

복사 열전달에 의한 성층권 무인 비행선의 열 특성 연구

김승민* · 이상명* · 노태성** · 최동환**

A Study on Thermal Characteristics of Stratospheric Airship Considering Radiation Heat Transfer

Seung-Min Kim* · Sang-Myeong Lee* · Tae-Seong Roh** · Dong-Hwan Choi**

ABSTRACT

A Stratospheric airship should stay long to achieve its original mission. Meanwhile, to obtain what the solar radiation and heat transfer have an effect on Stratospheric condition, heat analysis has been done. For this work, Stratospheric heat condition's been examined and for the numerical analysis, by using Gridgen, grids of airship have been generated. And by using STAR-CD, the study about heat characteristic of airship model was carried out. Especially, with changing the position of the Sun, the temperature change of the airship body was focused on. With this background, the possibility of realizing the simulation of the effects solar radiation have on the Stratospheric airship.

초 록

성층권 비행선은 주어진 임무를 수행하기 위하여 성층권에서 장기 체공을 해야 한다. 이 때, 태양의 복사 열전달 현상이 비행선 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 열해석을 수행하였다. 이를 위하여 성층권의 열환경을 조사하고, 수치해석을 위해 비행선 모델을 Gridgen을 이용하여 격자를 형성하였다. 그리고, STAR-CD를 사용하여 해석 모델에 대한 열 특성 연구를 수행하였다. 특히, 태양의 위치를 변화시키면서 각각에 대한 비행선 선체의 온도 변화에 중점을 두었다. 이를 바탕으로 태양의 복사에너지가 성층권 비행선에 미치는 영향에 대해 시뮬레이션을 구현하였다.

Key Words: Stratospheric airship(성층권 비행선), Stratospheric condition(성층권 환경), Solar radiation(태양복사), Heat transfer(열전달)

1. 서 론

* 학생회원 인하대학교 대학원 항공공학과 석사과정

** 정회원 인하대학교 항공우주공학과

성층권 비행선이 주어진 임무를 수행하기 위하여 장기간의 체공 능력을 갖추고 있어야 한

다. 이 때 비행선이 체공하게 될 지상 20 km의 성층권은 대류권에 비해 기상이 매우 안정적이어서 비행선을 장시간 체공시키기에 적합하다. 그러나 성층권에서는 구름이 없으므로 낮에는 항상 태양이 비추고, 밤과 낮의 온도차가 크며, 태양복사 등에 의한 열에너지가 비행선에 영향을 주어 비행성능에 문제를 야기시킬 수 있다.[1]

본 연구에서는 성층권 비행선이 지상보다 많은 태양열을 받는 열환경에서도 장기 체공. 시 비행성능을 확보할 수 있는지 여부를 알아보기 위해, 정점 체공 고도인 지상 20 km에서 비행선 내외부의 모델을 만들어 열환경/열전달을 해석하였다.

2. 해석 모델

2.1 성층권 대기 환경

성층권 비행선이 체공할 고도 20 km 부근의 기온은 -56도 정도이며, 공기 밀도는 지상의 약 1/14 정도이다. 또한 평균 풍속은 여름에는 약 8 m/s, 겨울에는 11 m/s 정도이다. Table 1은 해수면과 성층권 대기환경을 비교한 내용이다.[4]

Table 1. Compare Stratosphere with Sea Level

	지 상	성층권 (지상20km)
온 도(K)	293	217
압 력(atm)	1	0.0542
밀 도(kg/m ³)	1.205	0.08816
중력가속도(kg · m/s ²)	9.806	9.733
Solar intensity(W/m ²)	1000	1366

2.2 성층권 비행선의 구조

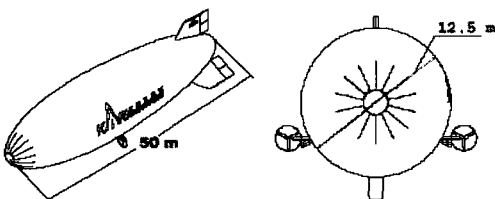


Fig. 1 Configuration of Statospheric Airship

본 해석에서는 Fig. 1에서 보듯이 전장(전체 길이) 50 m, 최대직경 12.5 m의 비행선을 모델로 하였다.

성층권 비행선의 선체 표면은 외피와 태양전지로 구성된다. 우선 선체 외피는 대기밀도가 지상의 약 1/14인 성층권에서 비행선을 띄우기 위해서는 막재의 경량화가 요구된다. 따라서 약 0.175 mm의 아주 얇은 재질이 사용된다. 또한 전 표면적의 약 45%를 차지하는 태양전지판은 0.57 mm의 두께를 갖는다.

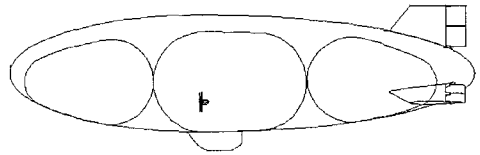


Fig. 2 Inner Constructing of Statospheric Airship

Figure 2는 선체 내부를 나타낸 그림이며, 3개의 공기기낭 주위로 헬륨이 차있는 상태이다. 해석 시 태양전지판은 고려하지 않았으며, 그 밖의 꼬리날개 및 프로펠러 역시 고려하지 않았다. 또한 선체 내부를 모두 헬륨으로 가정하였다.

2.3 격자 형상

유한체적법에 따른 유동 해석을 하기 위해서는 해석할 모델을 목적에 맞게 적절한 형상으로 체적을 나누어야 한다. 우선 Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸 성층권 비행선의 구조를 바탕으로 비행선 내부 해석을 위해 Fig. 3과 같은 격자를 만들었다. 또한 동시에 외부유동 및 열전달 해석을 위해 Fig. 4와 같은 외기 형상의 격자를 만들어 전체 격자형상을 완성하였다.

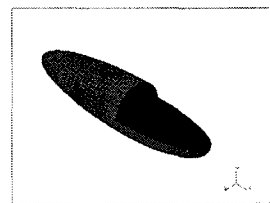


Fig 3. Generation of Airship Grid

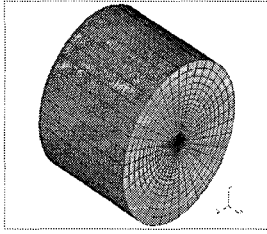


Fig. 4 Generation of Far-field Grid

수렴성과 정확성을 확보하면서, 계산시간 단축을 위하여 수많은 Sample Test를 수행하였고, 최종적으로 외피를 포함한 비행선은 95,400 개, 외기는 226,800 개의 격자로 모델을 구성하였다. 외기의 전체적인 크기는 X축방향 150m, 반지름 100m로 결정하였다.

3. 해석 방법

3.1 열전달 해석 관계식

태양복사에너지에 의한 비행선 표면에서의 총열전달량 q''_w 는 다음의 식을 따른다.

$$q''_w = q''_r + q''_c + q''_d + q''_{r,s} \quad (1)$$

벽 표면에서의 순복사량 q''_r 은 도달하는 양과 나가는 양의 차이로 나타낸다.

$$q''_r = I_i - J_i \quad (2)$$

입사량 I_i 는 다른 표면의 조도로써 Eq. 3과 같이 표현될 수 있으며, 표면에서 떠나는 전체 복사량 J_i (조도, radiosity)는 Eq. 3과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$I_i = \sum_j F_{ji} J_j \quad (3)$$

$$J_i = \epsilon_i E_{B,i} + \rho_i I_i \quad (4)$$

F_{ij} 는 두 표면 사이의 복사열전달에서 방향의 영향을 고려하기 위해서 순수한 기하학적 값인 형태계수(view factor)로 즉, 표면 i 를 떠나서

표면 j 에 곧바로 부딪히는 복사의 비율로 정의된다.

ϵ_r, ρ_r 은 각각 상대적인 표면의 방사율과 반사율이다. 불투명한 표면('grey' opaque surface)일 경우 관계식은 다음과 같다.

$$\epsilon_r + \rho_r = 1 \quad (5)$$

그리고 $E_{B,i} = \sigma T_i^4$ 은 흑체 방출량(W/m^2)이며, 여기서 σ 는 Stefan-Boltzmann 상수, T_i 는 경계면 온도이다

또한, 태양복사에너지를 고려한 벽 표면 i 에서의 순(net) 태양복사량 $q''_{r,s}$ 는 다음과 같다.

$$q''_{r,s} = \alpha_{r,s} [(I_{s,i} + F_{solar}) + F_{solar,0}] \quad (6)$$

여기서 $\alpha_{r,s}$ 는 태양복사흡수율, F_{solar} 는 태양 강도 I_{solar} 의 각도 θ 에 대한 입사량이다. 그리고 $F_{solar,0}$ 은 외부로부터 오는 태양복사량이다..

한편, 대류에 의한 열전달량 q''_c 와 전도에 의한 열전달량 q''_d 는 각각 Eq. 7과 Eq. 8과 같다.

$$q''_c = -h_i(T_w - T_f) \quad (7)$$

$$q''_d = k \Delta T / \Delta x \quad (8)$$

여기서, k 는 전도열전달 계수이고, h_i 는 대류 열전달 계수이며, T_w 는 벽면에서의 온도, T_f 는 인접한 유체의 온도를 나타낸다.[6]

3.2 초기 조건 및 경계 조건

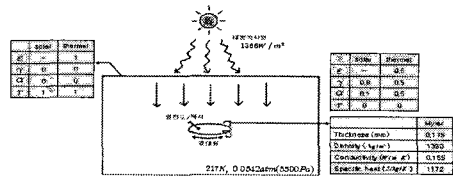


Fig. 5 Condition for Analysis Model

수치해석시 사용되는 초기조건은 성층권의 외기 상태를 기준으로 하였으며, 태양의 복사에너지에 의한 외피의 온도상승을 계산하였다. 비

행선의 외피에는 열전도 현상을 고려하였고, 외피의 온도상승에 의하여 비행선 내부의 유동과 외기유동에는 자연대류현상을 고려하였다. 구체적인 조건들의 값은 Fig. 5에 나타내었다.

3.3 수치해석 기법

수렴성과 정확성 및 계산시간 단축을 위해 속도장, 온도장 및 밀도에 대한 공간차분화에는 MARS (Monotone Advection and Reconstruction Scheme) 방법을 사용하였으며, 해석알고리즘으로는 SIMPISO를 사용하였다. 한편, 수렴성을 향상시키기 위해서 하향이완계수(Relaxation Factor)를 도입하였다.[7]

4. 해석 결과

4.1 태양 위치 변화에 따른 해석 결과

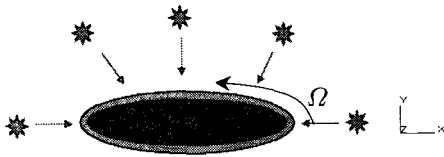


Fig. 6 Variation of Solar Position in Ω direction

해석 모델에 대하여 Fig. 6과 같이 태양의 위치를 Ω 방향으로 변화시키면서 각각에 대한 비행선 선체 표면중앙 부분의 온도값을 계산하였다. 그 결과는 Fig. 7과 같다.

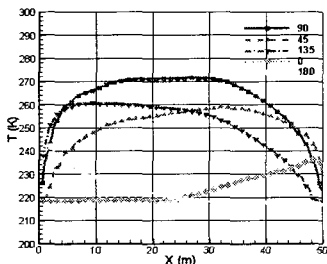


Fig. 7 Result of Temperature Variation According to Solar position

Figure 8에서 나타나듯이, 태양이 선체표면에 직각으로 비출 때, 271.7 K으로 최대값을 가지며, 저온의 외기의 영향으로 급심한 온도 상승은 이루어지지 않음을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 고도 20 km 부근에서 장기 체공하는 성층권 비행선의 열해석을 수행하였으며, 태양의 위치변화에 따른 선체표면의 온도변화를 계산하였다. 해석한 결과, 비행선 외피의 최대 온도는 초기 온도에서 최대 55 K 정도 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 태양의 복사에너지에 의한 온도 상승이 비행선과 비행선의 탑재물의 성능을 저하시킬 만큼의 영향을 미치지 못할 것이라고 예상되어진다.

참 고 문 헌

- 1) 임철호 외, '성층권 무선중계용 비행선 기본설계 및 운용개념 연구', 정보통신부, 1998. 12
- 2) 임철호 외, '시험용 다목적 성층권 비행선 개발', 산업자원부, 1999. 6
- 3) 김동민 외, '다목적 성층권 장기체공 무인비행선 개발사업', 한국항공우주학회 2001년도 춘계학술 발표회 논문집, pp.622-625
- 4) <http://airship.kari.re.kr>, 다목적 성층권 비행선 개발사업 홈페이지
- 5) 김명성 외, '성층권 비행선의 임무고도 진입에 대한 고찰', 한국항공우주학회 1999년도 추계학술 발표회 논문집, pp.204-207
- 6) Star-CD Manual Methodology version 3.20A, CD adapco, 2004