論文99-36D-2-2

이동체 위성방송 수신 안테나용 레이돔 설계

(A Design of Radome for Mobile DBS Receiving Antenna)

文 榮 燦 *, 全 舜 翼 *, 李 聖 八 *

(Young-Chan Moon, Soon-Ick Jeon, and Seong-Pal Lee)

요 약

본 논문에서는 저가의 상용 제품용 이동체 위성방송 수신 안테나 레이돔의 설계 절차를 실험 결과들과 함께 제시한다. 우선 레이돔으로 사용될 재료 선정을 위한 유전체의 복소유전율 측정 방법과 함께 국내에서 생산되는 몇몇 저가의 플라스틱에 대한 측정 결과를 제시하였다. 그리고 측정된 플라스틱들을 레이돔으로 사용했을 경우의 투과 손실을 해석하고, 플라스틱 박판을 통한 전자파 투과 시험으로 해석 결과를 검증하였다. ABS 단일층 레이돔 및 A-샌드위치(PET-FOAM-ABS) 레이돔의 두 가지 레이돔을 실제 제작하여 시험하였다. 최대 전자파 입사 각도인 57도에서 투과손실은 ABS 단일층 레이돔은 1.5dB이나, A-샌드위치 구조는 투과 손실이 0.6dB 이하이다. 또한 A-샌드위치 구조 레이돔의 교차편파 발생은 20dB 이하이다.

Abstract

The design procedure as well as some test results of a low-cost commercial radome for mobile DBS(Direct Broadcasting Satellite) receiving antenna system are presented in this paper. At first the complex permittivity of dielectric material should be measured in order to select a material for radome design. The complex permittivities of low-cost plastics supplied by domestic vendors are measured and presented. And then the transmission losses of that sheets are calculated. The calculated results are verified by the measurements of wave transmission test of that sheets. Two kinds of radomes, ABS single-layer and A-Sandwich(PET-Foam-ABS), are fabricated and measured practically. The transmission losses of single-layer and A-sandwich radome are 1.5dB and 0.6dB respectively at the maximum wave incident angle of 57 degree. Also the calculated crosspolarization caused by A-sandwich radome is under 20dB.

Ⅰ. 서 론

레이돔은 안테나 시스템을 비, 눈, 바람 등의 기상 현상 및 물리적인 충격 등 외부 환경으로부터 보호하기 위하여 사용된다. 이상적인 레이돔은 안테나를 보호할 뿐, 안테나 시스템으로 입사되는 전자파에 변화를 주지 않아야 한다. 그러나 실제의 레이돔은 투과손실, 편파왜곡 등으로 인하여 안테나로 입사되는 전자파에 변화를 발생시키므로, 이를 정확히 해석한 후 안테나 시스템 설계시 고려하여야 한다[1].

현재까지 레이돔은 일반적인 상용 제품으로 양산된 예가 거의 없고, 대부분 천문학 및 군사용 안테나 시스템 보호를 목적으로 사용되고 있다. 국내의 레이돔 관련 연구는 레이돔 구조(특히 Orgive 구조 등)에 따른 전자파 산란 해석이 주류를 이루고 있으며, 특정 주파수 및 용도에 따른 레이돔 설계, 제작 및 시험 기술과 관련된 연구가 미진하다. 또한 레이돔용 플라스

* 正會員, 韓國電子通信研究員 無線放送研究所
(ETRI-Radio & Broadcasting Technology Laboratory)
接受日字:1998年8月10日, 수정완료일:1999年1月13日

틱(고주파에서의 물성을 측정하여 제공하는)을 특별히 생산하는 국내 제조업체는 전무한 실정이다. 한편 일본에서 상용으로 제작된 위성방송 수신용 이동체 안테나용 레이돔은 단일층 플라스틱을 사용하였고[2], 앙각 45도에서 레이돔 투과손실이 1.5dB 이상이며, 이는 안테나 면적을 1.4배 정도 키워야 보상될 수 있는 상당히 큰 손실이다.

본 논문에서는 국내에서 생산되는 저가의 플라스틱을 사용하여 투과손실이 작은 레이돔의 설계, 제작 및 측정의 절차를 기술한다. 본 논문에서 제작하고자 하는 레이돔의 구조는 그림 1과 같다. 이동체 위성방송 수신 안테나용 레이돔은 이동체, 특히 차량의 지붕에 장착되므로 무궁화 위성과 약 45도의 기울기를 갖게 된다. 또한 이동체 위성방송 수신 안테나는 이동체의 움직임에 관계없이 항상 위성을 향하도록 앙각(Elevation) 방향으로는 전기적으로 위성을 추적하며, 이를 위한 안테나 빔의 조향 각도 범위는 45±12도이다.

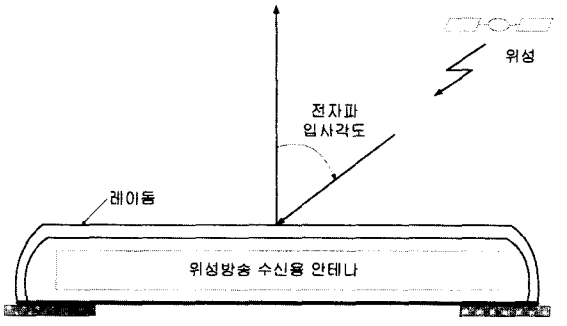


그림 1. 이동체 위성방송 수신 안테나용 레이돔 구조
Fig. 1. Radome for mobile DBS receiving antenna.

Ⅱ. 본 론

1. 레이돔 재료의 복소 유전율 측정

일반적으로 저가의 플라스틱에 대한 위성방송 신호 주파수 대역(11.7~12.0Ghz)에서의 유전율과 유전체 손실 값은 제공되지 않는다. 따라서 레이돔 재료를 선택하기 위해서는 유전체의 복소유전율(Complex Permittivity) 측정이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 표준 유전체 복소유전율 측정방법 중 한가지인 공진기 섭동법(Perturbation Method)을 이용하였고, 그림 3과 같은 장치를 제작하여 측정하였다. 플라스틱 시료가 없을 때와 시료를 삽입하였을 때의 공진 주파수 천이 및 부하 Q(Loaded Q) 값의 변화를 측정하면 식(1) 및 식(2)에 의하여 복소유전율($\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$)이 계산된다[3].

$$\varepsilon' = \frac{L}{t}\left(\frac{f_0}{f_s} - 1\right) \tag{1}$$

여기서 L은 공진기의 길이, t는 플라스틱 시료의 두께이고, f_0와 f_s는 각각 시료가 없을 때와 있을 때의 공진주파수이다.

$$\varepsilon'' = \frac{L}{2t}\left(\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_0}\right) \tag{2}$$

또한 Q_0와 Q_s는 플라스틱 시료가 없을 때와 시료를 삽입하였을 때의 부하 Q 값이다. 탄젠트손실(Loss Tangent)은 복소유전율로부터 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \tag{3}$$

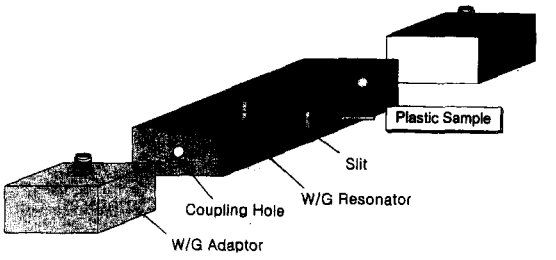


그림 3. 복소유전율 측정
Fig. 3. Measurement of complex permittivity.

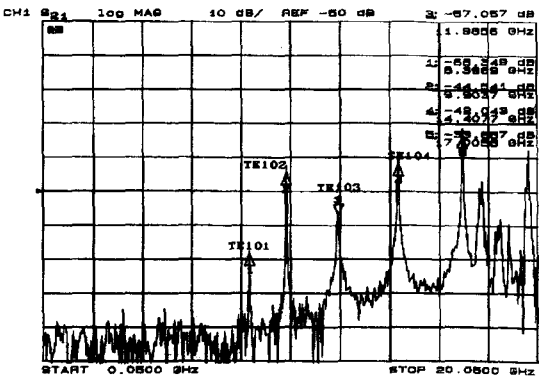
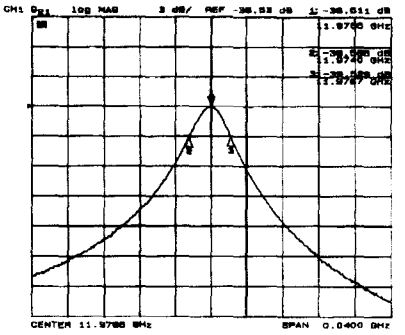


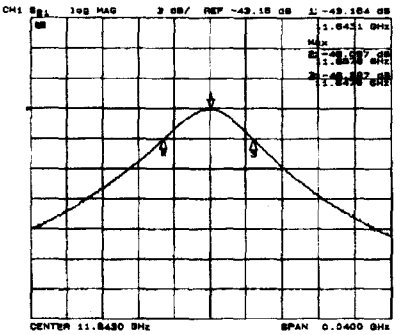
그림 4. 도파관 공진기의 공진모드
Fig. 4. Resonance modes of waveguide resonator.

그림 3에서 사용된 도파관은 WR-75이고, 도파관 공진기의 길이는 약 12GHz에서의 홀수차 공진 모드

가 발생되도록 하고, 결합 구멍(Coupling Hole)의 직경은 부하 Q(Loaded Q)와 약간의 공진주파수 천이를 고려하여 결정한다. 본 측정에서 슬릿의 폭, 즉 플라스틱 시료의 두께는 1.0mm로 하였다. 그림 4는 시료가 없을 때의 도파관 공진기의 측정결과로서 공진모드들이 최저차 모드인 TE101로부터 TE102, TE103 모드의 순으로 차례로 나타남을 알 수 있다. 공진 모드들 중에서 TE103 모드를 선택하여 플라스틱 시료가 없을 때와 ABS 시료를 삽입하였을 때를 측정한 예가 그림 5이다.



(a)



(b)

그림 5. TE103 모드를 이용한 ABS 시료의 측정: (a) 시료가 없을 때; (b) 시료 삽입시

Fig. 5. Measurement of ABS sample by using TE103 mode: (a) No sample; (b) Sample inserted.

본 논문에서 시료로 선택된 플라스틱들은 일반적으로 널리 사용되는 ABS(Polystylene Resin), PP (Polypropylene), FRP(Fiber Glass Reinforced Plastic), PET(Polyethylene Terephthalate)이고, 이들 플라스틱의 측정결과를 표 1에 제시하였다. 표 1의 결과는 동일 플라스틱으로 몇 개의 시료를 만들어 측정하고, 또한 하나의 시료에 대해서도 10회의 측정을 거쳐 측정 결과의 신뢰성을 높였다. 참고로 FRP의 탄젠트 손실이 높은 이유는 사출성형된 FRP로 만든 시료가 아니라서 불순물이 많이 포함되어 있기 때문으로 사료된다.

표 1. 플라스틱 시료들의 측정 결과

Table 1. Measured results of plastic samples.

	Complex Permittivity ($\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$)		Loss Tangent ($\tan\delta$)
	ε'	ε''	
ABS	2.42	0.01178	0.00487
PP	2.59	0.01164	0.00450
FRP	3.23	0.04307	0.01335
PET	2.88	0.01778	0.00617

2. 다층 유전체 구조에서의 전자파 투과 해석 및 시험

일반적인 다층 유전체 구조 레이돔의 단면도는 그림 6과 같고, 두 매질의 경계면에서의 반사 및 투과 계수를 구하는 방법을 확장하여 다층에서의 반사 및 투과 계수를 계산할 수 있다[4].

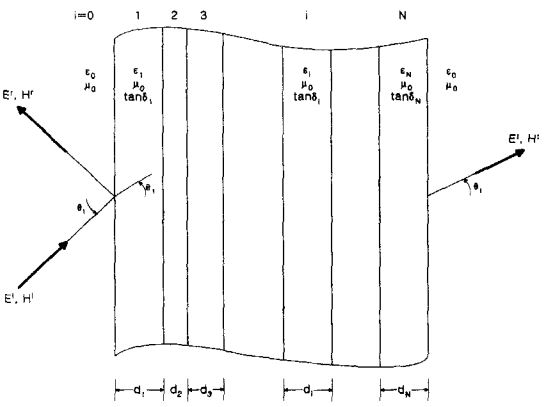
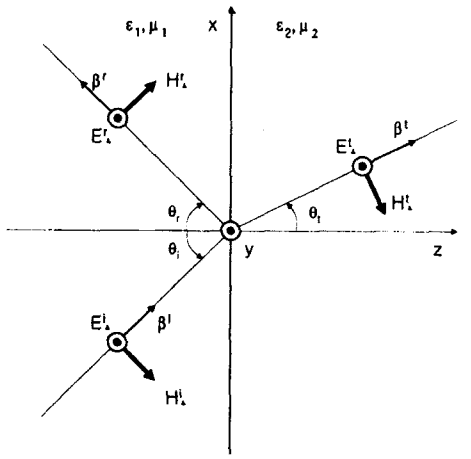


그림 6. 다층 유전체 구조에서의 전자파 반사 및 투과

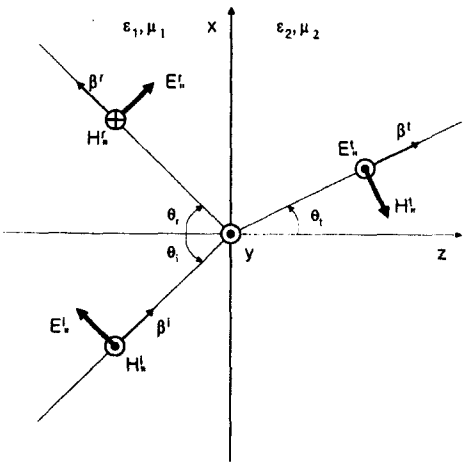
Fig. 6. Wave reflection and transmission of multiple dielectric slabs.

평면파가 두 매질 사이의 경계면에 대하여 θi의 경사각으로 입사될 때, 전자파 전파를 쉽게 해석하기 위하여 입사파의 전계인 E^i를 지면(x-z평면)에 대하여 수직편파(Perpendicular Polarization) 성분인 $E^i_\perp$와 수평편파(Perpendicular Polarization) 성분인 $E^i_\parallel$의 두 성분으로 나누어 해석할 수 있다[4]. 그림 7의 (a)

와 (b)는 각각 수직 편파 및 수평 편파에 대하여 전자파의 반사 및 투과를 보인 그림이다. 그림에서 θ_i, θ_r 및 θ_t는 각각 입사파, 반사파, 투과파의 각도이고, β^i, β^r 및 β^t는 손실 없는 매질에서의 입사파, 반사파, 투과파의 위상 정수(Phase Constant)이다. 그림 6과 같은 일반적인 다층 유전체 구조에서의 수직편파 및 수평편파의 투과 계수는 순환식(Recursion Formulas) 형태로서 각각 식(4), 식 (5)와 같이 기술된다.



(a)



(b)

그림 7. 입사 평면파의 편파에 따른 분리: (a) 수직편파; (b) 수평편파

Fig. 7. Decomposition of plane wave into two linearly polarized waves: (a) Perpendicular polarization; (b) Parallel polarization.

$$T_{\perp} = \frac{1}{A_0} \tag{4}$$

$$T_{\parallel} = \frac{1}{F_0} \tag{5}$$

$$A_i = \frac{e^{k_i}}{2}\left[A_{i+1}(1+Y_{i+1}) + B_{i+1}(1-Y_{i+1})\right]$$

$$B_i = \frac{e^{-k_i}}{2}\left[A_{i+1}(1-Y_{i+1}) + B_{i+1}(1-Y_{i+1})\right]$$

$$F_i = \frac{e^{k_i}}{2}\left[F_{i+1}(1+W_{i+1}) + G_{i+1}(1-W_{i+1})\right]$$

$$G_i = \frac{e^{-k_i}}{2}\left[F_{i+1}(1-W_{i+1}) + G_{i+1}(1-Y_{i+1})\right]$$

$$A_{N+1} = 1,\ B_{N+1} = 0,\ F_{N+1} = 1,\ G_{N+1} = 0$$

$$Y_{i+1} = \frac{\cos\theta_{i+1}}{\cos\theta_i}\sqrt{\frac{\varepsilon_i(1-j\tan\delta_i}{\varepsilon_{i+1}(1-j\tan\delta_{i+1})}}$$

$$W_{i+1} = \frac{\cos\theta_{i+1}}{\cos\theta_i}\sqrt{\frac{\varepsilon_{i+1}(1-j\tan\delta_{i+1}}{\varepsilon_i(1-j\tan\delta_i}}$$

$$k_i = d_i\gamma_i\cos\theta_i$$

여기서 θ_i는 i번째 층에서의 복소 굴절각(Complex Angle of Refraction)으로서, 굴절각이 복소수가 되는 이유는 유전체 층의 손실 때문이다. 유전체의 손실 ($\tan\delta$)을 고려한 복소 전파상수 γ의 감쇄정수 (Attenuation Constant) α와 위상정수 β는 식 (6)과 같다[4].

$$\gamma = \alpha + j\beta \tag{6}$$

$$\alpha = 2\pi f\sqrt{\mu\varepsilon}\left\{\frac{1}{2}\left[\sqrt{1+(\tan\delta)^2}-1\right]\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\beta = 2\pi f\sqrt{\mu\varepsilon}\left\{\frac{1}{2}\left[\sqrt{1+(\tan\delta)^2}+1\right]\right\}^{\frac{1}{2}}$$

무궁화위성으로부터 오는 위성방송 신호는 좌원편파이다. 원편파가 다층 유전체층을 투과했을 때의 투과계수는 선형 편파인 수직 및 수평 편파의 투과 계수로부터 유도할 수 있고, 그 결과는 식 (7), 식 (8)이다. 식 (7)은 입사파와 같은 동일편파(Copolarization)의, 식 (8)은 레이돔에 의해 발생되는 교차편파(Crosspolarization)의 투과계수이다. 이 식들로부터 레이돔의 중요한 성능 규격중의 하나인 편파왜곡(Depolarization)을 계산할 수 있다.

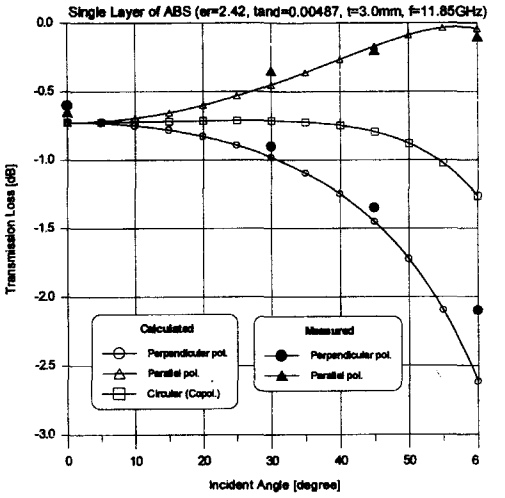
$$T_{copol} = \frac{|T_{\perp}| + |T_{\parallel}|\exp(j\Delta_{IPD})}{2} \tag{7}$$

$$T_{crosspol} = \frac{|T_{\perp}| - |T_{\parallel}|\exp(j\Delta_{IPD})}{2} \tag{8}$$

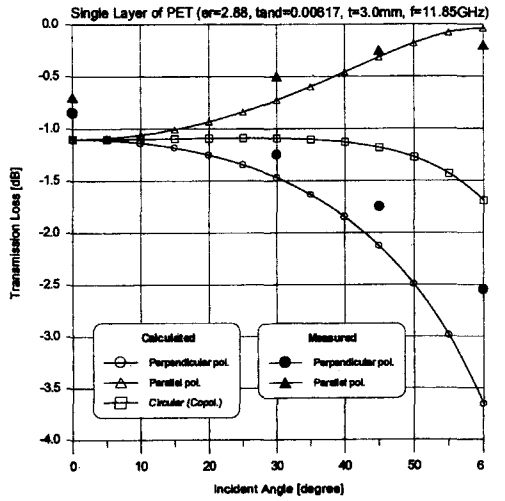
여기서 Δ_{IPD}는 복소수인 수직편파 및 수평편파 투과계수의 삽입 위상 지연(Insertion Phase Delay)의 차

이다.

이제 앞 1절에서 측정된 시료 중 ABS와 PET의 복소유전율 값을 대입하여 단일층 레이돔을 제작하였을 때의 전자파 투과를 해석 및 실험한 결과가 각각 그림 8이다. 플라스틱 박판의 두께를 3mm로 고정한 것은 안테나를 보호하기 위한 요구되는 강도를 고려한 결과이다. 그림 8의 결과로부터 유전율이 약 2~3인 저가의 범용 플라스틱 유전체를 사용하는 이동체 위성 방송 수신 안테나용 단일층 레이돔은 최대 1.5dB의 투과손실을 감수해야 한다.



(a)



(b)

그림 8. 단일층 플라스틱 박판의 전자파 투과 해석 및 시험 결과: (a) ABS; (b) PET

Fig. 8. Calculated and measured results of wave transmission into single layer plastic sheets: (a) ABS; (b) PET.

레이돔 재료 박판의 전자파 투과 시험 환경은 그림 9와 같고, 플라스틱 박판이 없을 때와 삽입하였을 때의 두 안테나 간 삽입손실 차를 측정한다. 두 안테나 간의 거리는 원거리장(Far-Field) 조건을 만족하도록 하고, 수평 및 수직 편파는 구형 도파관의 TE10 모드를 사용하여 구현하였다. 이 시험은 상당히 작은 손실을 측정해야 하므로 초고주파 전원(Source)의 불안정성 문제가 대두된다. 본 논문에서는 이를 보상하기 위하여 1분간 201번 측정하고, 그 결과를 평균하여 측정결과로 삼았다. 그림 10은 수직편파에 대한 ABS 3mm 박판의 전자파 투과손실 계산을 위한 측정 결과의 한 예이다. 그림 10.(a)는 박판이 없을 때, 그림 10.(b)는 ABS 박판을 45도 각도로 세웠을 때의 삽입손실이고, 이 두 결과의 삽입손실 차가 바로 ABS 박판의 45도 각도에서의 투과손실이다. 한편 측정의 편의를 위하여 플라스틱 박판의 면적은 50×50cm로 제한하였으므로 박판의 가장자리에서는 전자파 회절이 발생하나, 해석 및 시험 결과가 상당히 일치하며 회절 현상은 본 논문의 주제와 거리가 있으므로 논의하지 않는다.

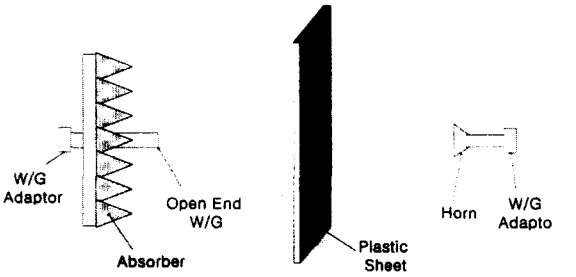
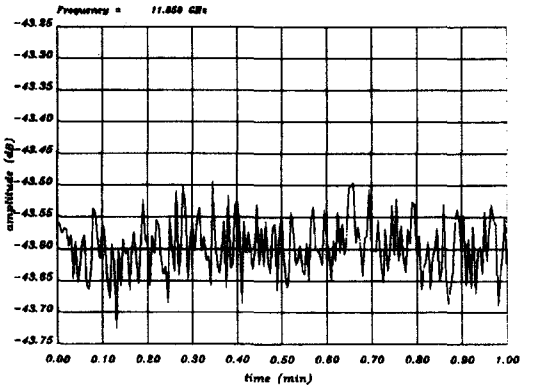
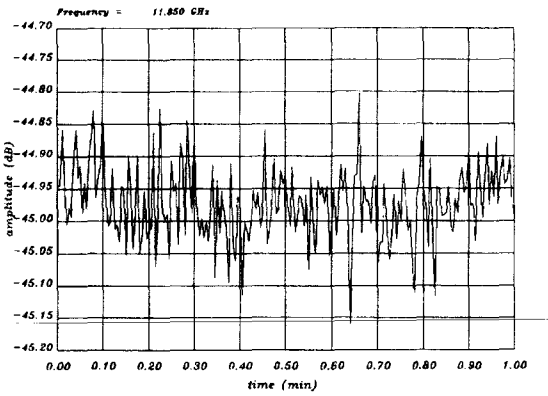


그림 9. 플라스틱 박판의 전자파 투과 시험 환경

Fig. 9. Test set of wave transmission into plastic sheets.



(a)



(b)

그림 10. 수직편파 투과 시험 결과: (a) 박판이 없을 때; (b) 45도 각도로 ABS 3mm 박판 삽입시

Fig. 10. Test results of perpendicularly polarized wave transmission: (a) No sheet; (b) 3mm thick ABS sheet inserted with 45 degree aligned.

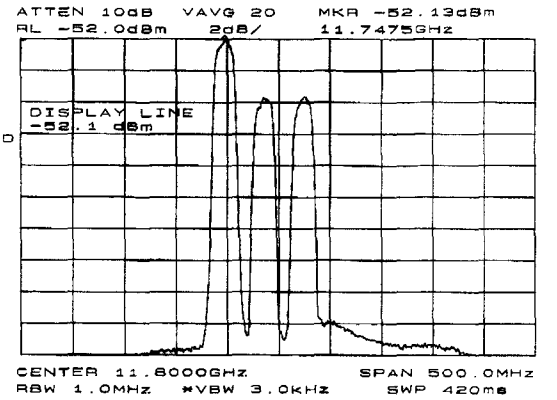
3. ABS를 이용한 단일층 레이돔

그림 11은 이동체 위성방송 수신 안테나 시스템용으로 제작된 단일층 레이돔으로서, 가공성이 우수한 ABS를 이용하였다. 단일층 레이돔 설계에는 전자파 입사 각도에서 전기적으로 반파장이 되는 두께의 플라스틱을 사용하면 투과손실을 최소로 할 수 있다. 그러나 ABS의 유전율을 고려하면 약 16mm 두께의 레이돔이 된다. 이는 이동체 안테나용 레이돔임을 고려하면 무게 및 높이 측면에서 상당히 불리하다.

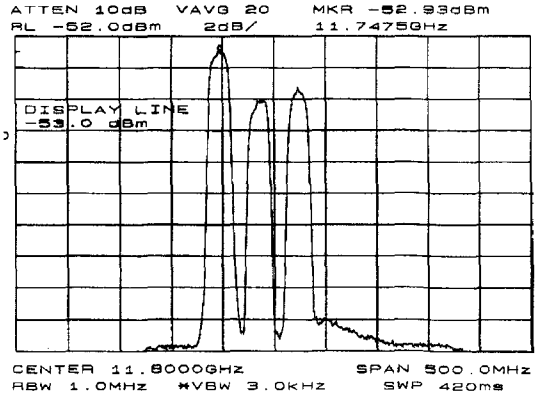
그림 11. ABS로 제작된 이동체 위성방송 수신 안테나용 레이돔 사진

Fig. 11. Picture of the radome made of ABS for mobile DBS receiving antenna.

따라서 필요한 최소한의 강도만을 고려한 가능한 한 얇은 두께(본 논문에서는 3mm 두께의 ABS 사용)의 레이돔을 제작할 수 밖에 없다. 그림 12는 제작된 레이돔의 투과손실을 실제 옥외에서 무궁화 위성으로부터 오는 위성방송 신호를 수신하여 측정한 결과이다. 앙각방향 45도 각도에서 0.8dB의 투과손실을 보여준다. 앙각 방향으로 안테나 빔을 조향 제어하면서 측정한 결과는 레이돔 투과손실이 빔 조향 각도 범위 내에서 최대 1.5dB이다. 이 측정 결과는 그림 8.(a)의 해석 결과와 잘 일치한다.



(a)



(b)

그림 12. 앙각 45도에서 무궁화 위성으로부터 수신된 위성방송 신호: (a) 레이돔이 없을 때; (b) 레이돔이 있을 때

Fig. 12. Received DBS signal from KOREASAT with 45 degree of elevation angle: (a) Without radome; (b) With radome.

4. A-샌드위치 구조 레이돔

앞절의 단일층 레이돔 투과손실은 상당히 크므로 본 논문에서는 제작 비용은 약간 증가하나, 전기/기구적 성능이 우수한 A-샌드위치 구조의 레이돔을 설계하고

자 한다. 레이돔 투과손실의 설계 규격은 0.5dB 이내로 설정한다. 제안된 A-샌드위치 레이돔은 양면(Skin)은 자외선 차단 성능이 우수한 PET를 사용하고, 가운데(Core)에는 폼(Foam)을 넣는 구조이다. 우선 안테나를 보호하기 위한 강도를 유지하기 위하여 PET의 두께를 양면 모두 0.8mm로 설정하였다. 이때 폼의 두께를 얼마나 유지해야 하는지를 해석한 결과가 그림 13이다. 이 결과로부터 레이돔 투과손실을 최대 0.5dB이내로 유지하기 위해서는 폼의 두께가 약 3mm 이상이어야 함을 알 수 있다.

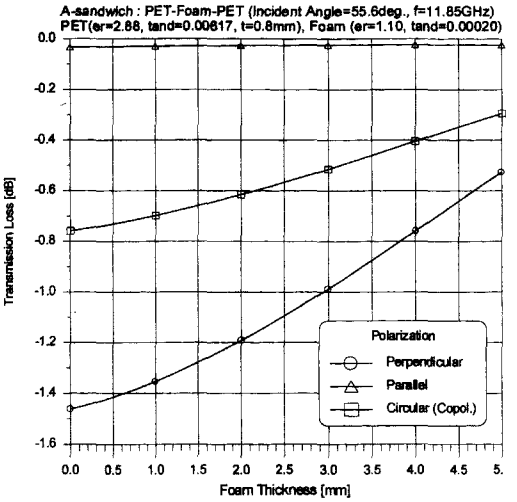


그림 13. A-샌드위치 구조에서 폼 두께에 따른 투과손실 해석 결과

Fig. 13. Calculated result of transmission loss versus foam thickness in the A-sandwich structure.

그림 14는 폼의 두께를 3.2mm로 설정했을 때의 전자파 입사 각도에 따른 투과손실 해석 결과 및 전자파 투과 실험 수행 결과이다. 원형편파 투과손실이 빔 조향 각도내에서 최대 0.5dB로서 설정된 규격을 만족하고 있다. PET와의 접착을 용이하게 하기 위하여 실험에는 C-Foam PF-6(두께 1/8")를 사용하였으나, 일반 저가의 스티로폼으로 대체 가능하다. C-Foam PF-6의 비유전율은 1.10이고, 탄젠트 손실은 0.0002이다.

그림 15는 제작된 레이돔 실물 사진이고, 그림 16은 제작된 레이돔의 투과손실을 실제 옥외에서 무궁화 위성으로부터 오는 위성방송 신호를 수신하여 측정한 결과이다. 앙각방향 45도 각도에서 0.43dB의 투과손실을 보여준다. 앙각 방향으로 안테나 빔을 조향 제어하면서 측정한 결과는 레이돔 투과손실이 빔 조향 각도 범위 내에서 최대 0.6dB이다.

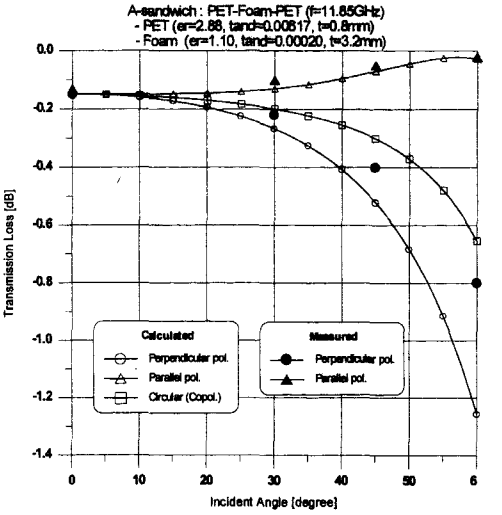


그림 14. A-샌드위치 구조에서 전자파 입사 각도에 따른 투과손실 해석 결과

Fig. 14. Calculated result of transmission loss versus wave incident angle in the A-sandwich structure.

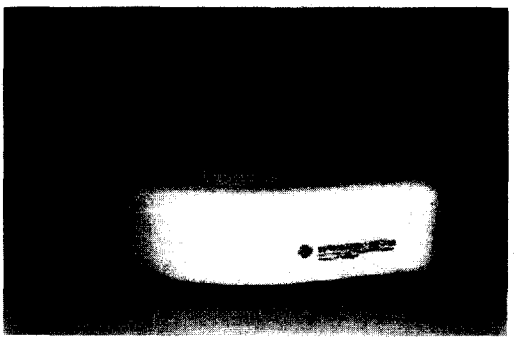


그림 15. A-샌드위치 구조로 제작된 이동체 위성방송 수신 안테나용 레이돔 사진

Fig. 15. Picture of the A-sandwich radome for mobile DBS receiving antenna.

이 측정 결과는 그림 14의 해석 및 박판 실험 결과와 잘 일치한다. 그림 17은 식(7)과 식(8)을 이용하여 설계된 레이돔의 중요한 전기적 성능 중의 하나인 편파 왜곡을 해석한 결과이다. 그림 17.(a)는 중심주파수 11.85GHz에서 입사 각도에 따른 동일편파(Co-polarization)의 레이돔 투과손실 및 레이돔에 의해 발생되는 교차편파(Crosspolarization)를 계산한 결과로서, 교차편파 발생은 사용 주파수 대역에서 20dB 이하이다.

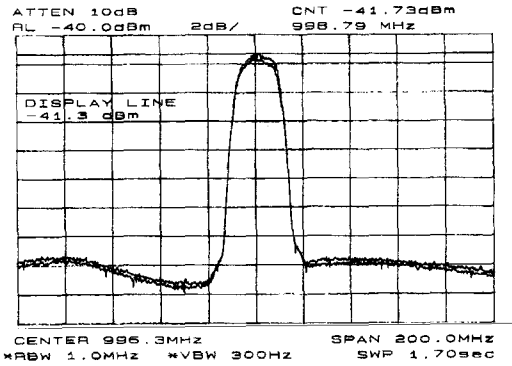
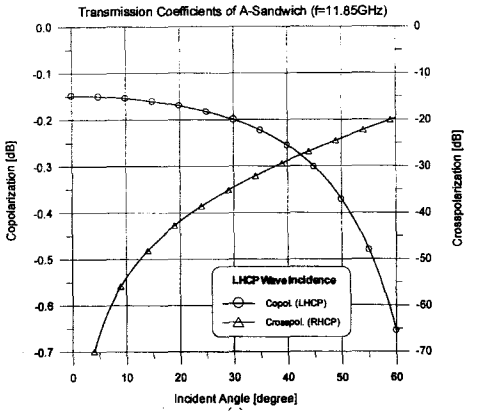
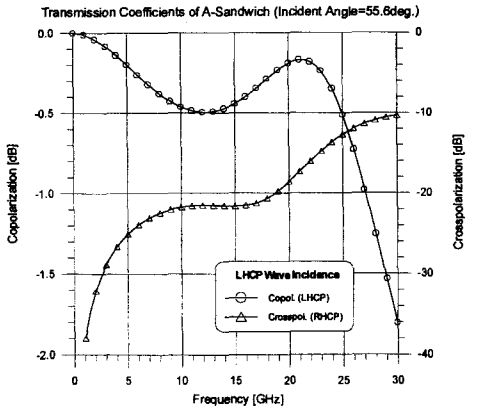


그림 16. 앙각 45도에서 무궁화 위성으로부터 수신된 위성방송 신호: 레이돔이 없을 때 41.3dBm, 레이돔이 있을 때 41.73dBm

Fig. 16. Received DBS signal from KOREASAT with 45 degree of elevation angle: -41.3dBm without radome, -41.73dBm with radome.



(a)



(b)

그림 17. A-샌드위치 구조 레이돔의 (a) 전자파 입사각도 및 (b) 주파수에 따른 동일편파 및 교차편파 해석 결과

Fig. 17. Calculated results of copolarization and crosspolarization of the designed A-sandwich radome in according to (a) Incident angle and (b) Frequency in the A-sandwich structure radome.

그림 17.(b)는 최대 안테나 빔 조향 각도인 55.6도에서 주파수에 따른 동일편파 및 교차편파를 계산한 결과로서 0.5dB 투과손실 대역폭이 25GHz이고, -20dB 교차편파 대역폭이 19GHz로 상당히 넓은 주파수 대역에서 사용 가능한 레이돔임을 알 수 있다.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 저가의 이동체 위성방송 수신 안테나 시스템용 레이돔을 설계, 제작 및 시험하였다. 레이돔 설계를 위하여 몇 개의 플라스틱 시료의 복소유전율을 측정하였고, 다층 유전체 구조에서의 전자파 투과를 해석하였다. 또한 원형편파 레이돔 투과시 발생하는 교차편파에 대한 식도 유도하였다. 해석 결과의 신뢰성은 전자파 투과 시험을 통하여 검증하였다. 복소유전율을 측정한 몇몇 저가의 일반적인 플라스틱들을 사용하여 ABS 단일층 레이돔 및 A-샌드위치 구조 레이돔을 제작하였다. 실제 옥외에서 무궁화 위성으로부터 오는 위성방송 신호 수신 시험 결과는 해석 결과와 잘 일치하였으며, 레이돔 투과손실은 빔 조향 각도 범위 내에서 단일층 레이돔은 최대 1.5dB, A-샌드위치 구조 레이돔은 0.6dB이다. 또한 A-샌드위치 구조 레이돔의 교차편파 발생은 20dB 이하이다. 본 논문의 해석 및 복소유전율 측정 방법과 몇몇 시료의 측정 결과, 그리고 전자파 투과 시험 방법 및 결과들은 다층 유전체 구조의 레이돔 설계에 바로 적용할 수 있다.

감사의 글

※ 본 논문은 정보통신부 국책과제인 "위성통신용 능동안테나 기술연구"의 일환으로 연구되었다. 우선 정보통신부 관계자 제위께 감사드리고, 레이돔 재료를 제공해 주신 ㈜코오롱 이해주 과장 및 레이돔 제작에 도움을 주신 메닉스 엔지니어링 이상수 사장께 감사드린다.

참 고 문 헌

[1] D. J. Kozakoff, *ANALYSIS OF RADOME-ENCLOSED ANTENNAS*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1997.

[2] J. Hirokawa, M. Ando, N. Goto, N. Takahashi, T. Ojima and M. Uematsu, "A

Single-Layer Slotted Leaky Waveguide Array Antenna for Mobile Reception of DBS," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 44, no. 4, pp. 749-754, Nov. 1995.

[3] M. A. Rzepecka and M. A. K. Hamid, "Automatic Digital Method for Measuring the Permittivity of Thin Dielectric Films," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-20, pp. 30-37, Jan. 1972.

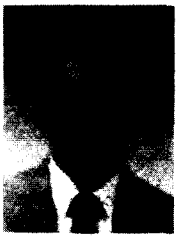
[4] D. T. Paris and F. K. Hurd, *BASIC ELECTROMAGNETIC THEORY*, McGraw-Hill Inc., New York., 1969.

[5] C. A. Balanis, *ADAVANCED ENGINEERING ELECTROMAGNETICS*, John Wiley & Sons, Inc., New York., 1989.

[6] D. Slater, *NEAR-FIELD ANTENNA MEASUREMENTS*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1991.

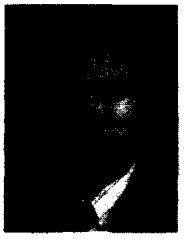
저 자 소 개

文 榮 燦(正會員) 제 35권 D편 제 2호 참조



李 聖 八(正會員)

1979년 서울대학교 전기공학 학사. Polytechnic Institute of New York 1986년 석사. 1990년 박사. 1992년 ~ 1995년 Marta Marconi Space, Lockheed Martin 파견연구원. 1980년 ~ 현재 한국전자통신연구원 무선방송연구소. 주관심분야는 위성망 설계, 위성통신 중계기 시스템, 위성 지구국 시스템 및 능동안테나 시스템



全 舜 翼(正會員)

1984년 고려대학교 전자공학과 학사. 1984년 ~ 1991년 삼성전자(주) 근무. 1994년 고려대학교 전자공학과 석사. 1990년 ~ 현재 한국전자통신연구원 무선방송연구소. 주관심분야는 초고주파 회로설계, 위상배열 안테나 및 위성 통신 시스템