

## 소형 무인항공기 탑재형 안테나 개발

Development of Flight Antennas for Micro Aerial Vehicle

김 덕 환\*  
Duck-Hwan Kim

이 규 환\*  
Kyu-Hwan Lee

김 영 식\*\*  
Young-Sik Kim

### ABSTRACT

The existing antenna that equipped with Micro Aerial Vehicle, microstrip antenna only can send and receive image signal because of limited bandwidth. But, proposed antenna that equipped with Micro Aerial Vehicle flight introduces tapered type patch antenna, also improves bandwidth then can transfer present location, altitude, movement speed. Furthermore, as a result of introduce stacked type, it transfers more quality of image signal, and represents most suitable performance in Korean peninsula that has many mountain peaks.

In this paper, to transmit and receive the wideband signals with a antenna system, the wideband microstrip antenna is proposed and designed. This antenna operates at 2.4GHz. In this thesis, the resonance frequency of 2.4GHz and the reflective loss of the antenna of  $-22\text{dB}$  were calculated by measuring the fabricated Tapered Microstrip Patch Antenna which was designed with the resonance of 2.4GHz. The calculated gain and efficiency of antenna were  $6.7\text{dB}$  and  $60\%$  respectively. The characteristic of the bandwidth shows with  $50\sim 60\text{MHz}$  which is  $6.02\%$  at the basis of  $-15\text{dB}$  reflective loss. The experimental results can be used in the characteristic of the resonators and this antenna produces a greatly enhanced bandwidth.

주요기술용어(주제어) : Micro Aerial Vehicle(소형 무인항공기), Tapered Microstrip Patch Antenna(Tapered형 마이크로스트립 패치 안테나), Wideband Microstrip antennas(광대역 마이크로스트립 안테나)

### 1. 머리말

지난 20년 동안 미국, 유럽을 중심으로 막대한 예산의 연구로 무인기의 다양한 유용성에 대하여

다방면에 걸쳐서 연구되어지고 있다. 특히, 미 국방성의 DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)에서는 1997년 12월부터 MAV(Micro Aerial Vehicle : 소형 무인비행체) 개발을 위하여 총 연구비 3,500만 달러의 연구프로젝트를 기획하여 가장 활발하게 MAV 개발을 추진하고 있다.

무인기의 특성상 조종사가 직접 탑승하지 않고, 지상기지국에서 비행데이터와 영상화면 만으로 조종하는 것이므로, 그 무엇보다도 통신이 중요한 부분을

† 2004년 10월 18일 접수~2004년 12월 13일 심사완료

\* 한국과학기술연구원(KIST)

\*\* 고려대학교(Korea University)

주저자 이메일 : duckhwan@kist.re.kr

차지한다고 볼 수 있다. 그런데, 우리나라와 같은 산악지형이 많은 환경에서는 통신두절과 같은 상황이 발생함으로 무인기가 제 임무를 수행하지 못하거나 심지어는 추락하는 경우도 생길 수 있다.

따라서, 본 논문은 이를 개선하기 위한 방법으로 항공기에 부착하기 용이한 Tapered형 적층 마이크로 스트립 패치 안테나의 구조를 제안하고 이를 구현하였다.

## 2. 본문

### 가. 항공기용 마이크로스트립 안테나의 해석 방법

패치의 양 개방 종단에 존재하는 불연속성으로 인하여 패치의 가장자리에서 가장자리 계(fringing field)가 발생하고, 이것은 에너지가 축적됨을 의미하므로 정전 용량이 있는 것으로 간주<sup>[1]</sup>할 수 있다.

$$\frac{1}{Z_{in}} = G_1 + jB_1 Y_1 \frac{G + j[B + Y_1 \tan(\beta L)]}{Y_1 + j[(G + jB) \tan(\beta L)]} \quad (1)$$

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = \frac{1}{2G} \quad (2)$$

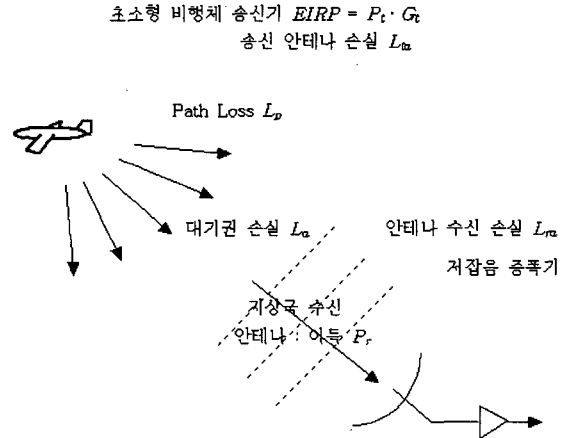
패치 길이가  $L$ 인 사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 주파수  $f_r$ 은 다음과 같다.

$$f_r = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}(L + 2\Delta L)} \quad (3)$$

실효 개구부(aperture) 면적  $A_e$   $m^2$ 과 물리적인 수신면적  $A_r$ 을 가지는 실제 안테나가 수신하는 전력<sup>[4]</sup>은 다음과 같이 표시된다.

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot A_e}{4\pi R^2} \quad (4)$$

그뿐 아니라, 항공기의 실제 통신상황에서는 아래 식과 같은 중요한 손실요소들을 고려<sup>[2]</sup>해야 한다.



[그림 1] 비행체-지상국간 송·수신 통신 개념도

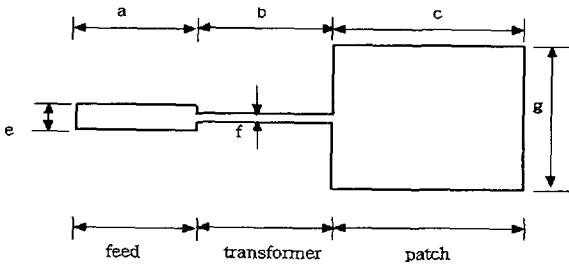
$$P_r = (EIRP + G_r - L_p - L_a - L_{ta} - L_{ra}) \text{ dBW} \quad (5)$$

(5)식의 물리적 의미는 송·수신 모듈의 설계 및 개발에 매우 중요하다. 지상국 수신전력  $P_r$ 은 애널로그 혹은 디지털 통신 방식을 사용할 때 통신이 에러 없이 유지되기 위하여 일정 값의 신호대 잡음비 (signal to noise ratio, S/N) 혹은 BER(bit error rate)을 넘어서는 값으로 수신 안테나에 도달하여야 한다. 따라서 본 연구과제의 목표인 초소형, 초경량, 저 전력원 탑재의 비행체로부터 지상국으로의 실시간 동영상 및 위치정보 등의 고속 정보전송을 가능케 하는 송·수신 모듈 개발의 관건은 (5)식에서  $G_t$  및  $G_r$ 의 두 항을 어떻게 최적화 하는가에 달려 있다고 할 것이다. 우선  $G_t$ 는 송신 안테나의 이득을 의미하고 이는 송신기 안테나가 얼마나 향상된 지향성을 가지고 수신 지상국 안테나의 방향으로 정확히 한정된 송신 전력을 모두 방사하는지 여부로 결정되는 값이다.

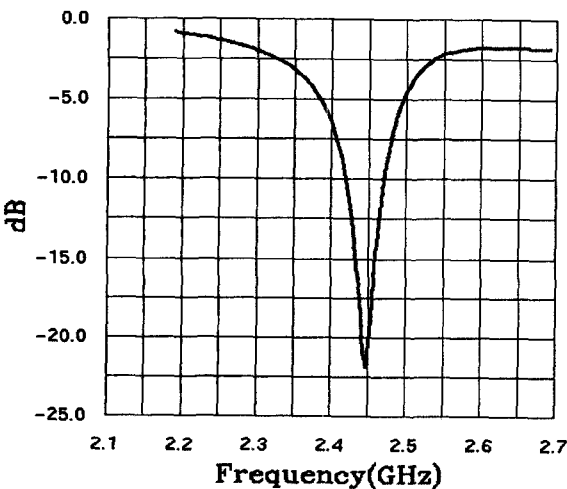
나. 기존의 소형 무인항공기에 사용되는 일반적인 단일 Microstrip patch 안테나 설계 주파수 2.4GHz에서 공진 되도록 패치의 길이와 폭을 다음 식으로 계산한다.

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (6)$$

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} - 2\Delta L \quad (7)$$



[그림 2] 기존의 소형 무인항공기에 사용되는 단일 Microstrip patch 안테나



[그림 3] 단일 Microstrip patch 안테나의 반사 손실

윗 그림 3은 단일 Microstrip patch 안테나의 반사 손실 결과로써, 주파수 2.4GHz에서 공진이 일어나고, 반사 손실이 약 -23.3157dB의 값으로 계산되었다. 반사 손실이 -10dB 이하(VSWR ≤ 2)가 되는 대역 폭은 2.4145~2.4757GHz로 되었다.

입력 단자에서의 입력 임피던스( $Z_{IN}$ ) 크기는 공진 주파수 2.4GHz에서 입력임피던스는  $Z_{IN}=48.02+j15.53$ 을 보였다.

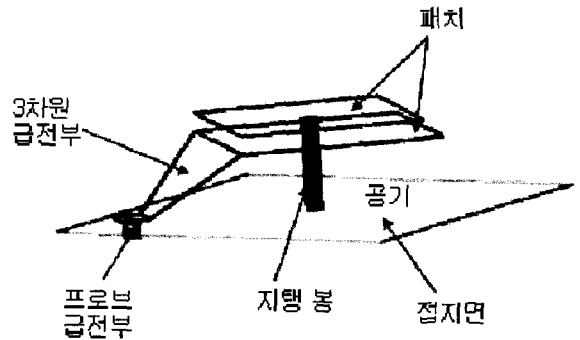
다. Tapered형 적층 마이크로스트립 패치 안테나 설계

제안된 이중공진 안테나의 아래패치와 위패치의 길이는 이중공진 안테나의 설계처럼 안테나의 공진주파수와 관련되어 있으며 원하는 공진지점에서 동작하기 위해서는 안테나의 위패치와 아래패치의 길이를 공진 주파수의 약 반파장 정도의 길이를 가지도록 적절히 선택해 주어야 하며, 이로 인해 다중공진에 의한 광대역 특성이 발생하게 된다.

적층구조 안테나의 급전 입력 단자에서 본 어드미턴스는  $Y_L = G_1 - jB_1$ 가 되고, 전체 어드미턴스  $Y_{in}$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{in} = \frac{1}{Z_{in}} = G_1 + jB_1 Y_1 \frac{G + j[B + Y_1 \tan(\beta L)]}{Y_1 + j[(G + jB) \tan(\beta L)]} \quad (8)$$

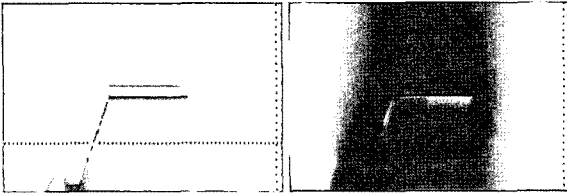
2.4GHz Tapered형 적층 마이크로스트립 패치 안테나의 최대 이득은 약 6.8dB로 계산되었으며 이는 기존에 사용하고 있는 단일 마이크로스트립 패치 안



[그림 4] 제안된 안테나의 구조

[표 1] Tapered형 적층 마이크로스트립 패치안테나 설계치

주파수	방사소자		급전소자			
	폭	길이	transformer		feed	
			폭	길이	폭	길이
Upper Patch	33.5mm	33.5mm	0.798mm	22mm	8.5mm	12mm
bottom Patch	70mm	70mm	0.23mm	42.4mm	5.73mm	39.35mm



[그림 5] 단일구조와 적층구조에서의 전계의 세기비교

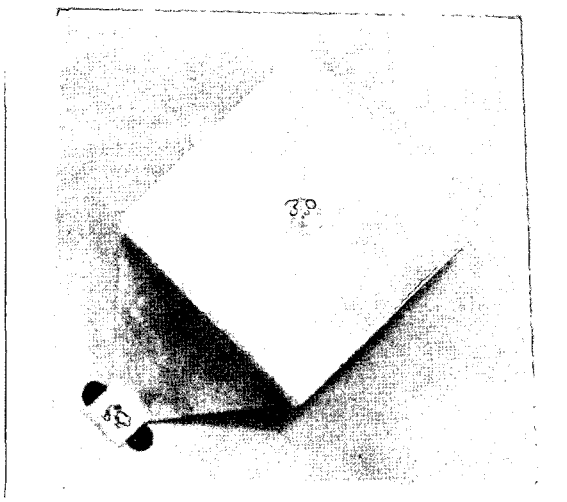
테나에 비해 이득(G)×대역폭(BW)∝ 체적(V)<sup>[3]</sup>이라는 관계를 고려하면 체적에 비해 성능이 우수함을 알 수 있었다

### 3. 실험

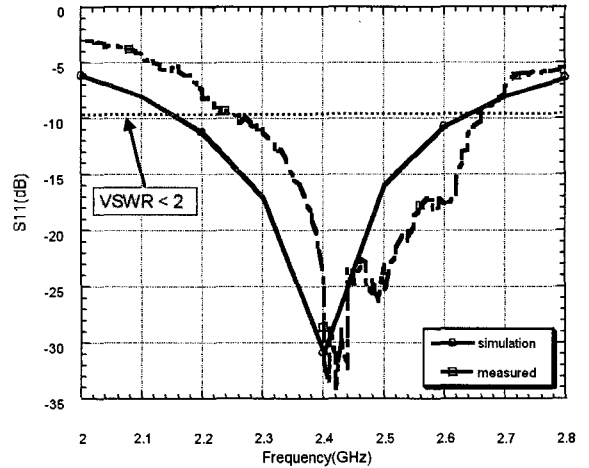
가. Tapered형 적층 마이크로스트립 패치안테나 제작 및 측정결과

앞에서 설명되어진 마이크로스트립 이중공진 안테나를 2.4GHz에서 동작하도록 설계 및 제작하여 측정을 통해 특성을 고찰하고자 한다.

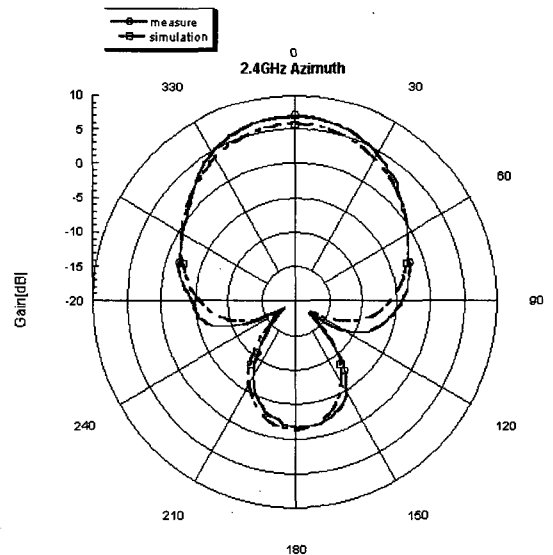
접지(ground)용 기판은 유전율  $\epsilon_r=2.2$ , loss tangent가 0.001, 두께 0.75mm인 기판을 사용하였고, 중간층에는 광대역 특성을 얻기위해  $\epsilon_r=1$ 인 공기층을 두고 안테나를 설계 및 제작하였다.



[그림 6] Tapered형 적층 마이크로스트립 패치안테나



[그림 7] 안테나의 반사손실

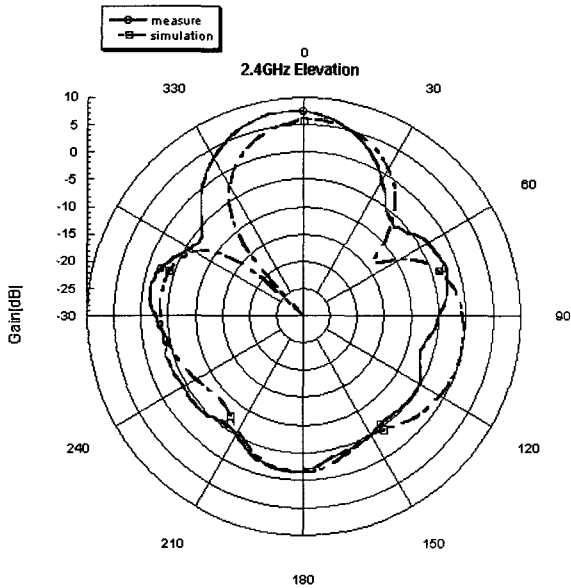


[그림 8] 2.4GHz E-평면 Azimuth.

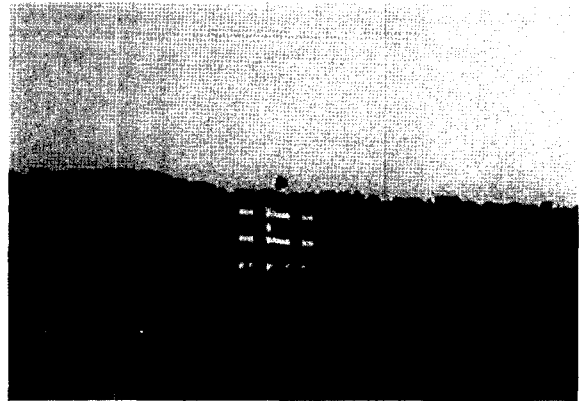
주파수를 선택하여 무반사실에서 측정하였다.

나. 비행실험

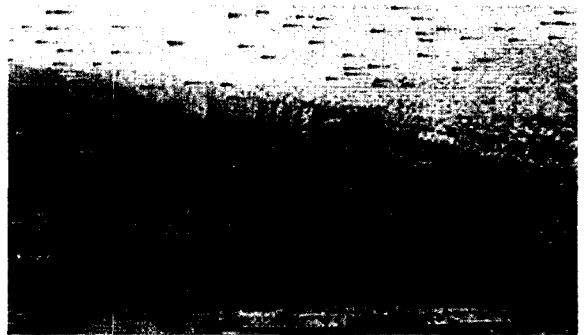
비행실험의 목적은 원격조종 시스템의 전반적인 하드웨어 내구성 테스트 및 지상에서의 조종가능성 여부, 비행체의 모델 산출을 위한 데이터획득 및 Tapered형 적층 Antenna의 실제적용 가능성을 목적에 두고 수행하였다.



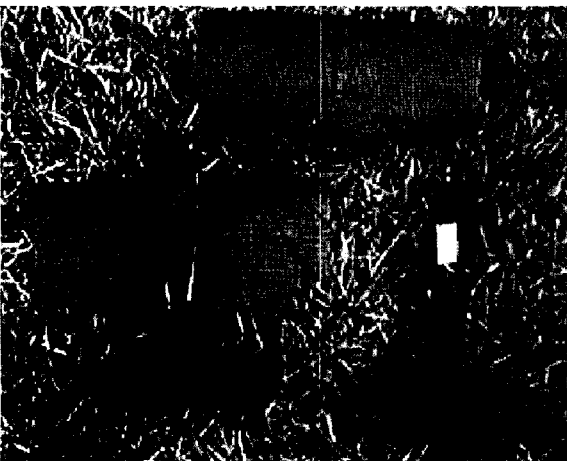
[그림 9] 2.4GHz H-평면 Elevation



[그림 11] 비행실험



[그림 12] 단일 마이크로 스트립 패치안테나를 사용



[그림 10] 제작한 안테나와 비행실험에 사용될 KIST MAV(2호기)



[그림 13] Tapered형 적층 마이크로스트립 패치안테나 장착후 비행에서의 영상 송·수신상태

방법은 두개 조로 나누어 하나는 기존의 MAV에서 사용하는 단일마이크로스트립 패치안테나를 장착하였고, 나머지 하나는 본 논문에서 제시한 Tapered형 적층 Antennas를 장착하여 실제비행실험을 거쳐 비행에서의 영상화면 및 고도, 위치 데이터의 송·수신을 시도하여 비교해 보았다.

전제조건은 안테나의 정확한 송·수신 상태를 비교

하기위하여 동일한 상공을 연속 비행하였으며, null zone에 들어가는 부분에 촬영하였으며, 안테나의 종류를 제외한 다른 모든 부품과 기종은 동일하게 사용하였고 송신 power도 동일하게 설정하였다

#### 4. 맺음 말

본 논문에서는 초소형 무인항공기에 탑재되어 2.4 GHz 대역에서 안정된 영상신호와 더욱 부가적인 비행정보들을 송·수신용으로 사용하기 적합한 소형, 경량의 Tapered형 적층 마이크로스트립 패치안테나를 HP HFSS를 사용하여 설계하고 탑재된 안테나의 성능은 최종적으로 비행실험을 통하여 입증하였다.

본 실험의 가장 중요한 목적중의 하나인 본 원에서 제작한 초소형 무인항공기에 TAPERED형 적층방식을 도입하여 장착해 봄으로써, 이전보다 향상된 영상신호 수신 외에 밴드폭의 향상으로 기존의 유인항공기의 가장 큰 장점이었던 계기운항에 필수적인 부가장치들을 무인항공기에도 적용할 수 있게 됨으로써, 한층 정밀하고 신뢰성 있는 영상&계기비행조종이 가능할 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Matthew, N. O. Sadiku, Numerical Techniques in Electromagnetics, CRC Press, Inc., New York, pp.179~203, 1992.
- [2] Karl S. Kunz and Raymond J. Luebbers, The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics, CRC Press Inc., New York, 1993.
- [3] Allen Taflove, Advances in Computational Electrodynamics : The Finite Difference Time-Domain Method, Artech House Inc., Boston · London, 1998.
- [4] Kane S. Yee, "Solution of Initial Boundary Value Problems", IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. AP-14, pp.302~307, May 1966.
- [5] David M. Sheen and Sami M. Ali et al., "Application of the Three-Dimensional Finite-Difference Time-Domain Method to the Analysis of Planar Microstrip Circuits", IEEE Trans. MTT, Vol. MTT-38, pp.849~857, Jul. 1990.
- [6] Alain Reineix and Bernard Jecko, "Analysis of Microstrip Patch Antennas Using Finite Difference Time Domain Method", IEEE Trans. pp.1361~1369, Nov. 1989.
- [7] Jean-Francois Zurcher and Fred E. Gardiol, Broadband Patch Antennas, Artech House Inc., Boston · London, 1995.