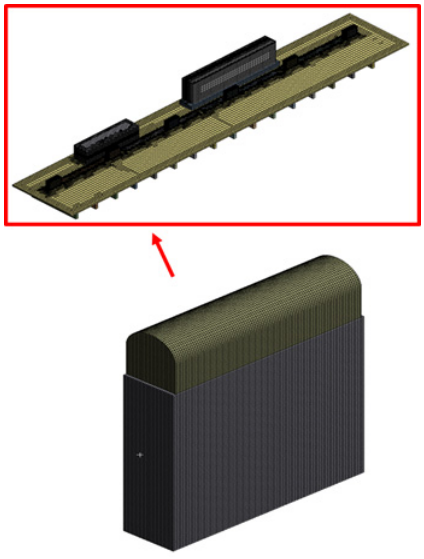
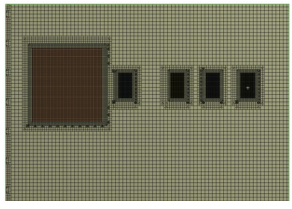
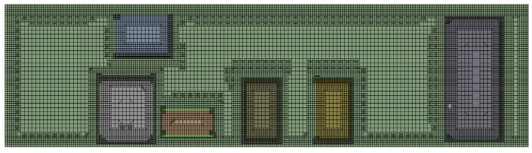


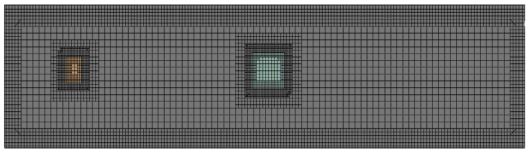
Fig. 6. System mesh model



(a)



(b)

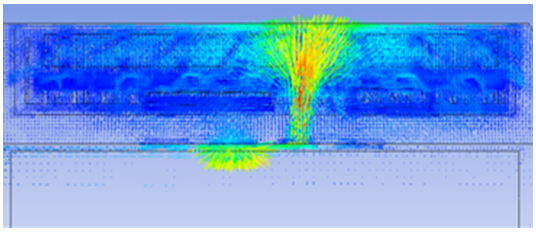


(c)

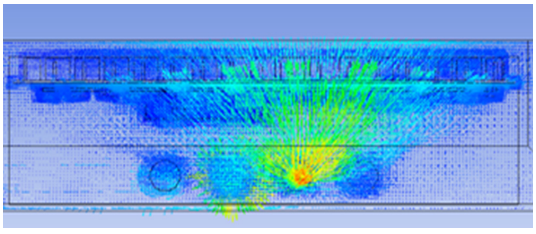
Fig. 7. Component mesh model
(a) Component A (b) Component B (c) Component C

3.3 시스템 해석 결과

4개의 팬 구멍 중 양 끝의 2개를 공기 통로로 설정하고, 중앙에서 좌측의 팬을 흡기, 우측의 팬을 배기로 설정하였다. Fig. 8을 확인하면, 양 끝은 공기 통로는 공기의 유동이 자유롭고 흐름이 원활하게 이뤄졌고, 흡기와 배기의 경우 공기가 특정 방향으로 움직이는 것이 나타나며, 안테나 시스템의 형상에 맞게 공기가 유동하여 중앙부에 공기의 흐름이 많은 것을 확인할 수 있다.



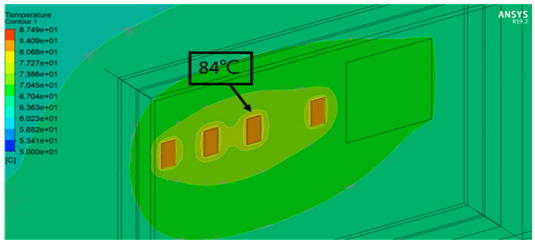
(a)



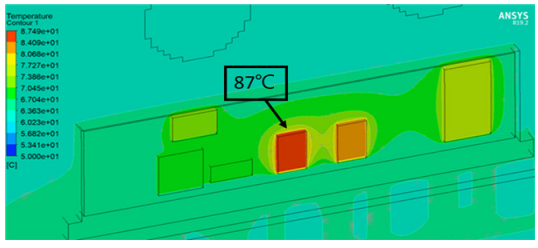
(b)

Fig. 8. Airflow form
(a) Front view (b) Top view

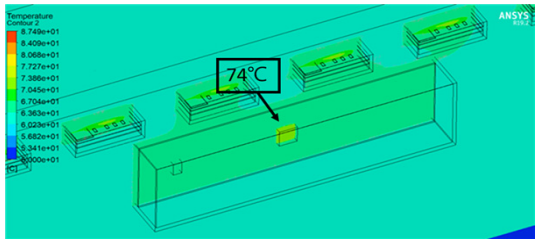
부품에 대한 온도 분포는 Fig. 9와 같으며, 좌측의 수치는 시스템의 온도 표에 해당한다. 각 부품은 시스템 내에서 다양한 열 상호작용을 통해 온도 분포가 형성된다. 부품 A의 전체 분포는 64~84℃인 것을 알 수 있고, 그중 모듈 1은 67~70℃로 비교적 낮은 온도를 유지하는 데 비해, 모듈 2는 80~84℃로 높은 온도를 보였다. 이는 모듈 2에서 발생한 열이 부품 A 전체에 영향을 크게 미쳤음을 의미하는 것으로, Table 2에서 확인할 수 있는 모듈 2의 높은 발열은 인접 부품과의 열 전달을 통해 부품 A의 온도를 상승시킨 것을 알 수 있다. 부품 B의 온도 분포는 64~87℃인 것을 확인할 수 있고, 모듈 6 (84~87℃)과 모듈 7 (81~84℃) 및 모듈 8 (77~81℃)이 부품 B에 큰 영향을 미쳤고, 특히 모듈 6은 모듈 전체에서 제일 큰 값을 나타내었다. 이러한 결과는 모듈 6이 주변 부품과의 열 상호작용을 통해 열이 집중되는 현상이 발생한 것으로 보인다. 부품 C의 온도 분포는 64~74℃로 비교적 낮은 온도를 나타내었고, 모듈의 발열량이 상대적으로 낮고 모듈의 개수가 적어 공기 흐름이 원활하게 이루어져 열이 효율적으로 분산되었기 때문으로 판단된다. 이를 통해 전체적인 열 분포 수치가 낮고, 모듈 9는 주변 온도와 비슷한 값을 표시하고 있다[9,10].



(a)



(b)



(c)

Fig. 9. Component maximum temperature
(a) Component A (b) Component B (c) Component C

4. 분석 및 고찰

부품 A의 부품 해석 결과 최대 온도는 75℃에 수렴하였지만, 시스템 해석 결과 최대 온도는 84℃가 도출되었으며, 약 9℃의 온도 차이가 존재하였다. 부품 A는 단일로 존재하는 다른 부품에 비해 동일한 형상으로 6개가 일렬로 존재하여 밀집도가 높기 때문에, 열 전달 경로가

감소하여 열이 효과적으로 분산되지 못하고 누적되어 열 상호작용이 복잡해지며 온도가 상승한 것으로 보인다. 부품 B의 부품 해석 온도는 83℃이고, 시스템 해석 최대 온도는 87℃로 약 4℃의 차이가 나타났다. 이는 부품 B가 부품 A의 많은 개수와 공기 순환의 장애를 받아 온도가 상승했음을 의미한다. 다만, 부품 B는 다른 부품들에 비해 상대적으로 주위에 여유 공간이 많아 공기의 유동이 자유로웠기 때문에 온도가 제일 적게 상승한 것으로 판단된다. 부품 C의 부품 해석 결과 최대 온도가 69℃이고, 시스템 해석 온도가 74℃로 5℃ 상승하였다. 부품 C는 발열량이 상대적으로 낮지만, 부품 A, B의 열 영향을 받아 온도가 높게 나온 것으로 판단되어 주변의 온도 상승이 원인이 된 것으로 사료된다.

해당 안테나 모델의 모듈이 실제 환경에서 견딜 수 있는 허용 온도는 100℃에 해당하며, 부품 및 모듈의 최대 온도는 87℃로 허용 온도에 만족하는 결과가 나왔으므로, 냉각 시스템이 적절히 이뤄져 안전성이 입증되었다고 판단된다. 따라서 이러한 해석 결과를 바탕으로 시제품을 제작하여 실제 환경에서의 온도 측정 실험을 통해 해석 결과에 대한 신뢰성 확인이 필요하다.

5. 결론

안테나 시스템의 실제 환경에서의 운용을 묘사하기 위하여 부품 해석을 통해 격자를 선정 후 시스템을 해석하여 냉각 시스템의 적절성을 평가하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 부품 해석 결과 최대 온도는 부품 A가 75℃이고, 부품 B가 83℃, 부품 C가 69℃에 수렴한다.

둘째, 시스템 해석 결과 최대 온도는 부품 A가 모듈 2에서 84℃, 부품 B가 모듈 6에서 87℃, 부품 C가 모듈 10에서 74℃가 도출되었다.

셋째, 모듈이 견딜 수 있는 허용 온도는 100℃에 해당하며, 부품 및 모듈의 최대 온도는 87℃이므로 안전성이 입증되었음을 확인하였다.

넷째, 다만 본 연구는 모델링 및 시뮬레이션의 제한성을 가지며 환경에 대한 여러 변수가 반영되지 않았으므로, 실제 환경에서의 실험을 통해 신뢰성 확인이 필요하다.

다섯째, 후속연구를 통해 신뢰성을 확인한다면, 냉각 필요성이 높은 다른 전자 장치에도 적용이 가능하며, 관련 연구와 제품 개발에 유용한 참고자료가 될 것으로 기대된다.

References

[1] Y. W. Kim, H. D. Chae, J. K. Park, D. K. Lee, M. D. Jeong, I. H. Han and D. Y. Lee, “Study on Back-Radiation Level Improvement of IFF Antenna for Surveillance Radar”, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 34-39, 2013.
DOI: https://doi.org/10.9766/KIMST.2013.16.1.034

[2] J. J. Kim and S. W. Chang, "Estimation Method of Heat Dissipation for Lifetime Prediction of Semiconductor I.C for Circuit Safety", *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 2005, No. 5, pp. 112-117, 2005.

[3] K. S. Park, C. W. Park, S. M. Lee, J. H. Choi and J. G. Lee, "CFD Simulation for Electronic Circuits reliability in limited Area", *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, Vol. 2010, No. 10, pp. 465-466, 2010.

[4] G. H. Shin and J. W. Hur, "Evaluation of Cooling System Suitability for Large Scale Antenna", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers,* Vol. 20, No. 11, pp. 60-66, 2021.
DOI: https://doi.org/10.14775/ksmpe.2021.20.11.060

[5] I. S. Hwang, Y. R. Lee, J. P. Kim, S. H. Jang and S. J. Kim, "Design and Implementation of an X-Band Low-Profile Active Electronically Scanned Array for Airborne Radar", *The Journal Of Korean Institute Of Electromagnetic Engineering And Science*, Vol. 32, No. 2, pp. 127-143, 2021.
DOI: https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2021.32.2.127

[6] S. W. Yim, D. K. Lee, H. T. Kim, Y. E. Ra, H. Kim, G. B. Park and W. C. Kim, "Numerical Analysis of Active Refrigeration Performance in Thermoelectric Device Integrated with Naval Vessel Radar System", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 44, No. 7, pp. 415-421, 2020.
DOI: https://doi.org/10.3795/KSME-B.2020.44.7.415

[7] S. J. Jung, S. I. Oh and J. W. Hur, “The Causes of Bolt Breakage During the Tightening of Impellers in Water Jet Propulsion Systems”, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 10, pp. 48-53, 2020.
DOI: https://doi.org/10.14775/ksmpe.2019.18.10.048

[8] ANSYS, “Ansys Meshing User's Guide”, ANSYS Inc, 2021.

[9] ANSYS, “ANSYS Fluent Theory Guide”, ANSYS Inc, 2021.

[10] J. H. Kim, M. Y. Ku and G. W. Lee, "Evaluation of Heat Release Performance of Swaged- and Extruded-type Heat Sink Used in Industrial Inverter", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 2, pp. 523-528, 2013.
DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.2.523

김 동 윤(Dong-Yun Kim) [준회원]

- 2023년 3월 : 금오공과대학교 기계공학과 (석사 입학)
- 2017년 3월 ~ 2023년 2월 : 금오공과대학교 기계설계공학과 (학사)
- 2022년 12월 ~ 현재 : 금오공과대학교 국방신뢰성연구실 학생연구원

〈관심분야〉
시스템엔지니어링, 신뢰성공학, 국방과학, RAM, CBM+

이 준 혁(Joon-Hyuk Lee) [준회원]

- 2023년 3월 : 금오공과대학교 기계공학과 (석사 입학)
- 2017년 3월 ~ 2023년 2월 : 금오공과대학교 기계시스템공학과 (학사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 금오공과대학교 국방신뢰성연구실 학생연구원

〈관심분야〉
시스템엔지니어링, 신뢰성공학, 국방과학, RAM, CBM+

허 장 욱(Jang-Wook Hur) [정회원]

- 1992년 10월 ~ 1995년 9월 : 일본 동경공대 기계물리공학과 (박사)
- 2009년 1월 ~ 2011년 12월 : 방사청 KHP사업단 체계종합/사업총괄담당 (중령)
- 2012년 3월 ~ 2012년 8월 : 탄약사 기술관리처장 (대령)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 기계시스템공학부 교수

〈관심분야〉
시스템엔지니어링, 신뢰성공학, RAM, CBM+