

적외선 피탐지를 위한 페이즈 필드법 기반의 적외선 반사층 설계

허 남 준¹ · 유 정 훈^{2*}

¹연세대학교 대학원 기계공학과, ²연세대학교 기계공학과

Infrared Reflector Design using the Phase Field Method for Infrared Stealth Effect

Namjoon Heo¹ and Jeonghoon Yoo^{2*}

¹Graduate school of Mechanical Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea

²Department of Mechanical Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea

Abstract

In this paper, infrared reflector design targeting infrared stealth effect is presented using structural optimization based on the phase field method. The analysis model was determined to accomplish the design that an incident infrared wave was reflected to a desired direction. The design process was to maximize the objective value at the measuring domain located in a target region and the design objective was set to the Poynting vector value which represents the energy flux. Optimization results were obtained according to the variation of some parameter values related to the phase field method. The model with a maximum objective value was selected as the final optimal model. The optimal model was modified to eliminate the gray scale using the cut-off method and it confirmed improved performance. In addition, to check the desired effect in the middle wave infrared range(MWIR), the analysis was performed by changing the input wavelength. The finite element analysis and optimization process were performed by using the commercial package COMSOL combined with the Matlab programming.

Keywords : *infrared stealth, structural optimization, phase field method, infrared reflecting layer*

1. 서 론

현대의 전장 환경은 기술 발달에 따라 고성능의 센서에 기반을 둔 전자전으로 변해가고 있다. 항공기나 함정으로부터 방출되는 적외선(Infrared)이나 라디오 파장(Radio frequency) 대역의 레이더파, 음파(Acoustic wave) 및 태양광 반사(Solar reflection)에 의한 광학 신호 등은 탐지 및 추적 등에 이용될 수 있기에 항공기 및 함정의 다양한 군사적 임무의 수행을 위해서는 이러한 신호들을 감소시키는 스텔스(Stealth) 기술이 필수적이며, 이를 통한 무기체계의 생존성 향상이 무엇보다 중요하다(Ball, 2003).

선진국을 중심으로 생존성 및 피탐지성 증대를 위한 연구들이 활발히 진행되고 있으나(Mahulikar *et al.*, 2007), 관련 핵심 기술들은 철저히 보호되며 해외로의 유출이 방지되고 있

다. 이에 국내에서도 최근 RCS(Radar Cross Section) 감소 및 적외선 감소 등을 위한 다양한 연구들이 진행 중이다(Park *et al.*, 2008).

이 중 적외선 신호 감소 기술은 비행체 생존성을 보장하는 핵심 기술 중의 하나로써 적외선 방출의 주요한 원인이 되는 항공기의 엔진에서의 열원과 엔진 배기가스 및 태양 반사 등으로부터 방출되는 적외선을 감소시키는 것을 주요 목적으로 삼고 있다. 이 기술들은 엔진과 노즐의 IR(Infrared) 신호 감소 설계, 배기 Plume 온도 저하 및 외피 냉각 등으로 구분할 수 있다(Kang *et al.*, 2014).

본 연구에서는 항공체로부터 방출되는 적외선 신호를 감소시킬 수 있는 IR 반사체(Reflector)를 설계하였다. 이는 일반적으로 항공체로부터 방사형으로 방출되는 적외선을 항공체 내·외부에 적외선 반사층을 위치시켜 일정한 방향으로 방출시

* Corresponding author:

Tel: +82-2-2123-2859; E-mail: yoojh@yonsei.ac.kr

Received October 25 2014; Revised October 30 2014

Accepted October 31 2014

©2015 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

키기 위한 구조물로서, 적외선 감소를 위한 피탐지 효과를 달성하기 위한 구조물로 응용될 수 있다. 이를 위하여 형상최적설계의 한 방법인 페이즈 필드법(Phase field method) 기반의 구조설계법을 도입하여 IR Reflector의 최적 형상을 도출하였다. 본 연구의 해석 과정은 상용패키지 COMSOL의 (RF)Radio Frequency module을 이용하여 수행되었다.

2. 설계 방법

2.1 설계 개념

위상 최적설계는 설계의 목적 함수와 제한 조건을 만족하는 최적의 물질 분포를 찾는 방법 중의 하나이다. 일반적으로 설계 변수의 변화에 대한 목적함수의 민감도를 구해 설계 변수 값을 갱신해 나가며 초기 형상으로부터 최적의 물질 분포를 찾을 때까지 계산을 반복한다(Bendsøe and Sigmund, 2003). 이러한 위상 최적설계법은 방법론적으로는 아이소-지오메트릭 위상 최적설계에서부터(Ahn and Cho, 2013), 응용 분야에서는 전자기파를 이용한 분야까지 방법과 적용 분야를 확장해 나가고 있다(Lim *et al.*, 2014).

본 연구의 설계 개념을 Fig. 1에 도식화하여 나타내었다. 수직으로 입사된 적외선 파는 일반적으로 수직으로 반사되어 나오지만, 유전체(Dielectric)로 구성되어 있는 반사층의 형상 설계를 통하여 반사되는 파의 방향을 특정한 방향으로 꺾여 나오도록 함으로써 방사형으로 방출되는 적외선을 특정 방향으로 방출되도록 조절하고자 하였다.

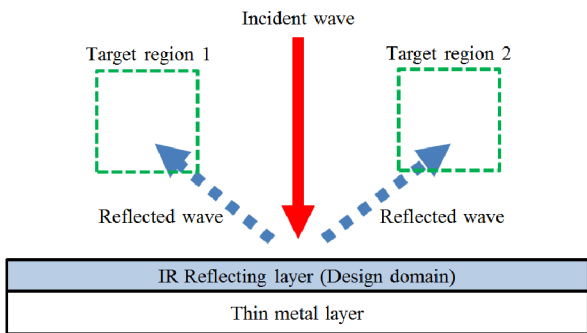


Fig. 1 Design concept of IR reflecting layer

2.2 해석 모델

본 연구에서의 해석 모델은 Fig. 2와 같다. 설계 영역인 반사층의 크기는 폭 48 μm , 높이 0.3 μm 로 정의하였고, 이는 2000 \times 30개의 사각형 요소로 구성된다. 설계 영역의 소재는 공기(Air) 및 Zinc Oxide(ZnO)를 이용하였으며, 금속 박막에는 은(Silver, Ag)이 사용되었다. 굴절률이 설계과정에

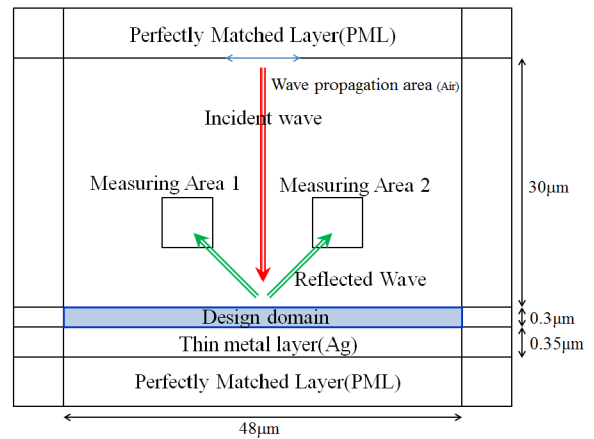


Fig. 2 Schematic modeling for analysis

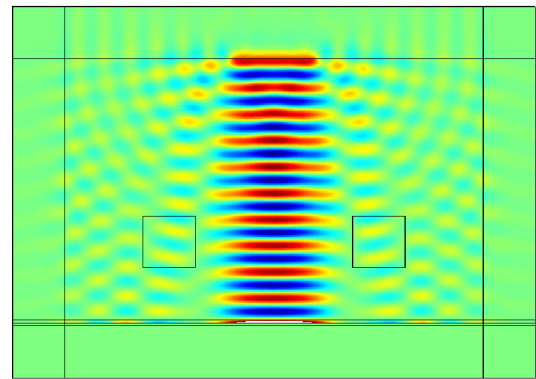


Fig. 3 Analysis Result of prototype model; magnetic field contour plot

서의 물성치로 사용되었으며, Table 1에 해당 적외선 파장 값에 따른 굴절률을 표기하였다. 해석 영역의 모든 외부 경계에서는 파의 재반사로 인한 증폭 현상을 막기 위해 PML (Perfectly Matched Layer)를 적용하였다.

입사되는 적외선 파는 TM(Transverse Magnetic) 모드로 가정하며 해석 모델 상층부의 경계에서 자기장(Magnetic field)이 수직으로 입사된다. 파장이 3 μm 인 중적외선파를 기준으로 최적설계 과정이 진행되며, 최적 형상에 대한 파장대역 효과를 검증하였다. 목적함수의 측정영역은 대칭구조로서 두 부분으로 나누어져 반사되는 빛의 방향을 조절하기 위해 설정되어 있고, 해당 영역에서의 측정값으로는 에너지의 흐름을 나타내는 포인팅 벡터(Poynting vector) 값을 선정하였다.

설계 영역이 전부 ZnO로 구성되어 있는 초기 모델에 대한 해석 결과를 Fig. 3에 나타내었으며, 파가 측정영역으로 진행하지 못하고 대부분 입사 방향으로 재반사 되는 것을 확인할 수 있다.

3. 설계 문제의 정의

3.1 지배방정식

2차원 TM 편광 모드에 대한 파동 방정식은 z 방향 성분만이 나타나게 되고 다음의 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\nabla \cdot \frac{1}{\epsilon_r} \nabla \mathbf{H}_z = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \mathbf{H}_z \quad (1)$$

여기서, \mathbf{H} 는 자계강도, ϵ_r 는 상대 유전율(Relative electric permittivity), c_0 는 공기 중에서의 빛의 속도를 나타낸다.

설계의 물성치로 사용되는 굴절률과 유전율의 관계식은 다음과 같다.

$$n^2 = \epsilon_r = \epsilon_r' + i \cdot \epsilon_r'' \quad (2)$$

이 때, n 는 자계강도, ϵ_r' 은 상대 유전율의 실수부, ϵ_r'' 는 상대 유전율의 허수부를 나타낸다.

측정 영역은 높이와 폭이 모두 $6\mu\text{m}$ 인 정사각형 구조이며, 앞에서 언급한 바와 같이 다음과 같이 정의된 포인팅 벡터값을 측정하였다.

$$P = \text{Re} \left[\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \left\{ \left(\frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial x} \mathbf{H}_z \right) \hat{i} - \left(\frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial y} \mathbf{H}_z \right) \hat{j} \right\} \right] \quad (3)$$

3.2 최적화 문제의 정식화

본 연구에서는 입사된 파가 반사되어 측정영역으로 진행하도록 하는 것을 목표로 하므로, 측정영역에서의 포인팅 벡터값을 최대화하는 것을 설계 목적으로 할 수 있다. 이에 대한 위상 최적화 문제는 다음과 같이 정식화할 수 있다.

$$\text{Min.} \quad \Psi(\phi, H(\phi)) = -(P_1 + P_2) \quad (4)$$

$$\text{Subject to} \quad G(\phi) = \int_{\Omega} \phi d\Omega - V_{req} \int_{\Omega} d\Omega \leq 0 \quad (5)$$

$$0 \leq \phi \leq 1 \quad (6)$$

여기서, Ψ 는 목적함수, ϕ 는 설계 변수인 페이즈 필드 파라미터를 의미하고 $G(\phi)$ 는 부피 제약 조건이다. 또한 최대화 문제를 음의 부호를 이용하여 최소화 문제로 변환하여 최적화 과정이 진행되었다.

설계 영역의 물성치로 사용되는 굴절률 값은 Table 1에 표기된 굴절률 값을 이용하여 다음의 식으로 정의된다. 이 때, ZnO와 공기 모두 중적외선 영역에서 허수 부분 값이 0이 되므로 실수 부분만이 물성치로 이용된다.

Table 1 Refractive index of each material

Material	Wavelength	Refractive index
Air	1-3 μm	1.0
Zinc Oxide(ZnO)	2 μm	1.9200
	3 μm	1.9076
	4 μm	1.8935
Silver(Ag)	2 μm	0.2309+i \times 13.023
	3 μm	1.2535+i \times 19.567
	4 μm	2.1392+i \times 26.027

$$n = n_{ZnO} + (1 - \phi)n_{air} \quad (7)$$

3.3 페이즈 필드법 기반의 위상 최적설계

페이즈 필드법 기반의 구조최적설계 방법은 다음과 같은 가상의 경계 에너지를 정의하여 서로 다른 두 가지 상 사이의 경계의 변화를 표현하는 방법이다(Cahn *et al.*, 1958).

$$\int_{\Omega} \frac{1}{2} \alpha |\nabla \phi|^2 d\Omega \quad (8)$$

α 는 확산계수(Diffusion coefficient)이며, 이 값은 두 상 사이의 변화를 조절함으로써 설계 형상의 복잡도를 조절할 수 있는 장점이 있다(Yamada *et al.*, 2010).

페이즈 필드법에서는 설계 변수의 갱신 단계에서 다음과 같은 Reaction-diffusion 방정식을 이용한다.

$$\frac{\partial \phi(x,t)}{\partial t} = \alpha \nabla^2 \phi(x,t) - \frac{\partial \bar{\Psi}(\phi, H_z)}{\partial \phi} \quad (9)$$

여기서, $\bar{\Psi}$ 는 Lagrange법을 이용하여 목적함수와 제약조건이 결합된 형태의 범함수이며 t 는 가상의 시간을 의미한다.

본 연구에서는 설계의 진행 중의 민감도를 구하는 과정에서 DWP(Double Well Potential)이 결합된 형태의 페이즈 필드 방법을 사용함으로써, 설계 변수인 페이즈 필드 파라미터 값이 두 상(Phase)과 상 사이의 경계에서만 이루어지도록 한다. 이에 따라 형상의 변화는 경계에서만 이루어지므로 기존의 밀도법 기반의 위상 최적설계 결과에 비해 단순한 형상의 결과를 도출할 수 있다. 이 경우 페이즈 필드 파라미터 값에 의해 식 (7)과 같이 굴절률이 정의되게 된다(Takezawa *et al.*, 2010, Choi *et al.*, 2011).

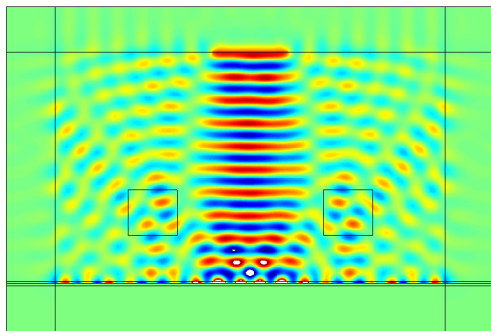
4. 설계 결과

이 장에서는 다양한 파라미터 값들의 변화에 따른 설계 결

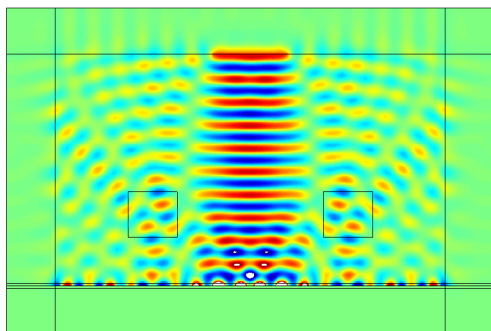
과의 영향을 살펴보기 위해 초기 형상과 부피 제약조건 및 확산계수의 값을 조절한 결과들을 제시하였다. 이 때, 목적함수 값은 Fig. 3에 도시된 초기 모델에 대한 측정영역에서의 포인팅 벡터 값을 1로 정규화(Normalization)하여 결과값을 비교-분석하였다. 최소화 문제에서 정규화한 값을 비교하므로 목적함수 값이 작을수록 좋은 결과를 나타낸다 할 수 있다. 설계 과정에서 반복(Iteration) 횟수는 2000번을 기준으로 하였다.

4.1 초기 형상의 영향

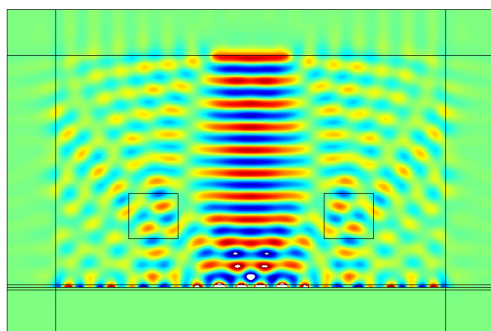
초기 형상에 대한 영향은 ϕ 값을 0.5, 0.6, 0.7로 균일하게 분포시키고 해석을 시작하여 얻어진 최적 형상과 그에 따



(a) Phase field parameter value of 0.5



(b) Phase field parameter value of 0.6



(c) Phase field parameter value of 0.7

Fig. 4 Magnetic field contour plots of optimal results according to each initial phase field parameter value



Fig. 5 Optimal configuration obtained by changing initial phase field parameter value; (a) 0.5, (b) 0.6, (c) 0.7

Table 2 Objective values from the optimization result of each phase field parameter value

Initial value	Objective(Normalized)
1.0(prototype)	-1
0.5	-7.41
0.6	-7.16
0.7	-7.14

른 목적함수 값으로 비교를 수행하였다. 광역 최적화에 근접한 결과를 얻기 위하여 부피 제약 조건은 설정하지 않았으며, 확산 계수값은 1.0×10^{-5} 을 기준으로 초기 형상 조건에 대한 영향을 확인하였다.

각 해석에 대한 자계 분포 그래프와 최종 형상을 각각 Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다. 또한 Table 2에 정규화한 목적함수 값을 표기하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 자계 분포는 초기의 ϕ 값에 따라 크게 변화하지는 않으나 목적한 방향으로 파가 반사됨을 확인할 수 있다. 마찬가지로 Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 최적 형상도 비슷한 형태의 결과를 확인할 수 있다. 특히 ϕ 값이 0.6과 0.7일 때에는 Table 2에서 정규화한 목적함수 값도 비슷하며 최종 형상도 거의 비슷하게 도출됨을 확인할 수 있다. 또한 목적함수 결과 값을 기준으로 볼 때 초기 값 ϕ 는 0.5로 사용하는 것이 더 나은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4.2 부피 제약 조건의 효과

부피 제약 조건에서는 초기 ϕ 값을 0.7로 균일하게 분포시키고 확산 계수 값이 1.0×10^{-5} 으로 고정된 상태에서 해석이 진행되었으며, 부피 제약 조건의 값으로 0.6과 0.7을 사용하여 제약 조건이 작용하지 않는 결과까지 총 3가지의 경우를 고려하였다. 부피 제약 조건을 사용하는 경우, 최적화 과정은 반복횟수 150~200회 부근에서 수렴하는 경향을 보였고, 그 결과는 부피 제약 조건을 사용하지 않는 경우에 비하여 좋지

Table 3 Objective values from the optimization result considering volume fraction effect

Volume fraction	Objective(Normalized)
0.6	-4.66
0.7	-4.52
No constraint	-7.14

못함을 Table 3에 기술된 목적함수 값을 통해 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 목적하는 IR 반사층의 설계에서는 부피 제약 조건을 고려하지 않을 때 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

4.3 확산 계수값의 영향 평가

확산 계수값의 변화에 따른 설계 결과를 판단하기 위해 앞선 경우들과 마찬가지로 파라미터 값들을 변화시켜 해석을 진행하였다. 초기 조건으로 ϕ 값을 0.5, 0.6, 0.7으로 한 경우와 부피 제약 조건은 사용하지 않은 결과들을 비교하였으며, 각 경우에서 확산 계수의 값은 1.0×10^{-4} , 1.0×10^{-5} , 1.0×10^{-6} 의 세 값을 사용하였다.

각각의 최적화 과정에서 얻어진 결과를 Table 4에 기술하였다. 확산 계수값이 1.0×10^{-4} 인 경우보다는 1.0×10^{-5} 나 1.0×10^{-6} 의 경우에 더 좋은 결과들을 보여주고 있다. 결과 값들 중에서 정규화한 목적함수 값이 7.43, 7.41, 7.17을 나타내는 값들이 가장 좋은 세 값을 확인할 수 있고, 이는 각각 1.0×10^{-6} , $\phi=0.7$ 과 1.0×10^{-5} , $\phi=0.5$ 그리고 1.0×10^{-6} , $\phi=0.5$ 의 파라미터 값으로 최적화를 진행하였을 때 얻어진 결과이다.

Fig. 6에는 $\phi=0.6$ 인 경우에 확산 계수 값에 따른 형상 변화를 도시하였다. 명확한 비교를 위해서 전체 설계 영역의 1/3 부분의 형상만을 나타내었다. 확산 계수가 클수록 형상이 좀 더 단순해지는 결과를 확인할 수 있으나 경계 부분에 약간의 회색 밀도(gray scale) 문제가 발생하고, 확산 계수

Table 4 Objective values from the optimization result considering diffusion coefficient effect

Diffusion coefficient	initial ϕ	Objective(Normalized)
1.0×10^{-4}	0.5	-6.74
	0.6	-6.46
	0.7	-5.72
1.0×10^{-5}	0.5	-7.41
	0.6	-7.16
	0.7	-7.14
1.0×10^{-6}	0.5	-7.17
	0.6	-6.89
	0.7	-7.43

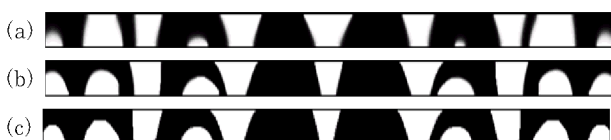


Fig. 6 Optimal configuration obtained by changing diffusion coefficient based on $\phi=0.6$: (a) 1.0×10^{-4} , (b) 1.0×10^{-5} , (c) 1.0×10^{-6}

의 값이 작아질수록 경계 부분은 명확해지지만 약간은 날카로운 형태의 형상을 얻게 됨을 확인할 수 있다.

5. 최적 모델의 선정

4장에서 제시된 결과들을 종합적으로 고려할 때, 적외선 반사층의 최종적인 최적 모델의 선정은 정규화한 목적함수 값이 7.43인 모델이 될 수 있다. 이 때, 확산 계수의 값은 1.0×10^{-6} 이며, 초기 ϕ 값이 0.7이다. 이 모델에 대한 수렴도 그래프를 Fig. 7에 나타내었으며 목적함수의 수렴이 잘 이루어

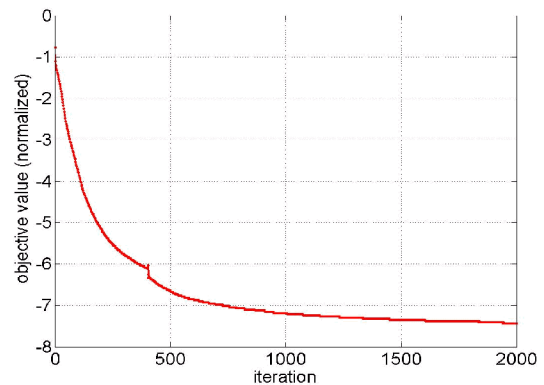
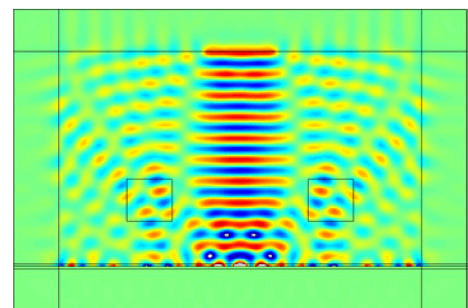
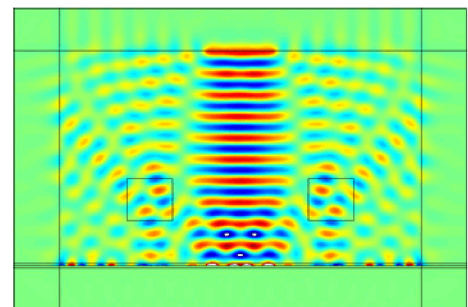


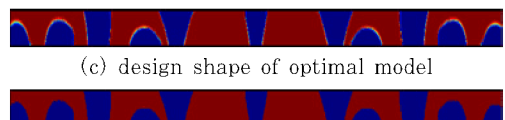
Fig. 7 Convergence history of $\alpha=1.0 \times 10^{-6}$ and $\phi=0.7$



(a) magnetic field contour of optimal model



(b) magnetic field contour of modified model



(c) design shape of optimal model



(d) modified shape

Fig. 8 Analysis result of optimal model and modified model

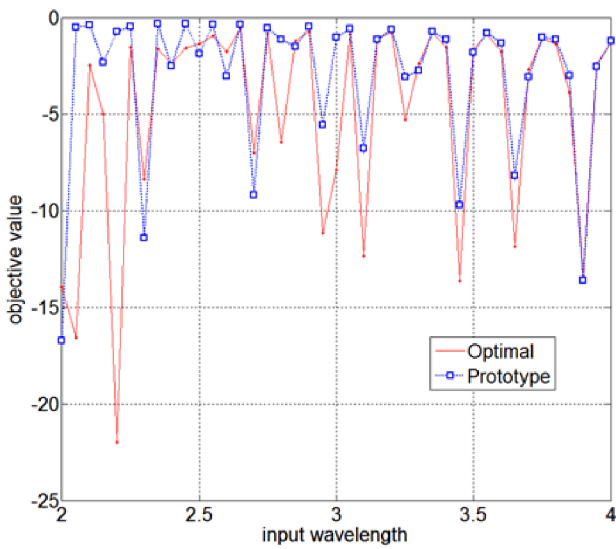


Fig. 9 Normalized objective values according to the variation of input wavelength

어짐을 보여주고 있다.

이 모델에 대하여 0과 1이 아닌 중간 값을 가지는 부분들을 제거한 실제 제작을 고려한 모델에 대한 해석과 입사 파장을 $2\mu\text{m}$ 부터 $4\mu\text{m}$ 까지 변화시켜 추가적인 해석을 수행하였다. Fig. 8에는 최적 모델과 중간 페이즈 필드 파라미터 값을 갖는 부분들을 제거한 수정된 모델의 자기장 분포와 설계 영역의 형상을 나타내었으며, 이때의 정규화된 포인팅 벡터의 값은 7.64를 얻을 수 있었다.

중적외선 부근의 다른 파장들을 초기 형상과 최적화된 형상에 입사시켜 비교한 해석 결과를 Fig. 9에 나타내었고, 그 값은 포인팅 벡터 값을 정규화하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 $3\mu\text{m}$ 파장에서 최적화된 형상은 중적외선 대역 전체에서는 부분적으로 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 적외선 스텔스 구조에 대한 기초 개념 설계로서 적외선 반사층을 설계하였으며, $3\mu\text{m}$ 의 중적외선 파를 입사조건으로 사용하여 최적 형상을 도출하였다. 제시된 페이즈 필드법 기반의 구조최적설계 방법을 이용하여 초기 페이즈 필드 파라미터의 값 및 부피제약조건 그리고 확산 계수 값들을 변화시켜가며 해석을 진행하였다. 목적함수의 값은 측정영역에서 계산된 포인팅 벡터 값을 초기 모델의 결과 값에 대하여 정규화된 값으로 표현하였다.

목적함수 값을 기준으로 하여 가장 좋은 성능을 보여준 모델을 최적 결과로 선정하였으며, 이는 초기 모델에 비하여 7.43배 증가된 결과 값을 보여주고 있다. 최적 모델에 대하

여 회색 밀도 부분을 페이즈 필드 파라미터 값 0.5를 기준으로 cut-off한 모델은 7.64배의 증가된 목적함수 값을 보였다. 또한 최적 모델을 기준으로 입사 파장을 변경해가며 파장대역에서의 반사층으로서의 효과를 검토하였다.

본 연구의 결과를 통하여 페이즈 필드법 기반의 위상 최적 설계 방법이 중적외선 영역의 구조물의 설계에도 유용하게 적용 가능하며 해당 결과는 적외선 스텔스를 위한 기초 개념 설계로서 활용될 수 있음을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Ahn, S.-H., Cho, S. (2013) Isogeometric Topological Shape Optimization of Structures using Heaviside Enrichment, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 26(1), pp.79~87.
- Ball, R.E. (2003) The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, *AIAA Education Series*, Blacksburg.
- Bendsøe, M.P., Sigmund O. (2003) Topology Optimization: Theory, Methods and Applications, *Springer-Verlag*, Berlin.
- Cahn, J.W., Hilliard, J.E. (1958) Free Energy of a Nonuniform System. I. Interfacial Free Energy, *J. Chem. Phys.*, 28(2), pp.258~267.
- Choi, J.S., Yamada, T., Izui, K., Nishiwaki, S., Yoo, J. (2011) Topology Optimization using a Reaction-diffusion Equation, *Comput. Methods Appl. Mech. & Eng.*, 200, pp.2407~2420.
- Kang, D.W., Kim, I.-D., Myong, R.-S., Kim, W.-C. (2014) Investigation of Aircraft Plume IR Signature for Various Nozzle Configurations and Atmospheric Conditions, *J. Korean Soc. Aeronaut. & Space Sci.*, 42(1), pp.10~19.
- Lim, H., Yoo, J. (2014) Topological Nano-Configuration by Structural Optimization based on the Phase Field Method, *Struct. & Multidiscip. Optim.*, 49, pp.209~224.
- Mahulikar, S.P., Sonawane, H.R., Kolhe, P.S. (2007) Infrared Signature Studies of Aerospace

- Vehicles, *Prog. Aerosp. Sci.*, 43, pp.218~245.
- Park, M.-J., Lee, D.-H., Myong, R.-S., Cho, T.-H.**
 (2008) An Integrated System for Aerodynamic, Structural, and RF Stealth Analysis of Flying Vehicles, *J. Korean Soc. Aeronaut. & Space Sci.*, 36(1), pp.86~91.
- Takezawa, A., Nishiwaki, S., Kitamura, M.**
 (2010) Shape and Topology Optimization based on the Phase Field Method and Sensitivity Analysis, *J. Comput. Phys.*, 229, pp.2697~2718.
- Yamada, T., Izui, K., Nishiwaki, S., Takezawa, A.** (2010) A Topology Optimization Method based on the Level Set Method Incorporating a Fictitious Interface Energy, *Comput. Methods Appl. Mech. & Eng.*, 199, pp.2876~2891.

요 지

본 연구에서는 페이즈 필드법을 기반으로 하는 위상 최적설계 방법을 통하여 적외선 스텔스 효과를 위한 적외선 반사층의 설계를 진행하였다. 이를 위하여 수직으로 입사하는 적외선 파를 반사층에서 반사되어 원하는 방향으로 전파되도록 모델링을 하였다. 전파 방향에 측정 영역을 설정하여 해당 영역에서의 목적함수 값을 최대화하도록 설계가 진행되었으며, 이때 목적함수는 전자기파의 에너지 흐름을 나타내는 포인팅 벡터(Poynting vector)로 설정하였다. 페이즈 필드법 기반의 방법에서의 여러 파라미터 값들을 변경해 가며 설계 결과를 도출하였고, 목적함수 값을 최대화하는 모델을 최적 모델로 선정하였다. 선정된 최적 모델에서 gray scale을 cut-off 방법으로 제거한 경우 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 또한 중적외선 영역에서의 효과를 고려하기 위하여 입사되는 파장을 바꿔가며 얻은 해석결과를 검토하였다. 본 연구의 유한요소해석 및 최적화 과정은 상용 프로그램인 COMSOL과 Matlab을 연동하여 수행하였다.

핵심용어 : 적외선 피탐지, 위상 최적설계, 페이즈 필드법, 적외선 반사층