

# 초고속 비행체 안테나 보호용 섬유강화 세라믹 복합체 특성 연구

## A Study of Fiber Reinforce Ceramic Composite for Protecting Antenna Cover of Ultrafast Aircraft

정 영 철 · 이 경 원\* · 육 종 관\*

Yeong-Chul Jung · Kyung-Won Lee\* · Jong-Gwan Yook\*

### 요 약

본 논문은 고속 비행체용 안테나를 보호하기 위해 사용되는 안테나 커버(cover)를 새로운 제조 방식으로 제작하여 시뮬레이션과 실험을 통해 성능을 평가하였다. 안테나 커버용 소재는 사용 환경인 600 °C 이상의 온도와 구조적 안정성을 가져야할 뿐만 아니라, 전파 투과성이 우수한 저유전율 소재여야만 한다.

고온, 고습의 환경의 변화에 따른 유전율을 토대로 모의실험을 통해 안테나 커버의 특성을 평가하였으며, 최적의 소재인 테프론 코팅된 세라믹 복합체를 안테나 커버에 적용하여 우수한 물리적 및 전기적 특성을 실험적으로 증명하였다.

### Abstract

In this paper, we proposed and implemented a novel antenna cover mounted over a microstrip path antenna for ultrafast aircraft. A protective antenna cover prevents alteration in the electrical characteristics of the antenna due to environmental conditions. The permittivity of the cover materials should be practically invariable at all operating frequencies. We evaluated the characteristics of the antenna with both simulation and experiment. The experimental results show that the proposed antenna cover can be useful for ultrafast aircraft.

Key words : Fiber Reinforce Ceramic, Microstrip Patch, Antenna Cover, Permittivity, Return Loss, Gain

### I. 서 론

미사일과 같은 장거리 유도 무기에 있어서 유도 시스템의 개발이 활발히 이루어짐에 따라서 부품의 정밀화 및 기술의 고도화가 필요하게 되고, 특히 초고속 유도비행에 따른 비행체의 표면 온도 상승과 관련하여 원거리 정밀 제어를 위한 첨단 재료가 절실히 요구되어지고 있다. 유도 무기의 핵심 소재인 안테나는 고주파 지향성 전파를 공간에 방사·포착하여 항공기나 장애물 또는 기타의 목적물을 탐지하

는 장치이다. 항공기나 미사일에 사용되는 안테나는 일반적으로 박형(薄形)이며, 능동 소자와 집적화가 용이한 마이크로스트립 패치(microstrip patch) 안테나를 주로 사용한다<sup>[1],[2]</sup>.

이러한 초고속 유도 비행체용 송수신 안테나의 경우 수 마하(Mach) 이상의 초고속 비행으로 인해 특별한 공기역학적 특성(aerodynamic characteristics) 및 심각한 대기 상태(atmospheric conditions)에서 정상적인 시스템 성능이 보장되어야 한다. 그러나 초고속 유도 비행체의 비행 시 공기와의 마찰로 인해

국방기술품질원(Defense Agency for Technology and Quality Assurance)

\*연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20060117-005

· 수정완료일자 : 2006년 3월 14일

비행체 표면온도가 600 ℃ 이상의 고온 상태가 되며, 또한 대기층의 불안정한 기온으로 인한 습도 상승 등 여러 가지 악조건이 공존한다. 이러한 환경에서 안테나를 물리적으로 보호하고, 신뢰성 있는 전파 투과 특성이 우수한 안테나 커버의 설계가 필수적이다.

기존의 고속 비행체에 사용되는 안테나 커버는 전파의 투과 특성이 우수한 플라스틱류, FRP(Fiber Reinforced Plastics), 세라믹, 수지 폼 그리고 이들 재료를 조합한 복합체 형태의 소재들이 사용되어지고 있다<sup>[3],[4]</sup>. 플라스틱류의 소재는 전파 투과 특성이 가장 우수하여, 군사용뿐만 아니라 민수용으로도 널리 사용되어지고 있다. 그러나 초고속의 미사일이나 항공기 등은 공기와의 마찰열로 인해 표면 온도가 상승하게 되면 플라스틱 재료는 자체의 물리적 특성을 더 이상 유지할 수 없을 뿐만 아니라, 온도에 따른 전기적 특성(유전율 특성)의 변화가 급격히 나타나기 때문에 더 이상 사용이 불가능하다<sup>[3]</sup>. 따라서 초고속 유도 비행체의 안테나 커버 소재로서는 세라믹 계통의 재료가 필수지만, 플라스틱류에 비해 상대적으로 높은 유전율(permittivity)과 외부의 충격이나 온도의 급격한 변화에 따른 열 충격에 상대적으로 취약하다는 단점과 함께, 제조 공정면에서 가공·성형 및 대형화가 어렵고 제조공정이 복잡하며, 제조에 오랜 시간과 높은 제조 비용이 소요됨으로써 실제 적용에는 해결해야 할 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 온·습도 변화와 같은 물리적 환경 변화에 강하고 전기적 특성이 우수한 재질을 갖는 안테나 커버의 연구가 절실한 실정이다.

지금까지 물리적 환경 영향에 따른 안테나의 전

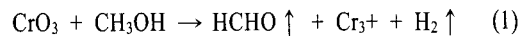
파 특성을 분석한 연구가 진행되고 있다. 참고문헌 [5]는 항공기 주위의 마찰로 인해 공기가 이온화됨에 따라 발생하는 영향을 수학적으로 분석하였으며, 참고문헌 [6]은 위상 배열 안테나의 습도 환경에 대한 이득 특성을 분석하였다. 그러나 지금까지 이러한 고온/고습 환경에서 안테나를 물리적/전기적으로 보호하는 안테나 커버에 대한 전파 특성 연구가 크게 진전되지 않았으며, 우리나라의 경우는 아직도 초보 단계를 면치 못하고 있다.

본 논문은 초고속 비행체용 패치 안테나 커버를 기존의 제질과는 다른 새로운 재질을 사용하여 제작하였다. 기존의 세라믹 소재의 단점을 보완하는 세라믹 접착제를 새롭게 제조하고 유리 섬유 복합체를 공정 압력별로 상온 유전율, 곡 강도를 측정하였고, 최적 조건에서의 열 전도도, 고온시험, 습도 시험, 테프론 코팅 후 습도시험을 실시한 후의 유전율을 측정하였다. 이를 토대로 FRC(Fiber Reinforce Ceramic) 소재로 안테나 커버를 사용하여 유전율을 변수로 하여 안테나 커버 특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 그 우수성을 증명하였다.

## II. 안테나 커버 제작 및 특성분석

### 2-1 안테나 커버 제작 공정

본 연구에 사용된 접착제로는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (CAP) 시스템을 가지는 인산염계 접착제를 자체 제조하였다. Cr 성분으로는 CrO<sub>3</sub>(99.5%), Al 성분으로는 Al(OH)<sub>3</sub>(99.8%), 그리고 P 성분으로는 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 용액(85%)을 이용하였다. 이때 CrO<sub>3</sub>의 환원 반응 촉매로써, 메탄올을 사용하여 서서히 반응을 시켰다. 반응 시, 갈색의 크롬 6가의 화합물이 크롬 3가로 환원되면서 점점 푸른색으로 변화된다. 반응식은 식 (1)과 같이 나타내었다.



이때 Al(OH)<sub>3</sub> : CrO<sub>3</sub> : H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>의 mol 비는 3 : 1 : 9로 하였으며, 환원 정도의 결정은 100 ml의 증류수로 1 ml의 바인더를 넣고 희석된 용액을 두 개의 똑같은 시험관에 붓고 과산화수소를 한쪽 시험관에 섞는다. 만일 과산화수소를 혼합한 시험관에서 조절 용액과 비교하여 그 색이 변하지 않는다면 환원

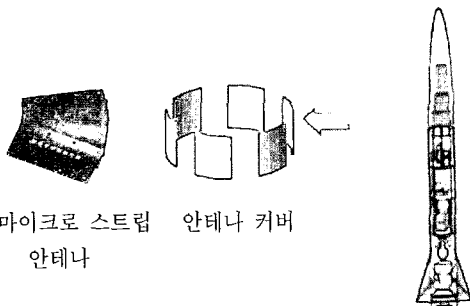


그림 1. 초고속 비행체에 장착되는 안테나 커버  
Fig. 1. Antenna cover mounted on ultrafast aircraft.

반응이 끝난 것으로 판단한다. 제조가 완료된 바인더는 물을 이용하여 Sayblot 점도 20 sec.로 조정하여 복합체 제조에 Matrix 성분으로 사용하였다.

바인더만으로 유리섬유와 복합체를 제조할 경우, 충분한 강도를 가지지 못하므로 기계적 물성을 향상시키기 위하여 충전제(filler)를 첨가하여야 한다. 본 연구에서는 충전제로서  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ 를 사용하였으며, 이를 바인더와 혼합하여 복합체(Cement Compound: CC)를 제조하였다. 혼합 비율은 바인더 :  $Al_2O_3$  :  $Cr_2O_3$  = 50 : 40 : 10 의 중량비로 하고, 혼합 후, Stirrer를 이용하여 200 RPM에서 30분 동안 혼합하여 Matrix용 CC를 제조하였다.

강화재로는 유전율을 고려하여 유전율이 낮은 Silica fabric을 사용하였으며, 앞서 준비된 CC를 유리섬유 위에 Putter를 이용하여 균일하게 표면에 칠한 다음, 그 위에 유리섬유를 올려놓고 칠하는 것을 반복하여 원하는 두께를 얻었다. 본 실험에서는 30 mm의 두께를 얻기 위해 복수의 유리섬유를 사용하였다. 이렇게 쌓기(stacking)가 끝난 복합체를 가열 프레스로 옮겨 4 kgf/cm<sup>2</sup>부터 12 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력 하에서 200 °C까지 15 °C/hr의 승온 속도로 양생을 실시하였으며, 최고온도 200 °C에서 3시간 유지한 후, 냉각하여 제작하였다.

## 2-2 특성 분석

고속 비행체의 안테나 커버용 소재는 강도(degree of strength) 등 구조적 안정성뿐만 아니라, 열악한 환경에서 사용되므로 상온에서의 특성뿐만 아니라, 고온, 습도 등의 환경 변화에도 우수한 전파 특성을 가져야 한다. 우수한 전파 특성 유무를 좌우하는 것이 유전율로써 자유전율 및 유전율 변화가 작아야 하는 것이 중요하다. 본 절에서는 먼저 커버 제작 공정 시 압력에 의한 곡 강도(bending strength) 특성을 파악하여 최적의 곡 강도 특성을 갖는 압력을 추출해 내었으며 이를 바탕으로 여러 환경에 대한 유전율 변화를 실험적으로 분석하였다.

### 2-2-1 공정압력에 따른 곡 강도 및 유전율 변화 특성 분석

복합체 제조시, 공정 압력을 4, 6, 8, 10, 12 kgf/

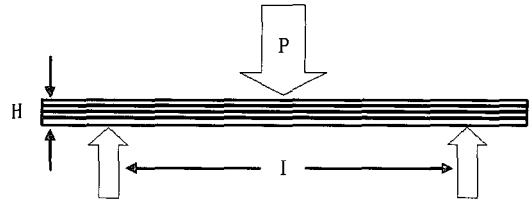


그림 2. 곡 강도 측정 방법의 개략도(3중 하중 시험법)

Fig. 2. Schematic of three-point test for bending strength.

cm<sup>2</sup> 등 5개의 복합체 시료를 제조하여 압력별 곡 강도의 변화를 알아보았다. 시료의 크기는 40×4×3 (T) mm<sup>2</sup>으로 하여 만능시험기(모델명: INSTRON 8801)를 이용하여 그림 2와 같이 3점 하중시험법으로 곡 강도를 측정하였다<sup>[7]</sup>. 이와 관련된 측정방정식은 식 (2)와 같다.

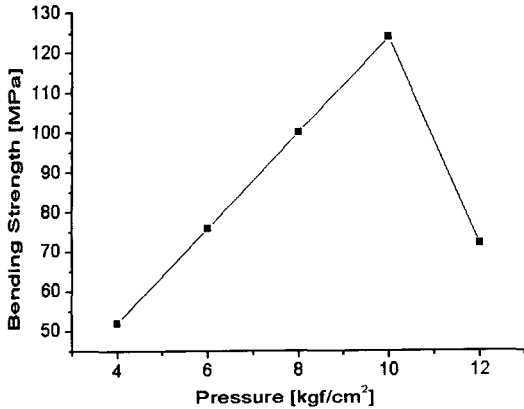
$$\sigma = \frac{3P}{2BH^2} \quad (2)$$

( $\sigma$ : 곡 강도,  $P$ : 하중,  $H$ : 시료의 두께,  $I$ : 지지대 사이의 거리,  $B$ : 시료의 넓이)

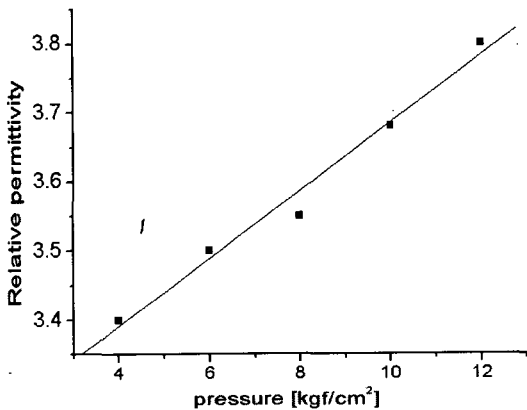
실험 결과를 그림 3(a)에서 나타냈다. 공정 압력이 높아질수록 곡 강도는 증가하지만, 10 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 압력에서는 강도가 급격히 떨어지는 결과를 나타냈다. 그 이유는 압력이 높아질수록 강화재인 유리섬유와 matrix 간에 결합력이 증가하여 곡 강도의 증가를 가져오지만 그 이상의 높은 압력으로 제조했을 경우, 강화재로 사용된 유리 섬유 간 마찰로 인해 유리 섬유 내에 미세 결합을 유발시켜 상호 결합력을 떨어뜨리는 결과임을 알 수 있다.

제조 공정 압력별로 유전율(relative permittivity)과 유전 손실(탄젠트 손실: loss tangent)을 측정한 결과, 그림 3(b)와 같이 유전율은 압력의 증가에 따라 증가하였으며, 이는 압력의 증가로 인해 복합체의 밀도 증가, 즉, 내부 기공률의 감소로 인한 결과로 판단된다. 유전 손실의 경우 그림 3(c)와 같이 압력 변화에 따른 영향보다, 내부 불순물에 의한 영향이 더 크게 작용한 결과로 0.03~0.08 이내로 유전 손실을 나타냈다.

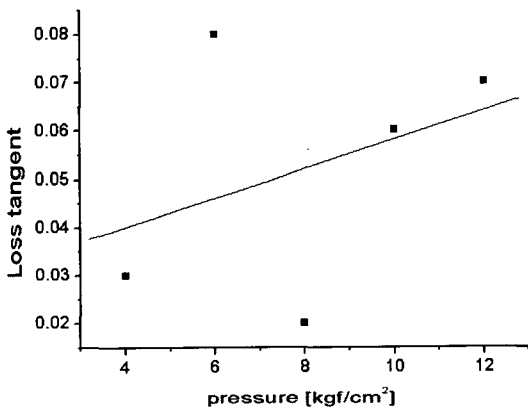
곡 강도 및 유전율 측정 결과, 전파 투과체로서의 안테나 커버 최적 공정 조건은 구조적 측면에서 보



(a) 곡 강도의 변화  
(a) Variations of bending strengths



(b) 유전율의 변화  
(b) Variations of relative permittivity



(c) 탄젠트 손실의 변화  
(c) Variation of loss tangent

그림 3. 제조 공정 압력에 따른 유전 특성 변화  
Fig. 3. Variation of dielectric characteristic with respect to process pressure.

면, 10 kgf/cm<sup>2</sup> 압력으로 제조한 시료가 가장 우수한 강도 특성을 나타냈으며, 유전 특성을 고려하면, 압력이 낮을수록 유전율이 낮게 나타났으며, 압력에 따른 유전율 변화는 0.4 정도의 차이를 나타냈다. 이와 같은 실험 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안하는 안테나 커버는 10 kgf/cm<sup>2</sup>의 공정 압력에서 제조된 시료를 채택하였다.

### 2-2-2 열 전도도 특성 분석

열 전도도 측정을 위하여, Nano Flash Diffusivity (LFA 447) 장비를 이용하여 열 확산도(thermal diffusivity:  $a$ )를 측정하였으며, Differential Scanning Calorimetry(DSC 204F1)을 이용하여 비열( $C_p$ )을 측정하였다. 그리고 밀도( $\rho$ )는 별도의 balance에 의해 측정하였다. 위와 같이 측정된 열 확산도, 비열, 밀도에 의해 식 (3)을 이용하여 열 전도도(thermal conductivity:  $\lambda$ )를 계산하였다<sup>[8]</sup>.

$$\lambda = a \times \rho \times C_p \quad (3)$$

열 전도도 측정은 50 °C에서 실시하였으며, 실험 결과는 표 1에 나타내었다. 실험 결과 평균 0.536 w/mk의 열 전도도 값을 나타냈으며, 이는 일반 세라믹 소재의 열 전도도 값인 2~20 w/mk 와 비교하여 월등히 낮은 값으로 고온 단열 소재로서 유용한 소재로 판단된다.

### 2-2-3 고온 및 고습도에서의 유전율 변화 특성 분석

일반적인 고속 비행체 발사 후, 속도 증가로 인해 안테나 커버 표면의 온도는 일상적으로 600 °C 이상 상승한다. 따라서 고속 비행체용 안테나 커버의 고온에서의 유전율 변화 특성은 안테나의 전체 성능을 좌우한다. 이러한 이유로 고온에서의 유전율 변화 시험을 실시하였다. 측정은 HP 8510 millimeter network analyzer를 사용하였다.

위성용 주파수 대역인 11 GHz 대역에서, 상온에서부터 762 °C까지 측정하였으며, 결과를 그림 4에 나타냈다. 유전을 및 유전 손실 값은 530 °C까지 약간 감소하는 경향을 나타냈으며, 그 이상의 온도에서는 조금 상승하는 경향을 나타내었다. 이러한 결

표 1. 50 °C에서 측정된 FRC의 열 전도도  
Table 1. Thermal conductivity( $\lambda$ ) of FRC at 50 °C.

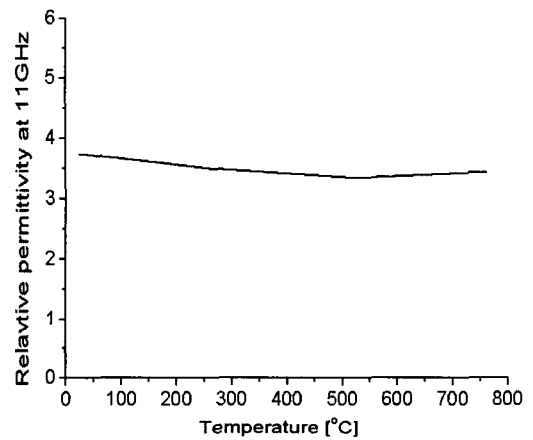
Shot number	Temperature(°C)	Diffusivity(mm <sup>2</sup> /s)	Conductivity(W/m*k)	Cp(J/g*k)
1	49.9	0.413	0.536	0.731
2	50.2	0.411	0.535	0.732
3	50.2	0.413	0.537	0.732
4	50.2	0.411	0.537	0.732
5	50.2	0.412	0.536	0.732
Mean:	50.1	0.001	0.536	0.732
Std. Dev.:	0.1		0.002	0.001

과는 530 °C까지 내부에 존재하는 소량의 유기물이 산화하면서 내부 기공을 형성한 결과로 보이며, 그 이상의 온도에서는 유리 섬유 부분 용융에 의해 내부 기공이 메워지면서 유전율이 서서히 증가하는 것으로 보인다.

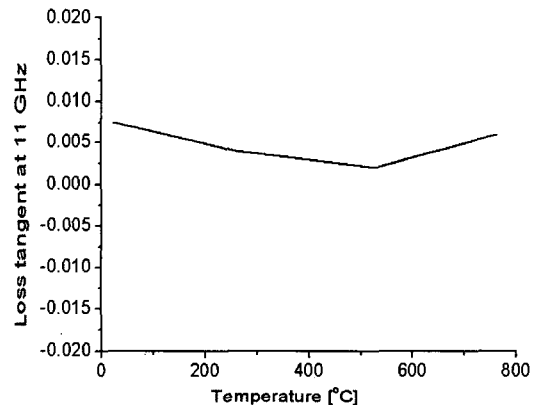
습도 시험은 습도가 높은 환경에서 장기간 노출 시, 커버의 유전 특성의 변화를 알아보는 시험으로서, 습도 시험 조건은 아래와 같이 하여 실시하였다. 이때 온/습도 조건은 60 °C, 95±4 % RH(Relative Humidity)이며, 시험 전 23±2 °C, 50±5 % RH(이 조건에서 24시간 유지), 테스트 주기는 최소 3주기(1주기=48 시간)이다. 그림 5는 습도 실험 후, 유전율 및 유전 손실을 측정 결과를 나타낸다. 유전율은 습도 실험 후, 3.7에서 5.3으로, 유전 손실은 0.006에서 0.11로 크게 증가하였다. 실험 결과, 본 안테나 커버에 제작에 사용된 소재는 수분에 의해서 유전 특성에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 고온 및 습한 환경에서의 유전 특성 변화를 통해 알 수 있듯이, 고온 환경에서는 상온과 비교하여 일정한 유전특성을 나타냈지만, 습한 환경에서의 유전 특성은 크게 저하되는 현상을 확인할 수 있었다. 따라서 습한 환경에서 우수한 전기적 특성을 갖는 새로운 안테나 커버의 제안이 필요함을 알 수 있다.

## 2-24 테프론 코팅 후 습도 특성 분석

습도 실험 결과 유전을 변화 문제점을 해결하기 위해 커버에 방수 능력이 우수한 소재로 알려져 있는 테프론(Teflon)을 사용하여 코팅을 한 후, 앞서 실험한 2-3절의 습도 실험에서와 동일한 조건에서



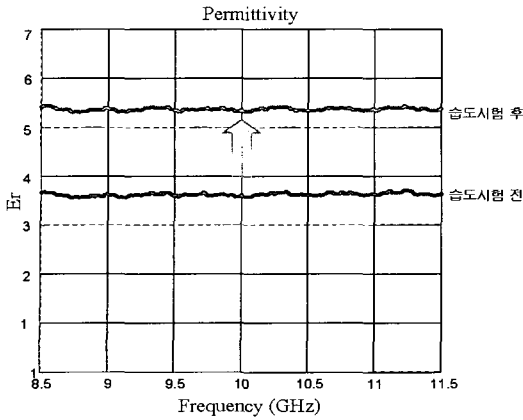
(a) 온도 변화에 따른 유전율 변화  
(a) Variation of relative permittivity with temperatures



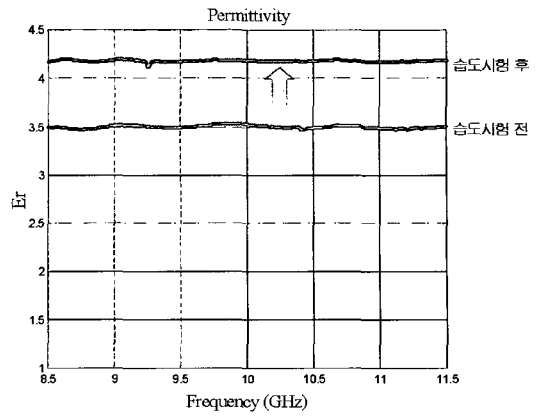
(b) 온도 변화에 따른 탄젠트 손실 변화  
(b) Variation of loss tangent with temperatures

그림 4. 11 GHz에서 측정된 온도 변화에 따른 유전 특성 변화

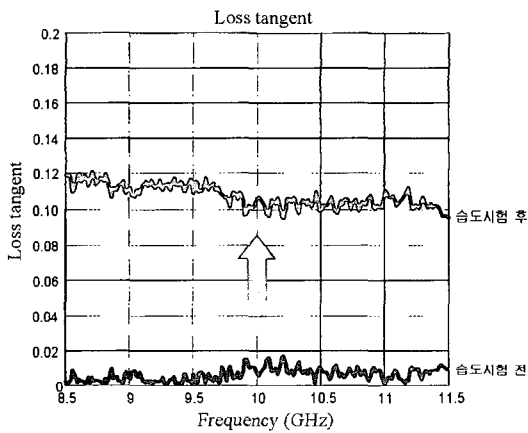
Fig. 4. Variation of dielectric characteristic with respect to temperatures at 11 GHz.



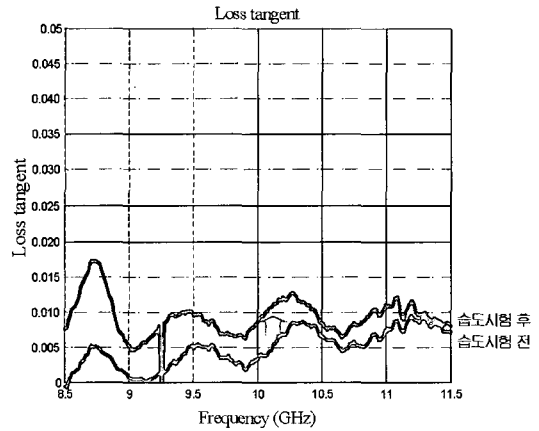
(a) 유전율 변화  
(a) Variations of relative permittivity



(a) 유전율 변화  
(a) Variations of relative permittivity



(b) 탄젠트 손실 변화  
(b) Variations of loss tangent



(b) 탄젠트 손실 변화  
(b) Variations of loss tangent

그림 5. 습도 시험에 따른 유전 특성의 변화  
Fig. 5. Dielectric characteristic with variations of humidity test.

그림 6. 테프론 코팅 후, 습도 시험에 따른 유전 특성의 변화  
Fig. 6. Dielectric characteristics with variation of humidities after coating with teflon.

습도 실험을 실시하였다. 테프론 코팅 실시 후, 내습 특성 실험 결과를 그림 6에 나타냈다. 테프론 코팅된 커버의 유전율은 11 GHz 대역에서 3.5에서 4.25로 변화하였고, 유전 손실은 0.008에서 0.011로 변화하였다. 이는 테프론 코팅을 하지 않은 것과 비교하여 수분에 의한 영향은 크게 감소되었음을 알 수 있다.

### Ⅲ. 안테나 성능 분석

앞서 실험한 상온, 고온, 테프론 코팅 및 습도 시

험에 따른 유전율 측정값을 적용하여 안테나 특성 평가에 대한 모의 실험을 하였다. 고속 비행체에 장착되는 안테나는 공중에서 진행하며 작동되기 때문에 높은 이득과 넓은 대역폭을 필요로 한다<sup>[9]</sup>. 본 연구에서는 여러 가지 안테나 중에서 소형, 경량의 특성 및 여러 가지 패턴 조합과 손쉬운 배열을 통해 다양한 특성을 이끌어 낼 수 있으면서, 제작이 용이하고 가격이 저렴한 마이크로스트립 사각 패치 배열 안테나를 사용하였다. 경우에 따라서는 빔 패턴을 더욱 샤프하게 만들어야 할 경우가 있는데, 이런

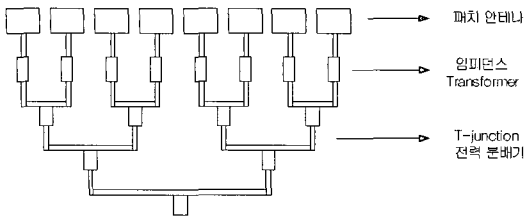


그림 7. 배열 안테나의 구조  
Fig. 7. Structure of array antenna.

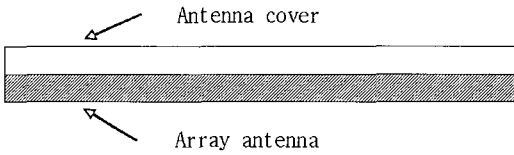
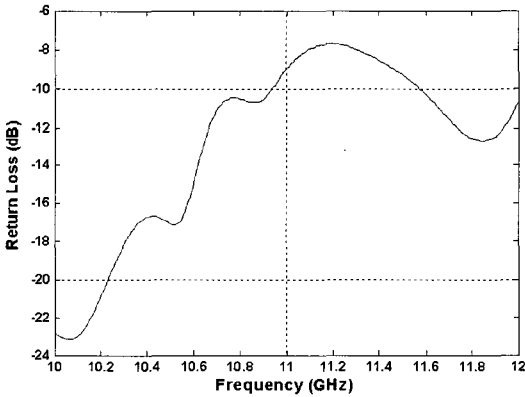


그림 8. 안테나 커버와 안테나의 부착  
Fig. 8. Integrating of antenna cover and antenna.

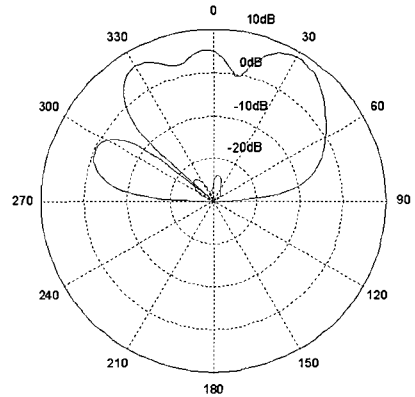
경우 하나의 안테나로는 부족한 경우가 많다. 이 경우 여러 개의 안테나를 특정한 구조로 배열하면, 각각의 안테나의 방사 패턴이 합쳐져서 더욱 샤프하게 만들 수 있다. 또한, 임피던스 매칭을 위하여 T-junction 전력 분배기와 임피던스 트랜스포머(transformer)를 사용하였다. 그림 7은 본 연구의 시물레이션에 사용된 배열 안테나의 구조이다.

### 3-1 안테나 커버의 유전율의 변화에 따른 안테나의 특성 변화

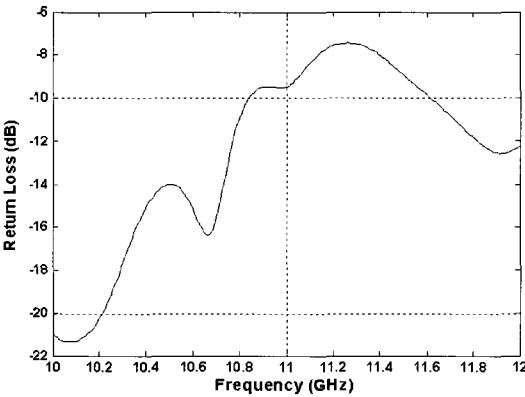
안테나 커버와 안테나 사이의 공기층(air gap) 없이 그림 8과 같이 안테나 표면에 바로 커버를 부착시키고, 커버의 유전율의 변화에 따른 안테나의 특성을 비교 분석하였다. 상온, 고온, 습도시험 전 후의 상태 변화에 따른 유전율에 대하여 반사 손실과



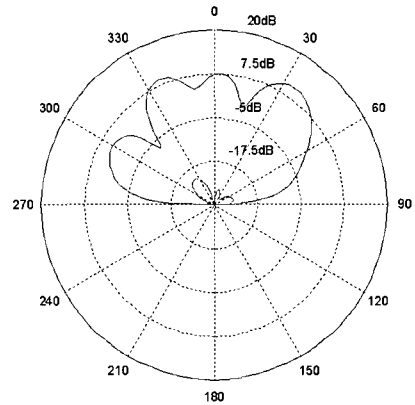
(a) 반사 손실 ( $\epsilon_r = 3.7$ (상온))  
(a) Return loss ( $\epsilon_r = 3.7$ (normal))



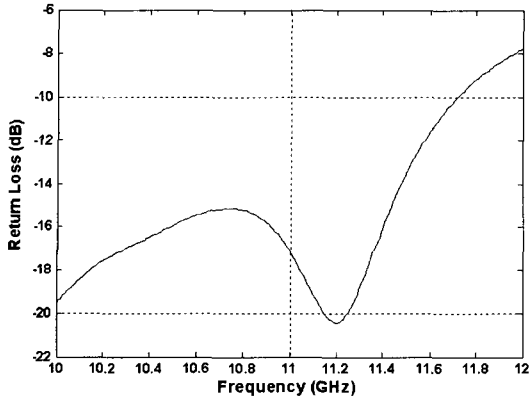
(b) 방사 패턴 ( $\epsilon_r = 3.7$ (상온))  
(b) Radiation pattern ( $\epsilon_r = 3.7$ (normal))



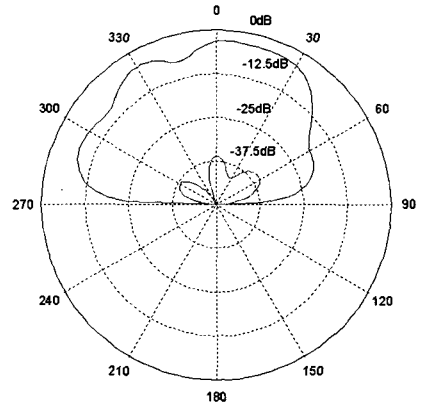
(c) 반사 손실 ( $\epsilon_r = 3.2(600\text{ }^\circ\text{C})$ )  
(c) Return loss ( $\epsilon_r = 3.2(600\text{ }^\circ\text{C})$ )



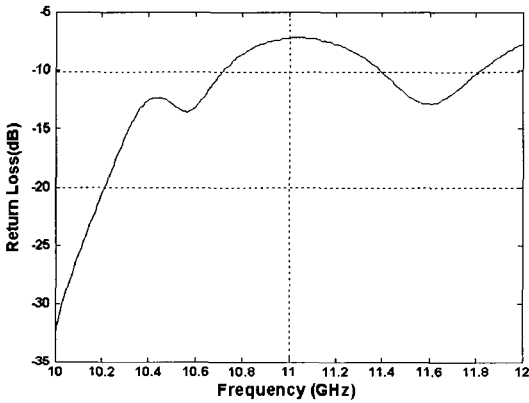
(d) 방사 패턴 ( $\epsilon_r = 3.2(600\text{ }^\circ\text{C})$ )  
(d) Radiation pattern ( $\epsilon_r = 3.2(600\text{ }^\circ\text{C})$ )



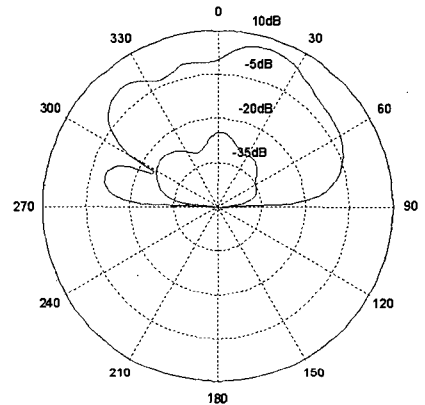
(e) 반사 손실( $\epsilon_r = 5.3$ (습도시험 후))  
 (e) Return loss( $\epsilon_r = 5.3$ (after humidity test))



(f) 방사 패턴( $\epsilon_r = 5.3$ (습도시험 후))  
 (f) Radiation pattern( $\epsilon_r = 5.3$ (after humidity test))



(g) 반사 손실( $\epsilon_r = 4.25$ (테프론 코팅 후 습도시험 후))  
 (g) Return loss( $\epsilon_r = 4.25$ (after teflon coating with humidity test))



(h) 방사 패턴( $\epsilon_r = 4.25$ (테프론 코팅 후 습도시험 후))  
 (h) Radiation pattern( $\epsilon_r = 4.25$ (after teflon coating with humidity test))

그림 9. 유전율( $\epsilon_r$ ) 변화에 따른 반사 손실과 방사 패턴  
 Fig. 9. Return loss and radiation pattern with variations of permittivity.

방사 패턴을 시뮬레이션과 실험을 통해 분석하였다.

그림 9와 10은 유전율의 변화에 따른 안테나의 반사 손실과 중심 주파수 11 GHz에서의 방사 패턴과 이득(Gain) 그래프이다. 앞 절에서 온도 및 습도 변화에 따라 측정된 유전율 값을 적용하였다. 측정된 습도 시험 후의 유전율인 5.3에서 반사 손실이 주파수 10 GHz에서 11 GHz까지 -10 dB 아래의 값을 가지며 다른 유전율의 값보다 방사 패턴에서도 광대역 특성을 보이지만, 매우 작은 이득 값을 갖는다. 그러나 그림 10에서 알 수 있듯이 테프론 처리를 함으로써 유전율의 변화를 적게 할 수 있으며 안테나의 이득 또한 다시 개선된다.

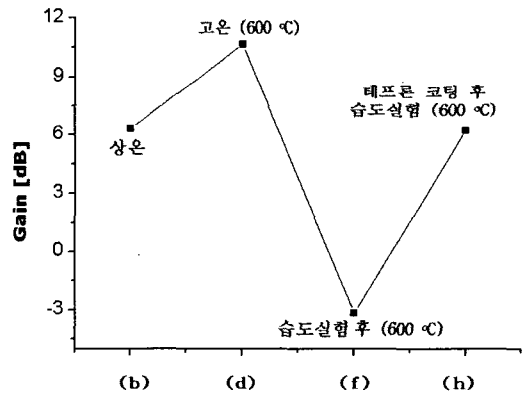


그림 10. 각 환경에 변화에 이득 값  
 Fig. 10. Gain with various environments.



### 3-2 안테나 커버와 안테나 사이 간격에 따른 변화

앞 절에서 안테나 커버와 안테나 사이의 간격 없이 부착시킨 경우에 대하여 모의 실험을 하였다. 본 절에서는 그림 11과 같이 안테나와 안테나 커버 사이에 공기층의 유무에 따라 시뮬레이션을 하여 안테나의 성능 변화를 비교 실험하였다. 이와 같은 실험을 실시한 이유는 안테나와 안테나 커버를 기구적 결합을 할 경우 발생하는 공기층에 의한 공진 현상을 고려한 것이다. 시뮬레이션 조건은 공기층의 높이를 1.5 mm, 3 mm로 변화를 주었으며, 안테나 덮개의 유전율은 테프론 코팅된 4.25로 적용하였다. 그림 12에서와 같이 공기층 1.5 mm나 3 mm의

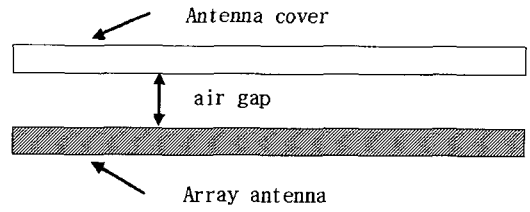
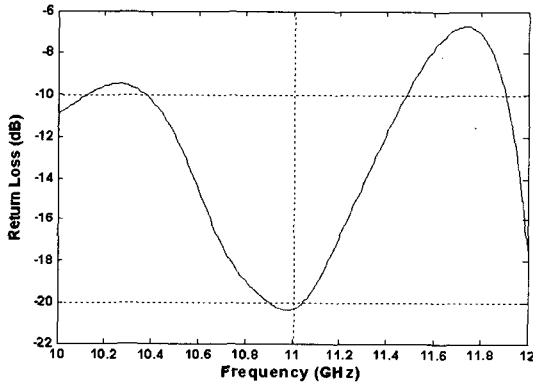
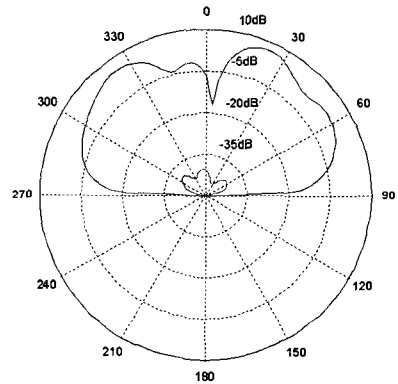


그림 11. 안테나 커버와 array 안테나 사이의 공기층  
Fig. 11. Air gap between antenna cover and antenna.

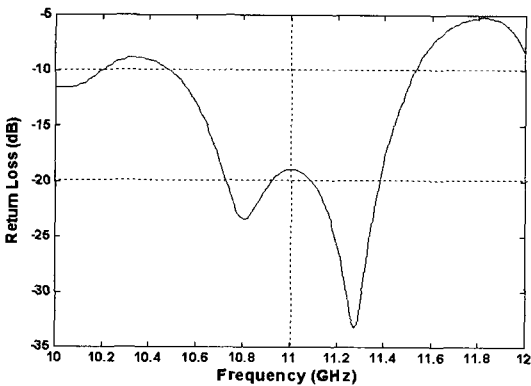
반사 손실 특성은 원하는 대역폭을 만족하였다. 하지만 그림 13에서와 같이 안테나에서 가장 중요한 방사 패턴의 이득 값이 낮게 나타남을 볼 수 있다. 안테나 커버가 없을 경우, 안테나 이득이 8.7로써 가장 크게 나타났다. 그러나 고속 비행체의 물리적,



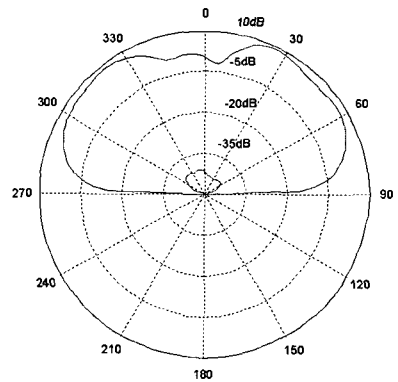
(a) 반사 손실(공기층(1.5 mm))  
(a) Return loss(air gap(1.5 mm))



(b) 방사 패턴(공기층(1.5 mm))  
(b) Radiation pattern(air gap(1.5 mm))

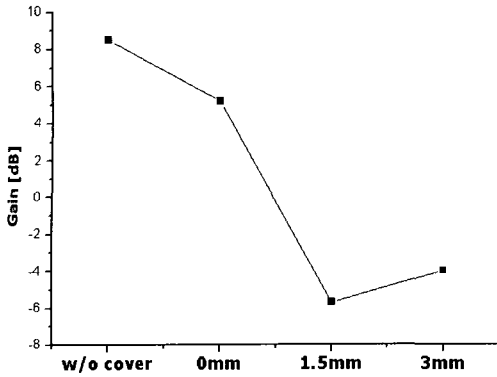


(c) 반사 손실(공기층(3 mm))  
(c) Return loss(air gap(3 mm))



(d) 방사 패턴(공기층(3 mm))  
(d) Radiation pattern(air gap(3 mm))

그림 12. 공기층 첨가 후의 반사 손실과 방사 패턴(11 GHz)  
Fig. 12. Radiation pattern after an addition of air layer(11 GHz).



안테나와 커버 사이의 공기 층 두께 변화 [mm]

그림 13. 안테나 커버가 없는 경우와 공기층 변화에 따른 이득

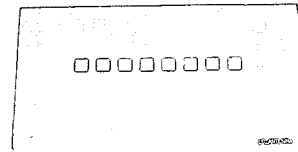
Fig. 13. Gain with variations of air layer.

환경적 요인으로 안테나 보호를 위해 커버의 사용은 필수적이므로 최대한 공기층이 존재하지 않게 하여, 큰 안테나 이득을 갖도록 하여야 함을 알 수 있다.

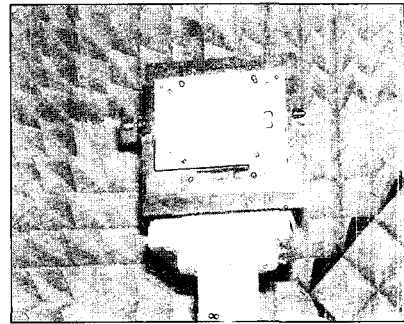
### 3-3 실험 및 결과

지금까지 제작 공정과 모의 실험을 통해 초고속 안테나용 커버의 최적의 파라미터를 찾아내었다. 공정 압력은 10 kgf/cm<sup>2</sup>으로 제작해야 하며, 고온/고습도에서 높은 이득과 최적의 방사 패턴을 갖는 테프론 코팅 처리된 안테나 커버를 도출해 내었다. 본 절에서는 일반적으로 초고속 비행체에 적용 가능한 배열 안테나를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 바탕으로 추출된 최적의 파라미터를 적용한 시료로 고온/고습도 변화를 고려하여 테프론 코팅 처리한 안테나 커버에 대하여 안테나 특성 시험을 하였다.

그림 14는 실험에 사용된 테프론 코팅으로 된 안테나 커버가 장착된 마이크로스트립 패치 안테나 실장도이며, 그림 15는 챔버(chamber)에서 실시한 이득의 실험 결과를 나타냈다. 실험 조건을 두 가지로 설정하였다. 첫 번째는 고온(600 °C) 처리 후 상온에서 측정하였으며 두 번째는 고온(600 °C)과 동시에 고습도 환경을 가한 후에 상온에서 측정하였다. 안테나 방사 패턴을 확인한 결과 그림 15와 같이 습도 시험전의 안테나 커버를 장착하였을 때 안테나 이득은 9.08 dB이고, 고습도 시험 후의 안테나



(a) 제작된 마이크로스트립 패치 안테나  
(a) Implemented microstrip patch antenna



(b) 안테나 커버가 장착된 안테나  
(b) The antenna mounted on antenna cover

그림 14. 실험에 사용된 안테나 커버가 장착된 마이크로 스트립 패치 안테나

Fig. 14. The implemented microstrip patch antenna with teflon-coated cover for experiments.

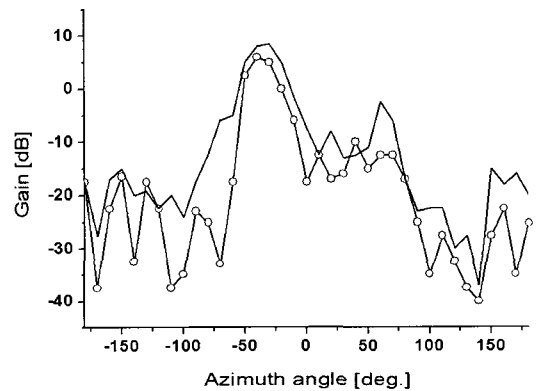


그림 15. 테프론 코팅된 안테나 커버의 안테나 방사 패턴(고온(600 °C) 처리 후); 습도 시험 전 이득(-), 습도 시험 후 이득(○)

Fig. 15. Radiation pattern of antenna cover coated with teflon(after high temperature(600 °C)); before humidity test(-), after humidity test (○).

커버를 장착하였을 때의 안테나 이득은 6.77 dB로 나타났다. 이는 그림 10에서의 시뮬레이션 결과와 거의 일치하며 고온/고습에서도 제안된 안테나 커버의 우수한 성능이 실험적으로 증명되었다.

#### IV. 결 론

안테나 커버용 소재는 사용 환경인 600 °C 이상의 온도 처리 후 구조적 안정성을 가져야할 뿐만 아니라, 전파 투과성이 우수한 저유전율을 갖추어야 한다. 본 연구에서 최적 공정 압력 10 kgf/cm<sup>2</sup>에서 세라믹 접착제를 이용한 세라믹 복합체를 제작하였다. 고속 비행체용 안테나 커버의 사용 환경을 고려하여 고온 및 습한 환경에서의 유전율을 측정 한 결과, 고온 환경에서는 온도가 증가함에 따라, 유전율이 서서히 감소하다가 523 °C 이상에서는 조금씩 증가하는 경향을 나타냈으며, 습도 환경에서는 유전율이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 습도환경에서 안테나 커버를 보호하기 위해 테프론 코팅 후, 유전율을 측정 한 결과, 수분에 의한 영향을 크게 감소시킬 수 있었다. 최종적으로 제안된 소재의 다양한 환경에서 측정된 유전율을 토대로 시뮬레이션을 통해 안테나 특성을 평가하였다. 본 연구의 결과, 최적의 소재인 테프론 코팅된 세라믹 복합체를 안테나 커버에 적용할 경우 우수한 물리적 및 전기적 특성을 가짐을 알 수 있었다. 실험에서 측정된 습도에 의한 이득감소 특성을 최소화 할 수 있는 재료의 연구가 필요하다. 추가적으로 공기층의 변화에 의해 발생할 수 있는 공진에 의한 이득의 변화를 보다 면밀히 분석하는 것이 필요하다고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] C. W. Garvin, R. E. Munson, L. T. Ostwald, and K. G. Schroeder, "Missile base mounted microstrip antenna", *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, vol. 25, no. 5, pp. 604-610, Sep. 1977.
- [2] W. Gregorwich, R. B. Ward, "An autonomous antenna for aerospace applications", *IEEE Aerospace Applications Conference*, pp. 99-108, Jan.-Feb. 1993.
- [3] B. S. Lee, "Effects of heat treatment on electrical and mechanical properties of glass fiber reinforced epoxy", *Journal of the Korea Institute and Electronic Material Engineers*, vol. 11, no. 3, pp. 174-180, 1998.
- [4] D. Guha, J. Y. Siddiqui, "Resonant frequency of circular microstrip antenna covered with dielectric superstrate", *IEEE trans. Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 7, pp. 1649-1652, Jul. 2003.
- [5] Z. H. Qian, R. S. Chen, H. W. Yang, and K. W. Leung, "FDTD analysis of microstrip patch antenna covered by plasma", *International Conference on Proceedings Microwave and Millimeter Wave Technology*, pp. 983-986, Aug. 2004.
- [6] Y. Kawaguchi, H. Nakagawa, S. Tanaka, and T. Yamada, "Application of phased-array antenna technology to the 21 GHz broadcasting satellite for rain-attenuation compensation", *IEEE International Conference on Communications*, vol. 5, pp. 2962-2966, Apr. 2002.
- [7] J. Llorca, M. Elices, "Fracture resistance of fiber-reinforced ceramic matrix composites", *Acta Metallurgiac et Materialia*, vol. 38, no. 12, pp. 2485-2492, 1990.
- [8] T. J. Lu, J. W. Hutchinson, "Thermal conductivity and expansion of cross PLY composites with matrix cracks", *J. Mech. Phys. Solids*, vol. 43, no. 8, pp. 1175-1198, 1995.
- [9] 김성완, 황수설, 이재득, "텔레메트리 로켓 탑재 안테나의 회선 분석에 관한 연구", *한국전자파 학회논문지*, 15(3), pp. 311-318, 2004년 3월.

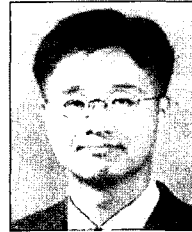
정 영 철



2001년: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
1993년 4월~현재: 국방기술품질원 선임연구원  
2002년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로

파 해석

육 중 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)  
1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer  
1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수  
2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 조교수  
[주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조

이 경 원



2003년: 대전대학교 전자공학과 (공학사)  
2005년: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
2005년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로

파 해석, SAR