

대형 안테나 냉각시스템의 적합성 평가

신건호*, 허장욱*,#

* 금오공과대학교 기계시스템공학과(항공기계전자융합공학전공)

Evaluation of Cooling System Suitability for Large Scale Antenna

Geon-Ho Shin*, Jang-Wook Hur*,#

* Mechanical System Engineering(Department of Aeronautics, Mechanical and Electronic Convergence Engineering), Kumoh Institute of Technology

(Received 26 March 2021; received in revised form 26 April 2021; accepted 25 May 2021)

ABSTRACT

The antenna transmits and receives signals has a number of electronics that generate heat. For cooling, four fans and airways circulate air inside the antenna-equipped housing to exchange heat from the cooling plate assembly. In this study, fluid analysis was conducted to assess the suitability of the cooling system. The electronic components of the antenna exhibited temperature values lower than the maximum operating temperature of the components, which showed that the cooling system for the antenna had sufficient performance.

Keywords : Antenna(안테나), Cooling System(냉각시스템), Fluid Analysis(유동해석), Temperature(온도)

1. 서 론

대형 안테나는 열을 발생시키는 전자품을 다수 내장하고 있고, 이를 냉각시키기 위해 팬과 공기 통로가 안테나 하우징 내부의 공기를 순환시켜 냉각판 조립체의 냉기와 전자품의 열기를 교환하는 구조로 설계되어 있으나, 시스템의 신뢰성 및 안전성 보장을 위해 시제품이 제작되기 전에 해석을 통해 이 냉각시스템의 적합성을 평가할 필요가 있다.

이러한 해석을 수행 시 해석의 정확도를 검토하

기 위해 격자의 구성 및 크기에 대한 상대적 성능을 비교하는 격자 의존성 분석 방법이 사용되고 있는데, 모든 부품이 구현되어 있는 시스템 모델의 해석으로 적절한 격자를 찾기 위한 반복적인 해석을 할 경우 많은 전산소요와 시간투자가 필요하다^[4].

이를 방지하기 위해 본 연구에서는 각 부품을 별도로 해석하여 열을 발산하는 전자품에 적절한 격자크기를 도출한 뒤 이를 시스템 전체의 해석에 적용하여 해석을 진행하였으며, 시스템 해석으로 안테나가 운용될 때 발생하는 전자품의 최대온도를 도출하고, 이를 해당 부품의 최대 작동온도와 비교하여 냉각시스템의 적합성을 평가하였다.

Corresponding Author : hhjw88@kumoh.ac.kr

Tel : +82-54-478-7399

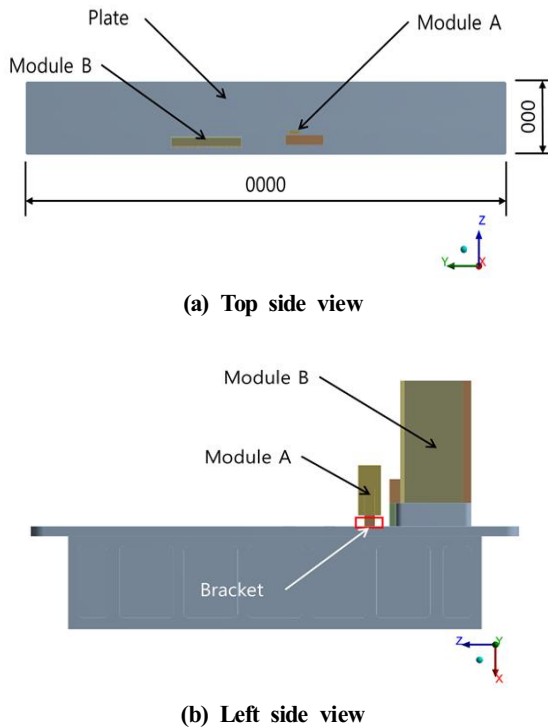


Fig. 1 Antenna configuration

2. 부품단위 해석

2.1 제품 형상 및 기계적 성질

대형 안테나의 형상은 Fig. 1과 같고, Module A와 Module B의 내부 형상은 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있으며, 내부에 PCB와 소자 등의 부품이 장착되어 있는 Module B와 Module A가 구조체 및 브라켓에 각각 연결되어 있다.

해석에 적용한 재료의 기계적 성질은 Table 1과 같으며, PCB는 구리층과 에폭시가 다중-샌드위치된 다층 기판으로 구성되어 있어 구리와 에폭시의

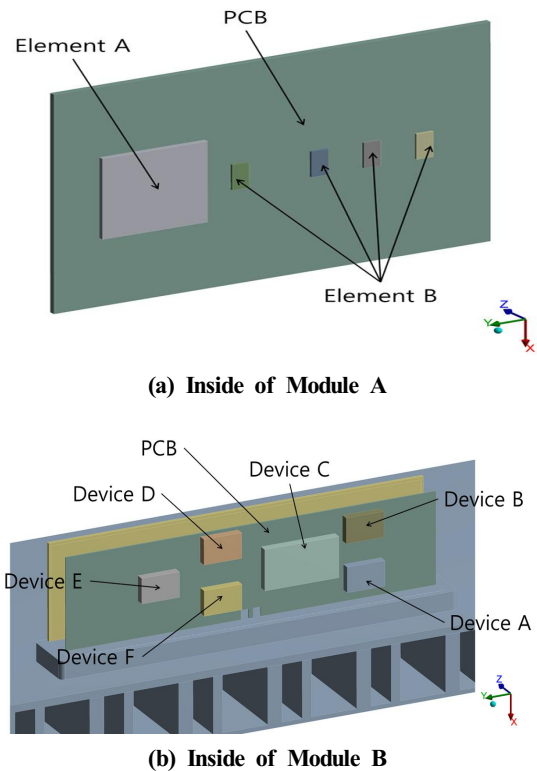


Fig. 2 PCB configuration

열전도 특성의 큰 차이 때문에 PCB의 열전도는 일반적으로 이방성 구조를 갖게 되기 때문에 이를 반영하였고, 알루미늄은 등방성의 열전도를 적용하였다^[5].

2.2 해석방법

전체 모델을 해석하기에 앞서 발열원의 적절한 격자 크기를 찾기 위해 부품단위 해석을 먼저 수행하였다. 즉, Module A와 Module B만을 대상으로 해석을 진행하여 발열원의 적절한 격자크기를 도출한 다음, 전체 모델을 해석할 때 이를 반영하

Table 1 Material properties(solid)

Type	PCB board(in Module A)		PCB board(in Module B)		Otherwise
	In-plane	Through	In-plane	Through	
Specific heat	1,000J/kg·K		1,000J/kg·K		900J/kg·K
Thermal conductivity	30.0W/m·K	0.30W/m·K	20.0W/m·K	0.30W/m·K	200.0W/m·K

Table 2 Material properties(air)

Temperature (°C)	Density (kg/m ³)	Specific heat capacity (J/kg·K)	Thermal conductivity (W/m·K)
0	1.293	1,005	0.0243
20	1.205	1,005	0.0257
40	1.127	1,005	0.0271
60	1.067	1,009	0.0285
80	1.000	1,009	0.0299

Table 3 Volumetric heat source

Location	Type	Volumetric heat dissipation
Module A	Element A	625,000W/m ³
	Element B	46,897,550W/m ³
Module B	Device A	475,199W/m ³
	Device B	514,256W/m ³
	Device C	384,875W/m ³
	Device D	455,670W/m ³
	Device E	130,191W/m ³
	Device F	292,931W/m ³

는 방법을 채택하였다. Module A 혹은 Module B를 각각 1개만 남겨놓은 모델을 해석에 사용하였고, 해석에 사용된 모델의 형상과 경계조건을 Fig. 3에 나타내었으며, 모델링의 가장 바깥 면은 후술할 냉각관 조립체의 온도인 35°C로 고정하였다. 대형 안테나가 장착되어 있는 하우스 내부 및 각 부품의 내부에 있는 공기에 대류를 발생시키기 위해 각 부품이 전체 해석에서 받을 중력의 방향과 동일한 방향으로 중력을 부가하고, 온도에 따라 변화하는 공기의 물성치를 Table 2와 같이 해석에 적용하였다. 전자품들의 발열량은 발열원의 부피로 나누어 해석에 적용하였으며, 이는 Table 3에 나타내었다.

2.3 해석결과

격자 의존성 분석을 위한 격자계의 구성 및 크기 등에 대한 명확한 기준이 없어 발열원이 일정 온도이상 변하지 않을 때까지 발열원 모서리의 격자 조밀도를 높여가며 반복적으로 해석을 진행하였다^[4]. 발열원 모서리의 격자크기와 최대 온도의

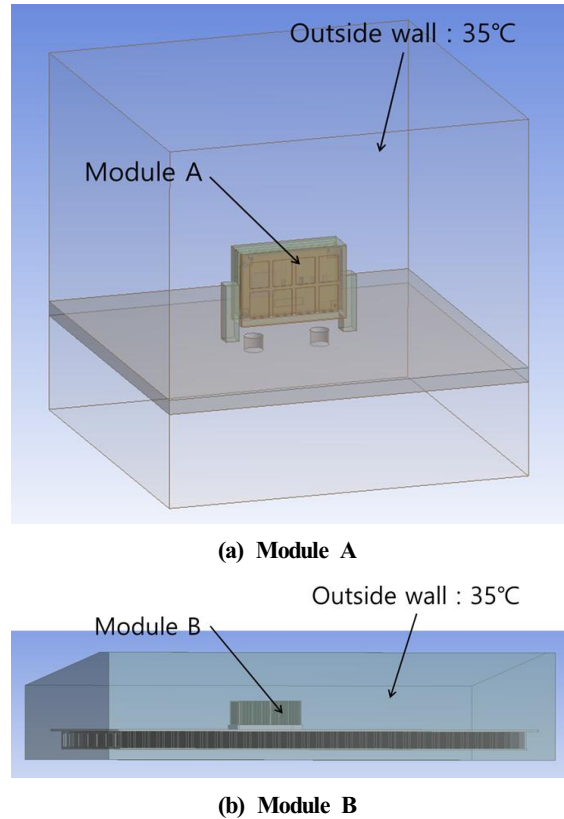


Fig. 3 Boundary conditions

관계를 Table 4에 나타내었으며, 단위체적당 가장 높은 발열량을 갖는 Element B의 경우에는 격자크기가 0.1375mm 수준에서 일정온도를 보이고 있으나, 단위체적당 발열량이 Element B보다 다소 낮은 Element A의 경우에는 0.25mm, Devices는 2.6mm의 격자크기에도 일정한 온도를 나타내었다.

3. 시스템 해석 방법

대형 안테나가 장착된 하우스는 외부 공기에 대해 밀폐되어 있고 안테나의 부품에서 발생하는 열이 온도가 35°C로 유지되는 냉각관 조립체의 냉기와 교환될 수 있도록 팬과 공기통로를 안테나와 냉각관 조립체 사이에 배치해놓은 구조로 되어 있으며, 이를 반영한 경계조건은 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 5는 팬의 성능을 나타내는 압력-유량곡

선으로 장착된 팬은 Fig. 5를 따라 작동하도록 설계되어 있으며, 이를 해석에 동일하게 적용하기 위해 압력차에 따라 변화하는 유량을 팬의 면적으로 나누어 유속을 계산하고, 하우스 내부의 팬에 해당되는 위치에 반영하였다. 하우스의 바깥면은 체계 환경규격인 운용온도 조건의 고온조건(50°C)을 만족시키기 위해 50°C로 고정시켰다^[6].

격자생성은 복잡한 형상이라도 매우 빠르게 격자를 형성해주는 Cutcell mesh를 사용하였고^[7], Fig. 6과 같이 26,072,685개의 절점과 23,198,279개의 격자를 생성하였다. 이때, 발열원 모서리의 격자는 Table 4에 나타낸 것과 같이 온도가 일정이상 변하지 않기 시작하는 크기로 형성하였으며, 이는 Fig. 7(a), (b)에 나타내었다.

정상상태 및 압력기반유동에 대해 상용코드인 Fluent 19.2로 해석을 진행하였다. 대형 안테나의 하우스는 외부 공기와의 만남 없이 내부의 공기를 순환 즉, 회전시켜 발열원을 냉각시키는 구조로 되어 있어 k-ε Realizable을 난류모델로 채택하였다. k-ε Realizable은 다양한 유동, 특히 높은 유선의 곡률, 와류, 회전 등의 유동에 대해 k-ε Standard보다 좋은 성능 및 예측결과를 얻을 수 있고 사례조사 결과

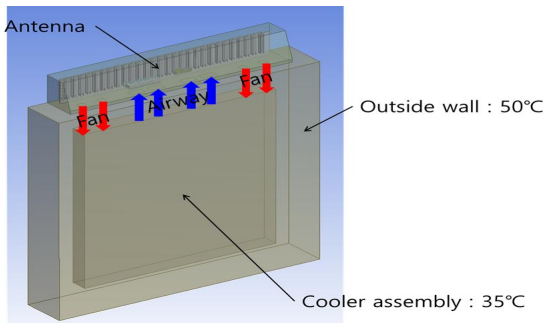


Fig. 4 Boundary conditions

k-ε 모델 중 최고의 성능을 가진 것으로 평가되었다^[8-9]. 사용된 물성치와 발열량은 부품단위 해석과 동일하게 적용하였다.

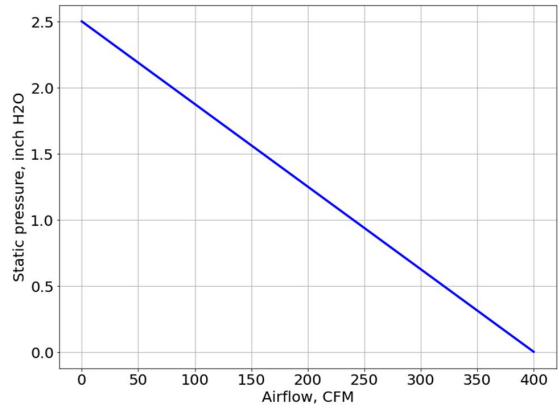


Fig. 5 Flow rates of fan at different pressures

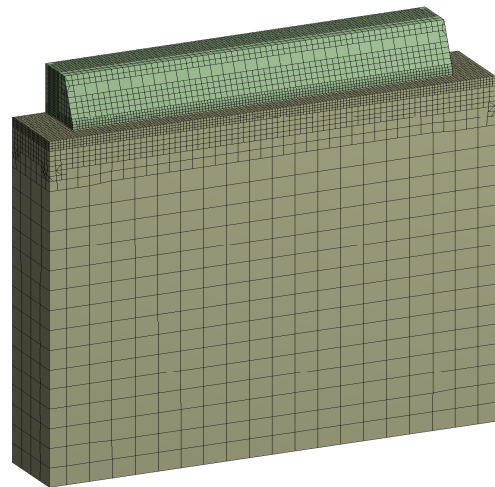
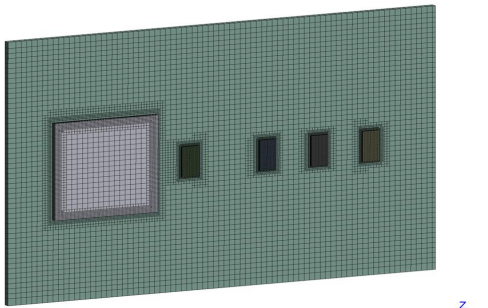


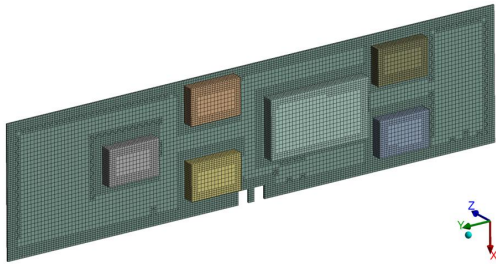
Fig. 6 Analysis model of system

Table 4 Component analysis results

Mesh size of edge	Max temperature (Element A)	Mesh size of edge	Max temperature (Element B)	Mesh size of edge	Max temperature (Devices A, B, C, D, E, F)
0.5mm	42.015°C	0.275mm	66.121°C	2.6mm	55.452°C
0.25mm	41.605°C	0.1375mm	61.412°C		
0.125mm	41.527°C	0.06875mm	61.132°C	1.3mm	55.452°C



(a) Inside of Module A



(b) Inside of Module B

Fig. 7 Analysis model of PCB

해석의 수렴은 반복계산을 수행하여 각 발열원의 온도변화가 거의 없을 때 해석이 수렴한 것으로 판단하였고, 더 이상 계산을 반복하여도 값이 변하지 않는 것을 확인하기 위해 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 3,000번의 반복계산을 진행하였다.

4. 시스템 해석결과 및 고찰

냉각 팬이 4개 장착된 하우징 내부 공기의 유선을 Fig. 9에 나타내었으며, 공기통로를 통해 유입된 공기가 안테나를 충분히 냉각시킬 만큼 회전한 후에 팬으로 빠져나가는 것을 관찰할 수 있다. 그리고 대형 안테나의 온도분포를 Fig. 10에 나타내었으며, Module A는 Fig. 10(a)의 확대사진에서와 같이 78.898℃를 표시하고 있으며, Module B는 Fig. 10(b)와 같이 53.998℃가 계산되었다.

대형 안테나의 발열원별 최고온도와 스펙시트에 표기되어 있는 각 부품의 최대 작동온도를 Table 5

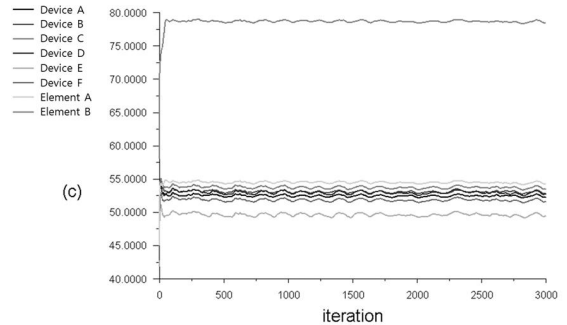


Fig. 8 Temperature convergence

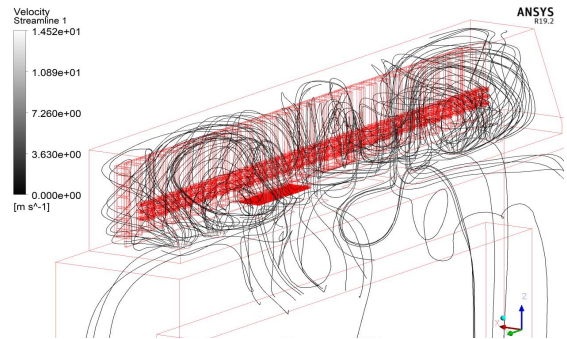


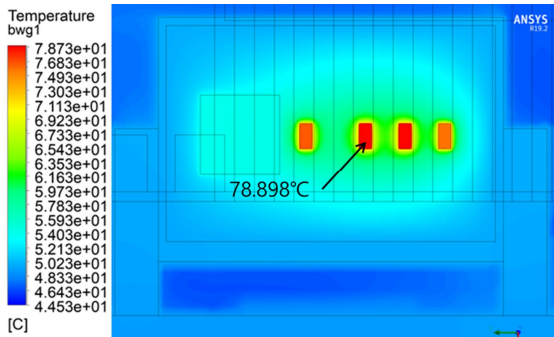
Fig. 9 Velocity streamlines

에 나타내었다. 부품 단위해석과 시스템 해석 결과를 비교한 결과 최고온도 값에서 다소 차이가 있으며, 이는 발열원들 간의 상호작용과 경계조건 차이 및 주변 공기유동의 효과로 판단된다. 최고온도를 나타낸 발열원은 Module A에서는 Element B로 78.898℃이며, Module B에서는 Device C로 53.992℃로 계산되었다.

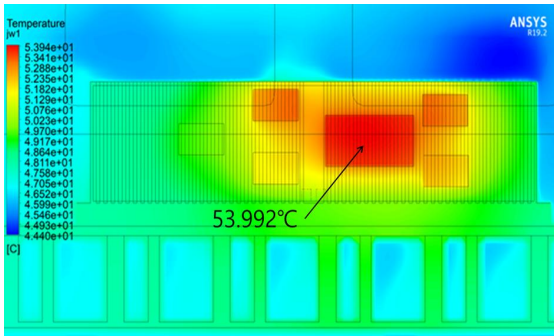
해석결과 장착된 4개의 냉각 팬과 공기통로가 안테나를 충분히 냉각시킬 수준의 공기유동을 만들 수 있다는 것을 확인할 수 있고, 모든 발열원들의 최고온도가 최대 작동온도보다 더 낮은 수준을 보이고 있어 대형 안테나의 냉각시스템은 적합함을 알 수 있다.

5. 결론

대형 안테나에 대해 각 부품을 별도로 해석하여 발열원에 해당되는 부품에 적절한 격자크기를 도



(a) Module A



(b) Module B

Fig. 10 Temperature contour

Table 5 Analysis results

Type		Max. temperature		Max. operating temperature
		Component analysis	System analysis	
Module A	Element A	41.605 °C	54.706 °C	100 °C
	Element B	61.412 °C	78.898 °C	125 °C
Module B	Device A	53.498 °C	52.697 °C	100 °C
	Device B	55.416 °C	53.299 °C	100 °C
	Device C	55.452 °C	53.992 °C	100 °C
	Device D	54.045 °C	53.23 °C	100 °C
	Device E	49.922 °C	49.907 °C	100 °C
	Device F	52.043 °C	52.063 °C	100 °C

출한 뒤 시스템 전체의 유동해석을 수행하여 하우징 내부에 발생하는 유속을 도출하고 발열원의 최고온도와 최대 작동온도를 비교하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 부품단위 해석으로 발열원의 온도가 수렴되는 격자의 크기를 도출하여 시스템 해석에 적용시 유효한 결과를 도출할 수 있다.
- 2) 발열원의 최고온도는 Module A, Element A에서 78.898°C, Module B, Device C에서 53.992°C가 계산되었다.
- 3) 발열원들의 최고온도가 최대 작동온도보다 낮게 나왔으므로 안테나의 냉각시스템은 적합함을 확인할 수 있다.

후 기

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 임(No. 2019R111A3A01063935).

References

1. Jang, B. K., "Design of Microstrip Array Antenna for IFF(Identification Friend or Foe) RADAR", Ph.D. Dissertation, Dept. Radio Communication Eng., Kumoh National Institute of Technology, Republic of Korea, 2011.
2. Kim, Y. W., Chae, H. D., Park, J. K., Lee, D. K., Jeong, M. D., Han, I. H. and Lee, D. Y., "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.
3. Borejko, M., "Monopulse IFF Interrogator Antenna with Optimized Parameters, Minimizing the Possibility of Generating False Replies by Transponder," Microwaves, Radar & Wireless Communications, pp. 740-743, 2006.
4. Kim, S. J., Choi, Y. S., Cho, Y., Choi, J. W., Hyun, J. J., Joo, W. G. and Kim, J. H., "Analysis of the Numerical Grids of a Francis Turbine Model through Grid Convergence Index Method," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 23, No. 2, pp. 16-22, 2020.

5. Kim, J. and Kim, B. G., “Thermal Analysis of Electronic Devices in an Onboard Unit Considering Thermal Conduction Environment”, The Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control, Vol. 43, No. 5, pp. 60-67, 2006.
6. Shin, D. J., Lee, J. H. and Kang, Y. S., “Development Process of Mechanical Structure for a Large Radar,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 1-11, 2017.
7. Jung, S. J., Il, O. S. and Hur, J. W., “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.
8. Kim, W. H. and Park, T. S., “Numerical Study on Heat Transfer Performance of Crossflow Fin-tube Heat Exchanger Depending on Different Fan Positions,” Transactions Korean Society of Mechanical Engineers B, Vol. 39, No. 3, pp. 271-278, 2015.
9. ANSYS, 2013, “ANSYS Fluent Theory Guide”, ANSYS Inc.