



J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 47(12), 897-903(2019)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2019.47.12.897

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

주파수 필터링 하이브리드 복합재의 단순화된 설계 방법

김윤재¹, 백상민², 오원석³, 고정인⁴

Simplified Design Methodology for Frequency Filtering Hybrid Composites

Yoon Jae Kim¹, Sang Min Baek², Won Seok Oh³ and Jeong In Go⁴

Agency for Defense Development

ABSTRACT

This paper represents an simplified design method of hybrid composites. The proposed method is very simple compared to conventional design approaches and easy to apply to practical design problems. The method is based on not complex optimization approaches but conventional theories. The equivalent dielectric properties concept and multi-layered dielectric slab theory are an important theoretical background of the proposed method. This approach divide the design domain into several domain which have theoretically different electro- agnetic functionality. Then, the domains are expressed by equivalent dielectric properties. Numerical analysis are performed several types of design candidates. S-parameter test for final design was conducted for validate the proposed approach indirectly.

초 록

본 논문에서는 하이브리드 복합재를 전자기학적 성능을 단순화하여 설계하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 전통적인 간단한 이론들을 바탕으로 하며 최적 설계 등과 같은 기존 하이브리드 복합재의 설계 방법들에 비하여 간단하다. 따라서, 실제적인 문제에 대하여 보다 쉽게 적용할 수 있다. 본 논문은 등가 유전율 및 다층 유전체에서의 전파 전송 이론을 이용한다. 우선, 설계 영역을 전자기학적 기능에 따라 몇 개의 영역으로 구분하고 각 영역을 등가 유전율로 표현하였다. 입사각 안정성과 투과 성능을 고려하여 가능한 유전율 조합을 산출하고 몇 번의 전자기 성능 해석을 통하여 기본 설계 형상을 도출하였다. 제안한 설계 방법의 타당성을 간접적으로 확인하기 최종 설계안에 대한 전파투과시험을 수행하였다.

Key Words : Layout Design(배열설계), Frequency Filtering(주파수 필터링), Equivalent Dielectric Constant(등가유전율)

1. 서 론

주파수 선택표면을 통하여 얻을 수 있는 주파수 영역에서의 전자기파 필터링 효과를 통하여 군수분야에 서는 주파수 선택적 스텔스 레이더, 주파수 선택적

반사판을 이용한 스텔스 안테나 등에 이용할 수 있다. 주파수 선택표면의 주요 성능인 입사각에 대한 안정성 증대를 위한 소형화[1-4], 저지대역에서의 큰 roll-off 특성[1,5] 증대 등을 위하여 오랜 기간 동안 많은 연구가 진행되었으며 수많은 결과들이 문헌을

† Received : August 6, 2019 Revised : October 1, 2019 Accepted : October 31, 2019

¹ Senior Researcher, ² Senior Researcher, ³ Senior Researcher, ⁴ Researcher

¹ Corresponding author, E-mail : 78strephon@add.re.kr, ORCID 0000-0002-1048-5318

© 2019 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

통하여 소개 되었다.

Munk[1]가 언급한 바와 같이 주파수 선택표면의 주위에 적절한 유전율을 가진 유전체를 배열함으로써 입사각의 변화에 의한 전파 투과 및 반사 특성 변화를 제어할 수 있음이 알려졌다. 다시 말해 입사각 변화에 따른 하이브리드 복합재의 주파수 특성이 변화하지 않도록 하는 적절한 유전체 조합이 존재함을 의미한다. 그러나 여기에는 레이돔 등에 필수적으로 필요한 다층 구조에 대한 개념이 적용되지 않았다. 이러한 단점에 착안하여 Liu 등[6]은 등가 유전율 개념을 도입하여 다층으로 이루어진 보상층(Compensation Layer)의 유전율을 하나의 등가 유전율로 표현하고 극성(Polarization) 방향에 따른 차이를 최소화 시키는 상수 값을 수치적으로 조사함으로써 다층으로 이루어진 하이브리드 복합재의 입사각 안정성을 극대화 시키는 방법을 제안하였다.

하이브리드 복합재의 적층 구조를 설계할 경우에 높은 roll-off 특성을 구현하고 투과밴드 폭을 증대시키기 위하여 유전체뿐만 아니라 주파수 선택표면 역시 다층 구조 형태로 구성하는 것이 일반적이다[1]. 이럴 경우 주파수 선택표면 사이에 다층으로 구성된 또 다른 유전체 층들을 삽입하여야 하며 이렇게 구성된 유전체 층의 유전율 및 두께에 따라 전체적인 하이브리드 복합재의 주파수 특성에 큰 영향을 받게 된다. 그런데 기존 방법은 이러한 점을 고려하지 않았다. 물론, 시행착오법이나 최적화 기법을 이용하여 적절한 유전체의 조합을 찾는 것이 가능하지만 다층 유전체 구조에 대한 전달이론을 이용하면 최적 조합을 찾기 위한 시험 개수를 획기적으로 줄일 수 있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 방법을 소개하고 해당 설계 방법론을 기반으로 설계된 하이브리드 복합재의 전자기파 시험을 통하여 그 타당성을 간접적으로 입증하고자 한다. Fig. 1과 같이 주파수 선택표면(FSS, Frequency Selective Surface)이 2장 적용된 하이브리드 복합재에 대해서 제안된 설계 방법론을 설명한다.

유전체로 사용된 재료는 항공용 복합재 및 폼코어 재료로 흔히 쓰이는 유리섬유복합재(GFRP, Glass Fiber Reinforced Plastics)와 Rohacell 사의 대표적인 저손실 폼인 HF71이다. 각 재료의 유전율은 4.xxx와 1.xxx이고 자유공간 측정장비로 측정하여 사용하였다.

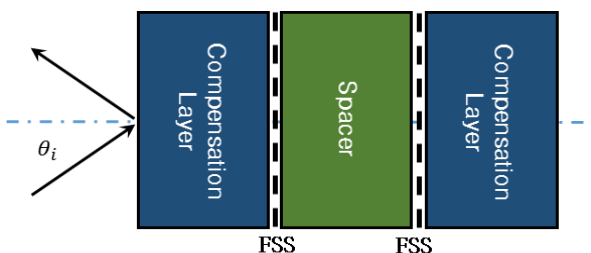


Fig. 1. Hybrid composite material with doubly stacked frequency selective surfaces

II. 본 론

2.1 단순화된 배열 설계 방법

2.1.1 보상층(Compensation Layer)의 전자기 설계

입사각 안정성이 높은 하이브리드 복합재는 입사각이 변해도 입사파의 분극에 따라 주파수 응답 특성이 변하지 않는다. Munk[1]가 언급한 바와 같이 임의의 입사각 θ_w 에서 보상층의 유전율을 식 (1)과 같이 설정하여 입사각 안정성을 증대시킬 수 있다.

$$\epsilon_c = 1 + \cos \theta_w. \quad (1)$$

여기서, ϵ_c 는 단층 유전체 보상층의 유전율을 나타내며 θ_w 는 TE와 TM 모드에서의 임피던스가 일치하는 입사각이다. 이를 다시 위상조건[1]과 결합하면 식 (2)와 같이 입사각 안정성을 증대시키는 보상층의 두께 h_c 를 구할 수 있다. 이때, 설계 주파수에서의 파장 λ_w 를 이용하여 h_c 를 표현하면

$$h_c = \frac{1}{4} \frac{\lambda_w}{\sqrt{\epsilon_c \cos \theta_w}} = k \frac{\lambda_w}{\sqrt{\epsilon_c}} \quad (2)$$

과 같다.

Liu 등[6]은 식 (2)에 정리된 바와 같이 보상층의 파장을 나타내는 부분 이외의 값들을 변수 k 로 표현하고 다시 입사각 안정성을 수학적으로 나타내는 안정성 지수(Stability Factor)를 정의하였다. 다시 말해, 안정성 지수를 최소화시키는 변수 k 를 조사하여 다층으로 구성된 보상층의 두께를 선정하는 방법을 제안하였다. 만약, Fig. 2와 같이 보상층이 다층 유전체로 구성되어 있다면 식 (2)에서 ϵ_c 는 식(3)과 같이 등가 유전율로 표현할 수 있고 각 유전체의 유전율과 유전체의 두께로 표현된다[6,7].

$$\epsilon_c = \frac{1}{h_t} \sum_{n=1}^N \epsilon_n h_n. \quad (3)$$

이때, h_t 은 N 개의 유전체로 구성된 다층 구조의 전체 두께이다. Liu 등[6]에 의해 제안된 방법을 이용하여 설계값을 산출하기 위해서는 주파수 및 k 값에 대해서 반복적인 전자기 해석을 수행하여야 한다. 따라서, 해를 도출하기 위해서 상당한 계산 자원 및 시간이 필요하게 된다.

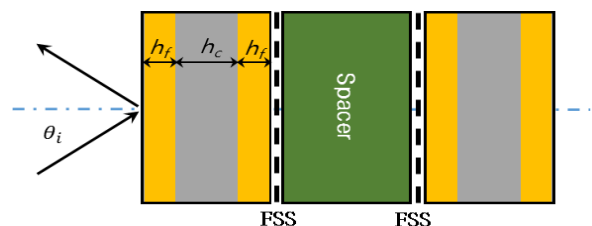


Fig. 2. Sandwich type compensation layer

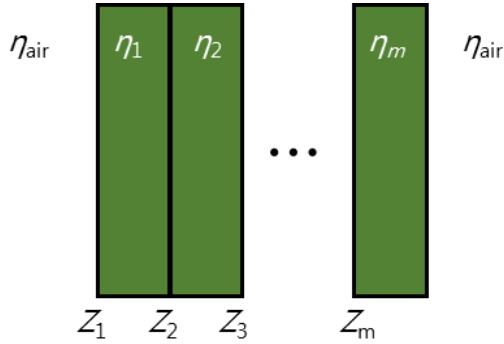


Fig. 3. Multi-layered dielectric slab

2.1.2 간격자(Spacer)의 전자기 설계

두께가 L 이고 임피던스가 η 인 유전체에 전자기파가 입사할 때 이 유전체의 두께 $L = \lambda/4$ 혹은 $L = \lambda/2$ 일 때 전달율은 최대가 된다[9].

$$Z_1 = \frac{\eta_1^2}{Z_2} = \frac{\eta_1^2}{\eta_2^2 / Z_3} = \dots = \eta_{air}. \tag{4}$$

이를, Fig. 3과 같이 서로 다른 유전율을 가진 m 개의 다층 유전체의 경우로 확장할 수 있다. 예를 들어, 유전체 격벽이 3개($m=3$)의 유전체로 적층되어 있을 때, 전달율이 최대값을 가지는 조건을 구할 수 있으며 유전율과 임피던스 간의 관계식을 이용하며 식 (5)과 같이 최대 전달율을 갖게 하는 유전체 층간의 유전율 관계식을 얻을 수 있다.

$$\epsilon_1^2 = \epsilon_2. \tag{5}$$

다음 장에서 다시 언급하겠지만 주파수 필터링 구조에서 입사각의 안전성을 확보하기 위해 보상층의 등가유전율을 설계한 다음, 설계된 보상층의 등가유전율을 이용하여 간격자의 두께 및 유전율을 선정함으로써 입사각 안정성 및 전달율이 높은 주파수 필터링 구조를 손쉽게 얻을 수 있다.

2.1.3 단순화된 하이브리드 복합재의 전자기 설계방법

항공기에 적용되는 일반적인 투과형 레이돔과 같이 주파수 필터링 기능을 가진 하이브리드 복합재의 설계에도 Fig. 3과 같이 서로 다른 유전율을 가진 유전체들을 적층한 다층 유전체 구조를 적용한다. 항공기용 레이돔 설계에는 주로 A, B 그리고 C 샌드위치 구조[8]가 흔히 쓰이는데 주파수 선택표면이 삽입되어 있는 주파수 필터링 구조 또는 하이브리드 복합재도 이와 크게 다르지 않다. 그러나 주파수 선택표면을 포함한 레이돔의 경우 입사각 안정성, 저지대역의 반사특성, 투과 대역에서의 투과특성 등 일반레이돔에 비하여 훨씬 다양한 전자기적 성능을 복합적으로 고려하여야 하므로 일반 레이돔에 비하여 훨씬 복잡하고 어려운 설계 단계를 거치게 된다.

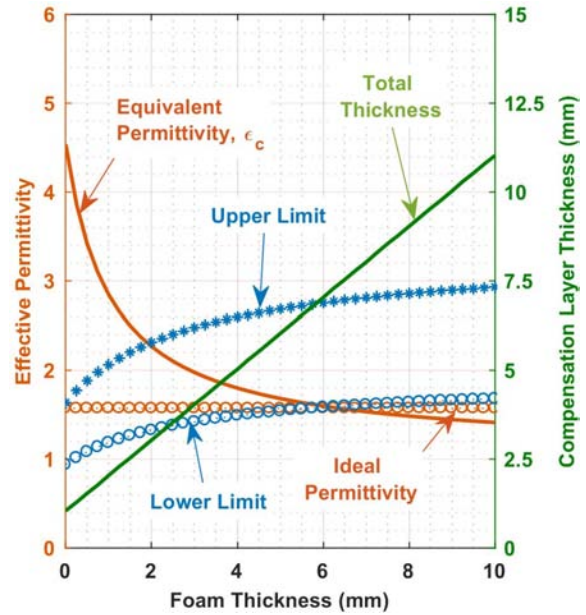


Fig. 4. Permittivity design of compensation layer

서론에서 언급한 바와 같이, 이런 복잡한 설계 문제를 해결하고 설계 목표에 부합하는 주파수 필터링 구조를 설계하기 위해서 이론적 접근법, 최적 설계 기법 등이 이용될 수 있다. 그러나 이 역시 이 분야에서 비전문자나 개발 기간이 촉박한 경우에는 그 적용이 쉽지 않다. 본 논문에서는 앞의 두절에서 언급된 이론을 바탕으로 기존의 복잡한 방법들에 비하여 보다 손쉽게 주파수 필터링 구조를 설계하는 방법을 소개하고자 한다.

본 논문에서는 주파수 필터링 구조인 주파수 선택표면이 두 장이고 유전체는 유리섬유 복합재와 폼코어만 사용한 가장 실제적인 경우를 적용 예로 설명한다. Fig. 1과 같이 전자기적 기능별로 간략히 각 영역 구분할 수 있고 각 영역은 유전체인 유리섬유 복합재와 폼코어를 이용하여 설계할 수 있다. 복합재의 최외곽 층은 유리섬유 복합재가 있는 것으로 가정하였다. 폼코어의 두께 변화에 따른 보상층의 등가유전율을 식 (4)를 이용하여 구하면 Fig. 4와 같다.

Figure 4에서 파란색 그래프는 식 (2)에서 입사각이 $0 \sim \theta_w$ 까지 변화할 때 생기는 보상층의 두께 변화 곡선이다. 이때, 보상층의 유전율 ϵ_c 를 등가유전율로 표현하면 Fig. 4의 갈색 실선과 같다. 따라서 적용 가능한 폼코어의 두께는 약 2.2 ~ 6 mm이다.

한편, GFRP와 폼코어의 조합으로 얻을 수 있는 간격자의 유전체 조합은 Fig. 5(a)와 같다. 이 중에서 Fig. 4와 식 (5)의 조건을 만족시키는 형태는 Fig. 5(b)에 표시한 영역과 같다. 그러므로 간격자에 적용될 수 있는 폼코어는 약 0 ~ 2 mm의 두께 이내에서 설계되어야 하며, 유리섬유는 약 1 ~ 2.5 mm 두께 정도의 범위가 입사각에 대한 안정성을 확보하면서

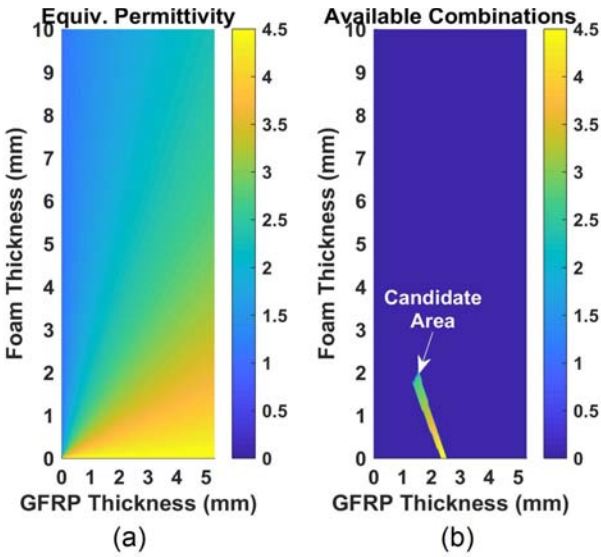


Fig. 5. Equivalent permittivity of spacer and thickness combinations. Available thickness combinations of GFRP and foam core (a) are confined to the candidate area (b) where satisfies a maximizing transmission condition

동시에 전달율을 증대시킬 수 있는 주파수 필터링 구조 설계를 위한 후보영역이 된다. 따라서 보상층과 간격자의 유전율 및 폼의 두께 조합 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1의 세가지 설계안을 주파수 선택표면을 포함한 주파수 필터링 구조를 모델링 하였으며 단위셀(Unit Cell)의 경계에는 주기 경계 조건(Periodic Boundary Condition인 Floquet Condition을 부여하였다[10]. 본 연구에 적용된 주파수 선택표면은 FLL(Four-legged Loaded)로 익히 잘 알려진 형태의 구조[1]이며 FCCL(Flexible Copper Clad Laminate)를 이용하여 제작한 것으로 가정하였다. 주파수 선택표면은 주위 유전체의 특성에 따라 공진 주파수가 변화하므로 Table 1의 조합으로 구성된 하이브리드 복합체가 f_0 근방에서 투과 밴드를 가지도록 주파수 선택표면의 주기(Period)를 조정하였다. 상용 전자기해석 소프트웨어인 CST Microwave의 F-solver를 이용하였으며 유한 요소 생성을 위하여 삼각뿔 요소(Tetrahedral Element)를 이용하였다. CST에서 얻은 결과와 안정성 계수를 이용하여 각 조합의 입사각 변화에 대한 안정성을 비교하였다. 안정성 계수는 다음의 식 (6)과 같이 정의된다.

$$F_{\theta} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{normal}(f_i) - T_{oblique}(f_i))^2}. \quad (6)$$

여기서, N 은 투과대역에서 계산한 주파수의 개수, T_{normal} , $T_{oblique}$ 는 각각 주파수 f_i 에서 계산한 수직 및

경사입사 시에 전달율이다. 따라서, F_{θ} 는 수직입사와 입사각 θ 만큼 기울어진 경사입사 시의 주파수 영역에서의 전달율 차이의 평균을 나타낸다.

Table 1에 정리된 조합에 대한 전자기 해석 결과는 Figs. 6~8에 도시하였다. 수직입사($\theta=0^\circ$)의 경우와 입사각 안정성을 확인할 수 있도록 입사각이 10, 30 및 50°인 경우를 함께 도시하였다. 각 그래프는 투과율 값들 중에 최대값을 이용하여 정규화(Normalization)하였고 붉은 색 및 녹색 마커는 각각 TE, TM 모드에 대한 투과율 해석 결과를 나타낸다. Fig. 6의 경우, 중심주파수 f_0 에 대하여 투과대역이 거의 대칭형으로 구성되었고 입사각에 대하여 주파수 특성이 거의 변하지 않음을 확인할 수 있으며 Butter-worth Design[1]에 가까운 투과밴드 특성을 보이고 있다. 그러나 Fig. 7과 Fig. 8의 경우 상대적으로 Chebyshev 형태의 특성을 보이고 있다. 이는 간격자로 사용된 유전체 조합에 유전율이 낮은 폼재료가 많이 사용되어 주파수 선택표면 사이의 상호 연성이 커져서 생기는 현상[1]으로 생각된다.

Table 1. Design candidates obtained by the proposed design methodology

Candidates	Spacer		
	Foam	GFRP	Foam
1	2.20	2.54	0.00
2	4.00	1.78	1.00
3	6.00	1.52	2.00

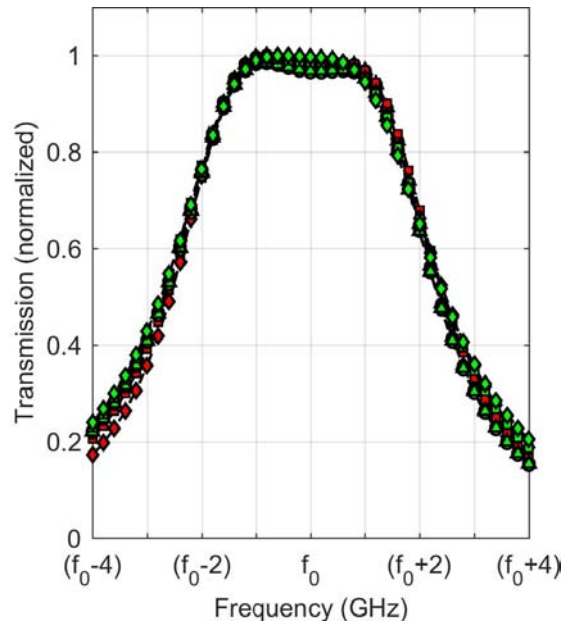


Fig. 6. Transmission profiles of the first design candidate in frequency domain

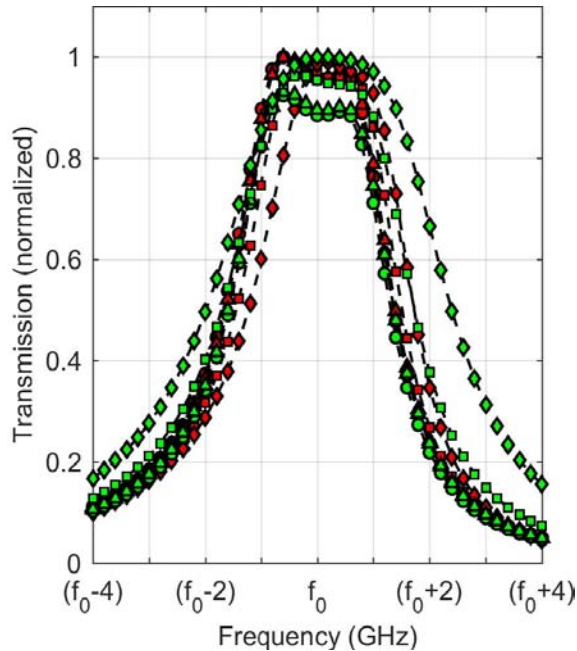


Fig. 7. Transmission profiles of the second design candidate in frequency domain

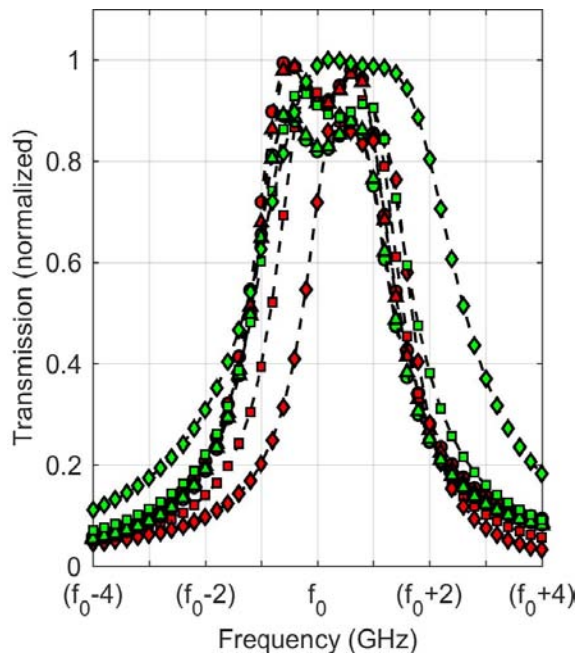


Fig. 8. Transmission profiles of the third design candidate in frequency domain

각 조합별로 10 ~ 50°까지 식 (6)를 이용하여 안정성 계수를 산출하였으며 Table 2에 정리하였다. 첫 번째 설계안은 보상층의 등가 유전율이 가장 높은 경우이고 마지막 세 번째 설계안은 보상층의 등가 유전율이 가장 낮은 경우이다.

Figure 6과 Table 2에서 알 수 있듯이 보상층의 등가 유전율이 높을수록 입사각 변화에 대하여 좀 더

Table 2. Stability factors of each candidate

Pol.	Candidates	F_{10}	F_{30}	F_{50}
TE	1	0.0017	0.0165	0.0334
	2	0.0096	0.0538	0.1123
	3	0.0119	0.1027	0.2085
TM	1	0.0027	0.0238	0.0321
	2	0.0126	0.0859	0.2008
	3	0.0049	0.0796	0.2261

안정적인 특성을 보였다. Snell's Law를 상기하면 입사면에서의 유전율이 높을수록 입사 이후, 굴절각이 작아지기 때문에 일어나는 현상으로 생각된다.

첫 번째 설계안은 보상층의 등가 유전율과 식 (7)과 같이 표현되는 유전율과 파장간의 관계

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}} \quad (7)$$

를 살펴보면 보상층의 두께는 거의 파장의 1/4에 근사하는 값이다. 식 (7)에서 λ_0 은 공기에서의 전자기파의 파장이다. 이는 Liu 등[6]의 연구에서 얻어진 결과와 같다. 그러나 본 연구에서는 단지 3번의 주파수 해석 결과를 얻을 수 있었다.

2.2 평판 시편을 이용한 전자기 투과 시험

제안된 설계 접근법과 해석결과를 검증하기 위한 시편 시험을 수행하였다. 시편의 전자기적 성능을 측정하기 위한 장비는 Fig. 9와 같고 MMS(Microwave Measurement Systems) 사에서 판매하는 상용제품인 자유공간 측정 장비(FMS, Free-field Measurement System)이다. 이 장비는 평판 시편의 유전율, 특성 임피던스 및 S-parameter 등이 측정가능하며 설정할 수 있는 최대 입사각은 55°이고 5.85 ~ 110 GHz까지 측정 가능하다.

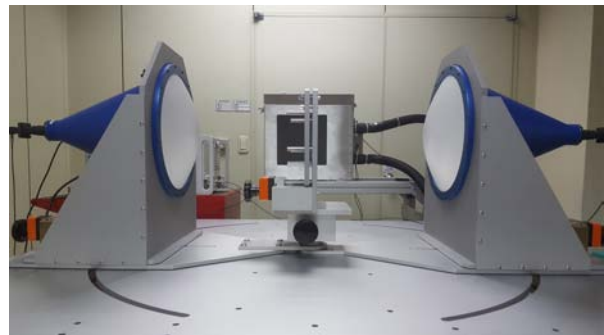


Fig. 9. S-parameters acquisition system

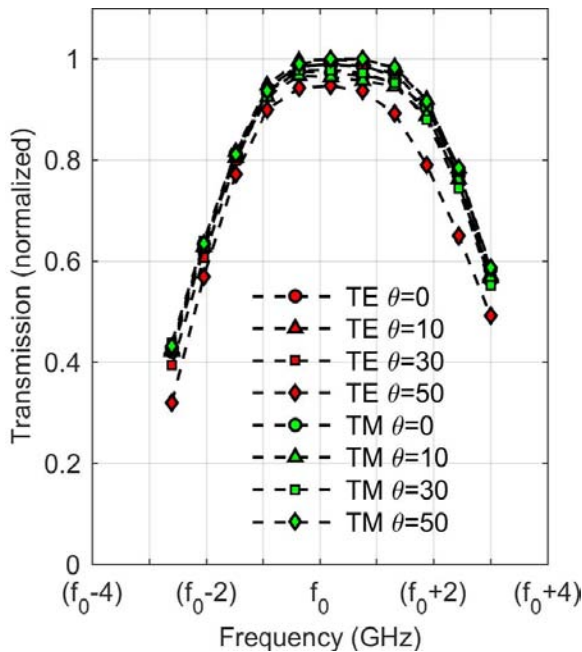


Fig. 10. Experimentally obtained transmission profiles of the first design candidate in frequency domain

설계 및 해석 결과를 시험을 통하여 확인하기 위하여 주파수 선택표면을 포함한 평판시편을 제작하였으며 시편 크기는 $300 \times 300 \text{ mm}^2$ 이다. 설계 대비 실제 제작된 시편의 두께 값 오차는 0.34 mm 이었다. S-parameter 획득 시험은 관심주파수 f_0 근처의 5 GHz 대역($f_0 \pm 2.5 \text{ GHz}$)에서 진행하였고, $0, 10, 30$ 및 50° 입사각 경우에 대하여 각각 전달률을 측정하였다.

측정 결과는 Fig. 10과 같다. 해석의 경우와 같이 $0, 10, 30$ 및 50° 입사각의 경우에서 얻어진 S_{12} 값 중 최대치를 가지고 정규화된 값을 도시하였다. Fig. 10에서 확인할 수 있듯이 만족할만한 입사각 안정성을 실험적으로도 확인할 수 있었다. 그러나 안정성 성능은 해석에 비하여 다소 열화된 것을 볼 수 있으며 각각의 안정성 지수는 TE 모드일 때 각도별로 $0.0172, 0.0461$ 및 0.0827 이고 TM 모드일 때 $0.0040, 0.0739$ 및 0.0747 과 같이 나타났다. 앞서 언급한 바와 같이 제작상의 오차 및 해석에 적용한 유전체의 유전율과 시편의 유전율의 차이 등을 고려하면 시험 결과 역시 만족할 만한 입사각 안정성을 보인다.

III. 결 론

본 논문에서는 등가유전율 및 다층 유전체에 대한 전송 이론 등의 기존에 잘 알려진 이론에 근거하여 주파수 선택표면이 삽입된 주파수 필터링 하이브리드 복합재를 설계하는 방법을 제안하였다. 이 방법을 이용하면 기존의 최적 설계 등의 복잡한 방법 없이

도 간략하게 주파수 필터링 복합재 구조를 설계할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 짧은 시간 내에 여러 설계 형상 초안을 도출하고 검토하여야 하는 초기 개발 단계에서는 유용한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 논문에서 주파수 필터링 복합재 구조를 설계하기 위한 제안한 방법은 다음과 같다. 우선, 유전체로 이루어진 영역을 전자기학적인 기능에 따라 분할하고 분할된 각 영역을 등가 유전율로 표현한다. 그러면 수십 개로 이루어진 유전체 층을 단지 몇 개의 등가 유전층으로 단순화시킬 수 있다. 그런 다음, 만족할 만한 입사각 안정성을 보이는 보상층의 유전율 선택하도록 하였다. 일단 보상층의 유전율이 결정되면 간격자의 유전율은 최대 전달율 조건을 적용하면 쉽게 간격자의 유전체 조합을 구할 수 있게 된다.

이런 과정을 통하여 원하는 성능을 가지는 주파수 필터링 복합재의 유전체의 두께 비를 쉽게 구할 수 있게 된다. 제안 방법을 이용하면 단지 몇 번의 전자기 해석을 통하여 하이브리드 복합재의 설계안의 도출할 수 있게 된다. 마지막으로 실험을 통하여 확인한 최종 설계안에서도 기대했던 전자기 성능을 보이는 것을 확인하였다. 따라서 실무적인 범위에서 제안 방법을 적용하는 것은 충분히 가능할 것으로 판단된다.

References

- 1) Munk, B. A., *Frequency Selective Surface: Theory and Design*, John Wiley & Sons, New York, USA, 2000.
- 2) Lin, B. Q., Zhao, S. H., Da, X. Y., Fang, Y. W., Ma, J. J., and Zhu, Z. H., "Design of a Miniaturized Element Frequency Selective Surface," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 57, No. 11, 2015, pp. 2572~2576.
- 3) Sarabandi, K., "A Frequency Selective Surface with Miniaturized Element," *IEEE Transactions on Antenna Propagation*, Vol. 55, No. 5, 2007, pp. 1239~ 1245.
- 4) Li, W., Wang, C., Zhang, Y., and Li, Y., "A Miniaturized Frequency Selective Surface Based on Square Loop Aperture Element," *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 2014, ID701279.
- 5) Antonopoulos, C., and Parker, E. A., "Design Procedure for FSS with Wide Transmission Band and Rapid Rolloff," *IEE Proceedings - Microwave, Antennas and Propagation*, Vol. 145, No. 6, pp. 508~510.
- 6) Liu, N., Sheng, X., Zhang, C., Fan, J., and Guo, D., "A Feasible Bandwidth Compensation

Technique for FSS Radome Design," *IEICE Electronics Express*, Vol. 14, No. 13, 2010, pp. 1~8.

7) Hu, F. G., and Song, J., "Modeling of Multilayered Media Using Effective Medium Theory," *Proceeding of 19th Annual Conference, EPEPS*, 2010, pp. 225~228.

8) Chen, F., Shen, Q., and Zhan, L., "Electromagnetic optimal design and preparation of

broadband ceramic radome material with graded porous structure," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 105, 2010, pp. 445~461.

9) Orfanidis, S. J., *Electromagnetic Waves and Antenna*, Rutgers University, 2008.

10) Brillouin, L., *Wave Propagation in Periodic Structure: Electric Filter and Crystal Lattice*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1946.