Cellular/IMT-2000 공용 이중밴드 대수주기 다이폴 안테나 설계

Design of Dual Band Log-Periodic Dipole Antennas for the Cellular/IMT-2000 Band

최 학 근 · 오 종 대 · 김 명 철

Hak-Keun Choi · Jong-Dae Oh · Myeong-Choul Kim

요 약

본 논문에서는 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 사용 가능한 안테나로서 이중밴드 대수주기 다이폴 안테나(DLPDA: Dual Band Log-periodic Dipole Antennas)를 제안하였다. 제안한 안테나는 2조의 대수주기 다이폴 안테나와 기생소자들로 구성되어 있다. 제안된 안테나의 타당성을 조사하기 위하여 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 DLPDA를 설계하고, 모멘트법을 이용하여 복사특성을 해석하여 측정치와 비교하였다. 그 결과 제안된 DLPDA는 길이가 70 cm이면서도 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 이득, VSWR, 빔폭의 설계목표치를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이로서 본 논문에서 제안한 DLPDA는 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 사용 가능한 이중밴드 안테나임이 확인되었다.

Abstract

In this paper Dual Band Log-Periodic Dipole Antenna(DLPDA), which can be used at the Cellular/IMT-2000 band, is proposed. The proposed antenna is composed of 2 of Log-Periodic Dipole Antenna(LPDA) and parasitic elements. To investigate the reliability of the proposed antenna, DLPDA is designed at the cellular/IMT-2000 band and analyzed by using the method of moment. Numerical results are compared with measured results. It is shown that although the antenna length is 70 cm, its radiation characteristics satisfied the design goals of gain, VSWR, and beamwidth at the Cellular/IMT-2000 band. From these results, the proposed DLPDA is confirmed as the dual band antenna which can be used at the Cellular/IMT-2000 band.

Key words : Log-periodic Dipole Antenna, Dual Band, Parasitic Element, Cellular Band, IMT-2000 Band

Ⅰ. 서 론

최근 이동통신 서비스의 발달에 따라 차세대 이동통신 시스템인 IMT-2000에 대한 연구가 경쟁적으로 이루어져 왔고, 드디어 상용서비스를 눈앞에 두고 있다. IMT-2000 서비스가 상용화 될 경우 IMT-2000 시스템은 기존의 셀룰러 시스템, 개인휴대통신 시스템과 공존하게 될 것이고 기지국 및 중계기 시설이 기존 시설과 같은 위치에 설치될 것으로 보여진다. 따라서 이들 시스템 사이의 공용화가 이루어진다면 중복시설 투자를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 공용화 연구 가운데 안테나 분야의 연구로는 셀룰러 대역(824~894 MHz)과 IMT-2000 대역(1885~2200 MHz)을 커버하는 이중밴드 안테나의 연구가 있다.

셀룰러 대역과 IMT-2000 대역을 커버하는 안테나는 대수주기 다이폴 안테나(LPDA: Log-Periodic Dipole Antenna)[1]~[7]를 사용하여 구현될 수 있다. 대수

「이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.」

단국대학교 전자컴퓨터학부(School of Electronics Eng. and Computer Sci., Dankook University)

· 논 문 번 호 : 20030823-119

· 수정완료일자 : 2003년 10월 1일

주기 다이폴 안테나는 광대역 특성과 적당한 이득으로 TV 수신용이나 통신용 안테나로 널리 사용되고 있으며 구조에 따른 이득과 빔폭 특성 그리고 설계 방법에 관하여 잘 알려져 있다[3],[4]. LPDA는 설계 파라미터인 대수주기비(scaling factor) τ와 간격정수(spacing constant) σ, 대역폭에 따라 그 크기가 결정된다. 대수주기 다이폴 안테나가 VSWR 특성이 양호하고 안테나 이득이 10 dBi 이상이 되려면 안테나의 길이가 길어져야 한다. 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역을 커버하는 이득 10 dBi 이상의 안테나를 LPDA로 설계할 경우 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역 사이의 주파수에서도 LPDA가 동작하므로 안테나의 길이가 길어지게 된다.

이런 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 대수주기 다이폴 안테나 2 조를 안테나 축 상에 배열하고 이들 상호 간섭으로 나빠지는 안테나 특성을 양호하게 하기 위하여 기생소자를 적절히 배열하여 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 10 dBi 이상의 이득을 가지면서 안테나의 길이가 짧은 이중밴드 대수주기 다이폴 안테나(DLPDA: Dual Band Log-Periodic Dipole Antenna; 이하 DLPDA라 함)를 제안한다. 제안된 안테나의 타당성을 입증하기 위하여 모멘트법[3]~[7]을 적용하여 안테나의 복사특성을 해석하고, 실제 안테나를 제작하여 안테나 성능을 측정한다. 수치계산 결과와 측정결과를 서로 비교하여 이중밴드 안테나로서 사용가능성을 확인한다.

Ⅱ. 안테나 해석

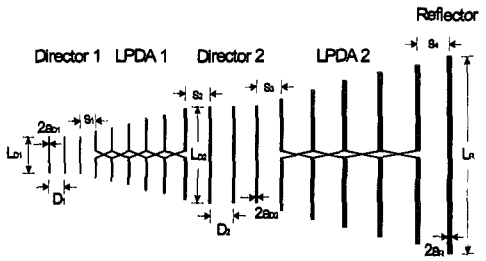
그림 1은 2개의 대수주기 다이폴 안테나를 결합하여 구성한 이중밴드 대수주기 다이폴 안테나의 구조를 나타낸다. 그림 1(a)에서 LPDA1과 LPDA2는 각각 높은 주파수 대역과 낮은 주파수 대역에서 설계된 대수주기 다이폴 안테나이다. Director1, Director2, Reflector는 안테나의 이득을 증가시키고 VSWR을 낮추기 위해 삽입한 무급전기생소자(parasitic element)로서 Yagi-Uda 안테나[7]의 기생소자와 같은 역할을 한다. 무급전 소자의 개수와 간격에 따라 안테나 특성이 변화한다. 그림 1(b)는 (a)의 LPDA1, LPDA2에 공히 적용되는 LPDA의 기하학적 구조를 나타낸다. 여기서, a_k는 다이폴 소자의 반경, L_k는 소자의 길이, d_k는 소자의 간격, Y_T는 종단어드미턴스이다. 대수주기 특성을 갖도록 그림 1(b) 구조를 결정하는 구조정수로서 다이폴 소자의 길이를 결정하는 대수주기비 τ와 간격을 결정하는 간격정수 σ는 각각 다음과 같이 정의된다[3],[6],[7].

$$\tau = \frac{L_{k+1}}{L_k} = \frac{a_{k+1}}{a_k} = \frac{R_{k+1}}{R_k} = \frac{d_{k+1}}{d_k} \tag{1}$$

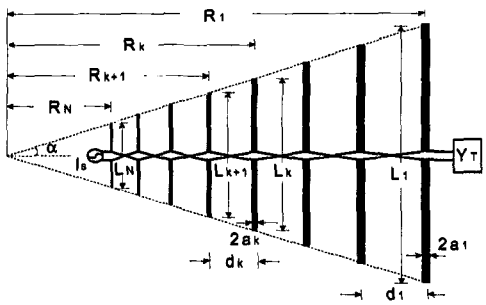
$$\sigma = \frac{d_k}{2L_k} = \frac{1}{4}(1-\tau)\cot\alpha \tag{2}$$

여기서, $k=1,2,3,\ldots N-1$, R_k는 LPDA의 정점으로부터 k번째 소자까지의 거리이고, α는 LPDA의 반개각(Half-flare angle)이다.

여기서는 그림 1(a)의 DLPDA를 Carrel이 제한한 회로망 해석법[1],[3],[6],[7]과 모멘트법을 이용하여 해석한다. 그림 1(a)의 DLPDA 구조에서 LPDA1, LPDA2, 무급전 소자들의 다이폴 개수를 각각 N, M, L개라고 가정한다. 또 DLPDA를 회로적으로 취급하면 그림 2와 같이 다이폴 소자계와 전송선로계가 서로 병렬 접속되어 있다고 생각할 수 있다. 전송선



(a) DLPDA



(b) LPDA

그림 1. 안테나 구조
Fig. 1. Antenna geometry.

로계의 전류 I_F와 전압 V_F에 관한 회로방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$[I_F] = [Y_F][V_F] \tag{3}$$

여기서, $[Y_F]$는 전송선로의 $N+M+L$ 단자 회로망의 어드미턴스 행렬로 그 원소는 다음과 구성된다. 만일 N개의 소자로 구성된 LPDA1에 급전된 경우 총 $(N+M+L)\times(N+M+L)$의 원소 중에서 $N\times N$ 원소는 다음과 같고 나머지 원소는 모두 0이다.

$$\begin{aligned}
Y_{11F} &= Y_T - jY_0 \cot kd_1 \\
Y_{22F} &= -jY_0(\cot kd_1 + \cot kd_2) \\
Y_{iiF} &= -jY_0(\cot kd_{i-1} + \cot kd_i) \\
Y_{NNF} &= -jY_0 \cot kd_{N-1} \\
Y_{ijF} &= Y_{jiF} = -jY_0 \csc kd_{N-1} \quad |i-j|=1 \\
Y_{ijF} &= Y_{jiF} = 0 \quad |i-j|\geq 2 \\
Y_T' &= Y_0 \frac{Y_T \cos kd_0 + jY_0 \sin kd_0}{Y_0 \cos kd_0 + jY_T \sin kd_0}
\end{aligned} \tag{4}$$

만일 LPDA2에 급전되었다면 총 $(N+M+L)\times(N+M+L)$의 원소 중에서 $M\times M$ 원소는 식 (4)로부터 구성되고 나머지 원소는 모두 0이다. 식 (4)에서 Y_0는 전송선로의 특성 어드미턴스, Y_T는 전송선로의 종단어드미턴스, k는 전송선로의 전파상수이고, d_1, d_2,...는 LPDA의 소자와 소자 사이의 간격, d_0는 L_1으로부터 선로상의 부하의 위치를 나타내며 보통 $d_0 = L_1/4$ 으로 한다[6].

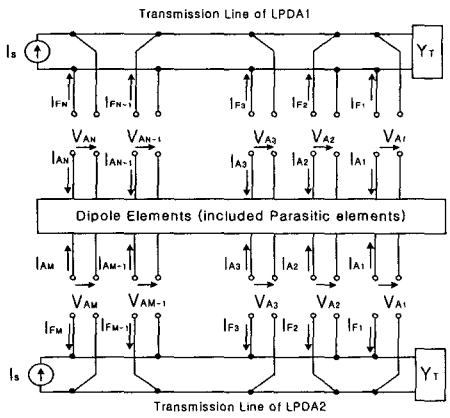


그림 2. DLPDA의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of DLPDA.

한편 다이폴 소자와 전송선로는 병렬 접속되어 있으므로 다음 식이 성립된다.

$$[I_s] = [I_F] + [I_A] = [[Y_F] + [Y_A]][V_A] \tag{5}$$

여기서 $[I_s]$는 인가 전류원을 나타내며 급전소자 원소를 제외하고는 모두 0이다. $[Y_A]$의 원소는 i번째 다이폴 소자의 전류 I_{Ai}와 j번째 소자의 급전 전압 V_{Aj}의 어드미턴스 관계 $Y_{Aij} = I_{Ai}/V_{Aj}$로부터 구성된다. 따라서 $[Y_A]$를 구하기 위하여 모멘트법을 적용한다.

DLPDA의 각각의 다이폴 소자를 P개의 미소 다이폴로 나누고 미소 다이폴에서의 전류분포를 정현파분포[3],[6]라 가정하여 모멘트법을 적용하면 DLPDA의 전류분포는 다음과 같은 행렬방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
&[I_m] = [Z_{mn}]^{-1}[V_n] = [Y_{mn}][V_n], \\
&(m, n = 1, 2, \ldots, (N+M+L)\times P)
\end{aligned} \tag{6}$$

여기서, $[Y_{mn}]$은 $(N+M+L)\times P$개의 미소 다이폴에 대한 어드미턴스 행렬이다. $[Y_A]$는 $[Y_{mn}]$에서 각 다이폴 소자들의 급전점 위치의 미소 다이폴 소자들 사이의 어드미턴스 행렬이다. 따라서 $[Y_{mn}]$으로부터 $[Y_A]$를 구성한 후 식 (5)로부터 $[V_A]$를 구한다.

DLPDA의 전류분포는 $[V_A]$의 원소를 $[V_n]$의 원소 중 해당되는 원소로 사용하고 나머지는 0으로 한 후 식 (6)의 해를 구하면 된다. 식 (6)의 $[Z_{mn}]$의 표현식은 참고문헌 [3]에 나타나 있다.

식 (6)의 행렬방정식으로부터 DLPDA의 전류분포가 구해지면 far-field의 복사전계를 구할 수 있다. DLPDA의 far-field 복사전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$\begin{aligned}
E_\theta = &-\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \sum_{n=1}^{M_T} I_n \left\{ \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_n - s'_n)}{\sin kd_n} \cdot \right. \\
&(s'_{xn}\cos\theta\cos\phi + s'_{yn}\cos\theta\sin\phi - s'_{zn}\sin\theta) \\
&\cdot e^{jk(x'_n \sin\theta\cos\phi + y'_n \sin\theta\sin\phi + z'_n \cos\theta)} ds'_n \\
&+ \int_0^{d_{n-1}} \frac{\sin ks'_{n-1}}{\sin kd_{n-1}} (s'_{xn-1}\cos\theta\cos\phi \\
&+ s'_{yn-1}\cos\theta\sin\phi - s'_{zn-1}\sin\theta) \\
&\left. \cdot e^{jk(x'_{n-1}\cos\theta\cos\phi + y'_{n-1}\sin\theta\sin\phi + z'_{n-1}\cos\theta)} ds'_{n-1} \right\}
\end{aligned} \tag{7}$$

$$E_\phi = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \sum_{n=1}^{MT} I_n \left\{ \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_n - s_n')}{\sin kd_n} \cdot (-s'_{xn}\sin\phi + s'_{yn}\cos\phi) \cdot e^{jk(x_n'\sin\theta\cos\phi + y_n'\sin\theta\sin\phi + z_n'\cos\theta)} ds'_n + \int_0^{d_{n-1}} \frac{\sin ks_{n-1}}{\sin kd_{n-1}} (-s_{xn-1}\sin\phi + s_{yn-1}\cos\phi) \cdot e^{jk(x'_{n-1}\sin\theta\cos\phi + y'_{n-1}\sin\theta\sin\phi + z'_{n-1}\cos\theta)} ds'_{n-1} \right\} \quad (8)$$

여기서, $MT=(N+M+L)\times P$, η는 자유공간의 파동임피던스로 120π이고, k는 전파상수로 $2\pi/\lambda$이다. s'_{xn}, s'_{yn}, s'_{zn}은 n번째 분할점을 원점으로 하는 좌표계에서 source 점으로 향하는 단위벡터 성분, x'_n, y'_n, z'_n은 좌표중심에서 n번째 미소 다이폴의 source 점의 위치이다. 또한 안테나 전력이득은 다음 식으로부터 구해진다[3].

$$G(\theta,\phi) = \frac{4\pi r^2}{\eta} \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{Re\{V_{AN} I_s^*\}} \quad (9)$$

Ⅲ. 안테나 설계 및 특성검토

여기서는 2조의 LPDA와 기생소자를 사용하여 주파수 824~894 MHz와 1885~2200 MHz에서 동작하는 DLPDA를 설계·제작하고 그 특성을 고찰한다.

3-1 안테나 설계

이중밴드 대수주기 다이폴 안테나의 설계목표는 표 1로 정한다. 표 1에서 Band 1은 IMT-2000 주파수이고 Band 2는 셀룰러 주파수이다.

표 1의 설계목표를 만족하는 이중밴드 안테나를 그림 1(a)와 같이 각 밴드에서 동작하는 LPDA1, LPDA2와 기생소자인 Director 1, Director 2, Reflector로 구성한다. 여기서 기생소자인 Director 1, 2와 Reflector의 개수, 간격, 길이에 따라 안테나의 전체길이, 안테나 이득, VSWR 특성이 변화한다. 따라서 설계시 LPDA1과 LPDA2를 먼저 설계한 후 기생소자의 길이, 간격, 개수를 변화시켜 설계목표를 만족시키도록 한다. 다음은 설계목표를 만족하는 설계된 안테나의 제원이다.

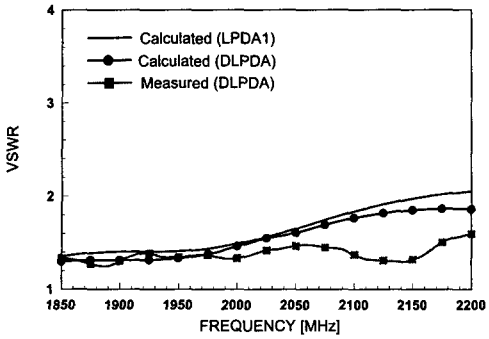
표 1. 설계 목표
Table 1. Design goals.

Item	Specification
Frequency	Band 1: 1885~2200 MHz Band 2: 824~894 MHz
VSWR	1.5 이하
Gain	10 dBi 이상
Horizontal HPBW	60±5 degree
Vertical HPBW	50±5 degree
Front to Back Ratio	15 dB 이상

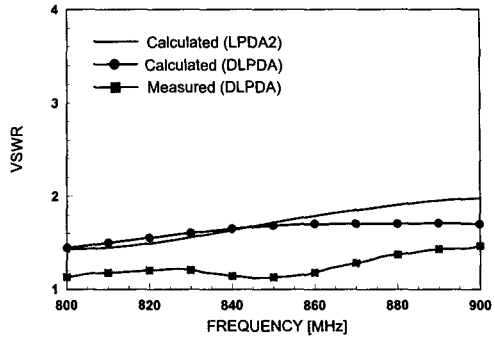
- LPDA1 :
  f_L = 1850 MHz, f_U = 2200 MHz
  τ = 0.93, σ = 0.19, L_i/a_i = 40
  Z_0 = 80 ohm, $Z_T=\infty$
- LPDA2 :
  f_L = 800 MHz, f_U = 900 MHz
  τ = 0.93, σ = 0.19, L_i/a_i = 50
  Z_0 = 80 ohm, $Z_T=\infty$
- Parasitic Elements :
  S_1 = 1 cm, D_1 = 1 cm, L_{D1} = 4 cm
  a_{D1} = 0.1 cm, N_1 = 2, S_2 = S_3 = 4 cm
  D_2 = 4 cm, L_{D2} = 10.5 cm,
  a_{D2} = 0.21 cm, N_2=1, N_3 = 0

3-2 복사특성

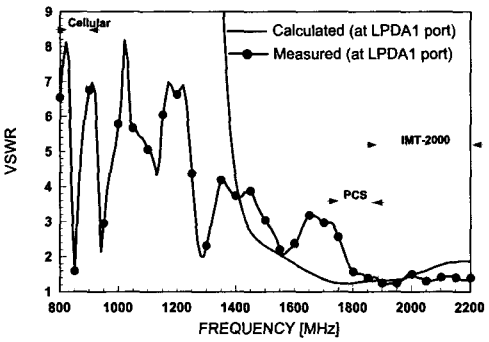
그림 3은 DLPDA의 VSWR 특성을 나타낸다. 그림 3(a)는 IMT-2000 주파수 대역에서 주파수에 따른 DLPDA의 VSWR 특성과 DLPDA를 구성하는 LPDA1 만의 VSWR 특성을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 DLPDA의 VSWR 특성이 LPDA1 만의 특성보다 약간 좋게 나타나고 있다. VSWR의 측정치는 2000 MHz 이하에서는 이론치와 거의 유사하게 나타나고 있으나 그 이상에서는 다소 차이를 보이고 있다. 그러나 IMT-2000 전대역에서 설계목표치 1.5 이하를 만족하고 있다. 또한 그림에서 주파수 2000 MHz 이상에서 주파수 증가함에 따라 계산된 VSWR이 2 정도까지 증가하고 있다. 이는 대수주기 다이폴 안테나에서 주파수가 증가에 따라 동작소자(Active Element)가 짧은 소자 쪽으로 이동함으로써 나타나는 현상과 대수주기비, 간격정수의 선정과 관계가 있다. 그림 3(b)는 셀룰러 대역에서의 VSWR



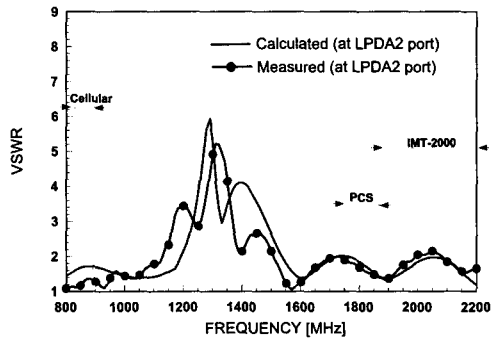
(a) IMT-2000 대역(LPDA1 포트)
(a) IMT-2000 band(LPDA1 port)



(b) 셀룰러 대역(LPDA2 포트)
(b) Cellular band(LPDA2 port)



(c) 전체대역(LPDA1 포트)
(c) Full band(LPDA1 port)



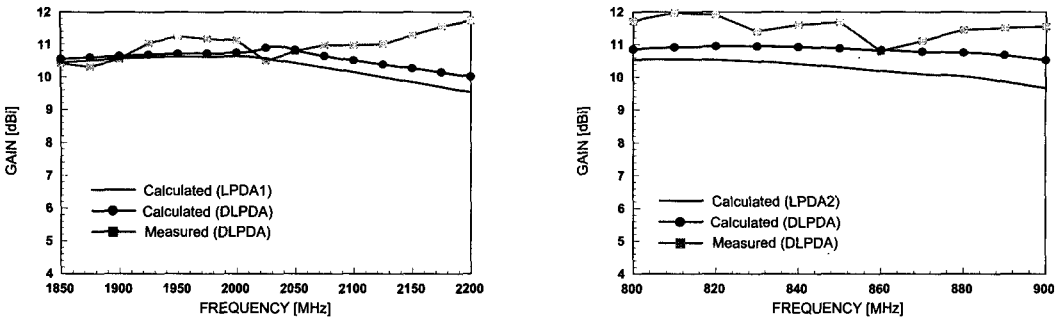
(d) 전체대역(LPDA2 포트)
(d) Full band(LPDA2 port)

그림 3. 정재파비
Fig. 3. VSWR.

특성이다. DLPDA의 특성이 LPDA2 만의 특성보다 약간 좋게 나타나고 있다. VSWR의 측정치는 이론치와 다소 차이를 보이고 있다. 그러나 셀룰러 전대역에서 설계목표 1.5 이하를 만족하고 있다. 그림 3 (c)는 설계된 DLPDA의 IMT-2000 포트(LPDA1의 입력단)에서 전대역 800-2200 MHz에 걸쳐 나타낸 VSWR 특성이다. 측정치와 이론치가 비슷하게 나타나고 있다. PCS 대역과 IMT-2000 대역에서 양호한 VSWR 특성을 보이고 있다. 그림 3(d)는 설계된 DLPDA의 셀룰러 포트(LPDA2의 입력단)에서 전대역에 걸쳐 나타낸 VSWR 특성이다. 측정치와 이론치가 비슷하게 나타나고 있다. 셀룰러 대역에서 양호한 VSWR 특성을 보이고 있다. 이상의 VSWR 특성으로 볼 때 설계된 DLPDA는 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 설계목표치 1.5 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

그림 4는 설계된 안테나의 전력이득 특성이다. 그림 4(a)는 IMT-2000 대역에서 DLPDA의 이득과 LPDA1 만의 이득을 비교한 것이다. 그림에서 주파수 2000 MHz 이상에서 주파수 증가에 따라 이득이 약간 감소하고 있다. 이런 현상은 주파수가 증가에 따른 동작소자(Active Element)가 짧은 소자 쪽으로 이동함으로써 나타나는 현상으로 생각된다. 그림에서 DLPDA 이득이 LPDA1의 이득보다 약간 크게 나타

그림 5. 시작안테나
Fig. 5. Experimental antenna.



(a) IMT-2000 대역(LPDA1 포트)
(a) IMT-2000 band(LPDA1 port)

(b) 셀룰러 대역(LPDA2 포트)
(b) Cellular band(LPDA2 port)

그림 4. 이득
Fig. 4. Gain.

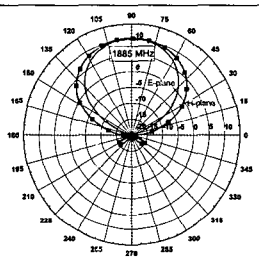
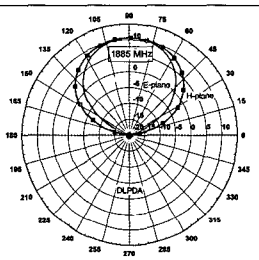
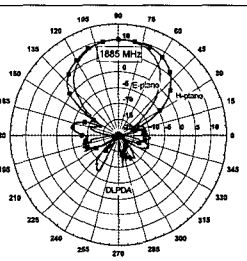
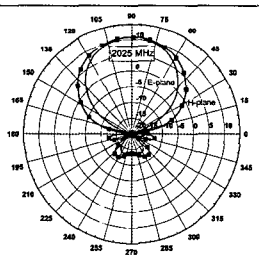
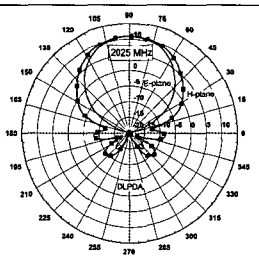
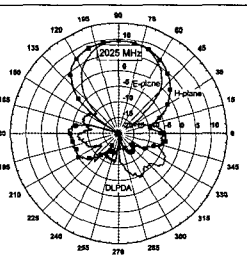
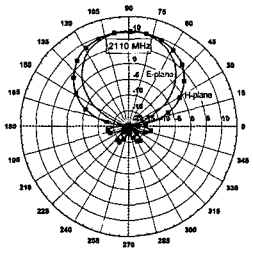
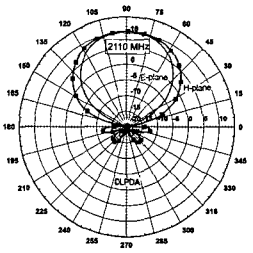
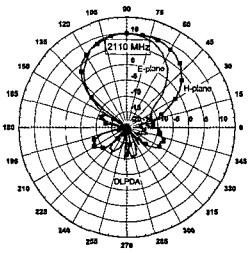
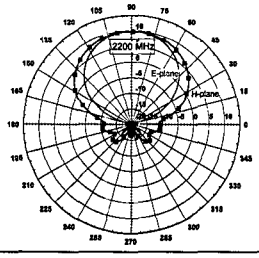
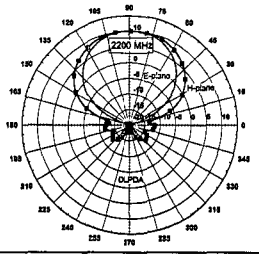
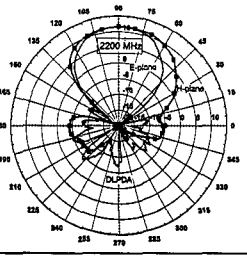
구분	LPDA1(계산치)	DLPDA(계산치)	DLPDA(측정치)
1885 MHz			
2025 MHz			
2110 MHz			
2200 MHz			

그림 6. IMT-2000 대역의 복사패턴
Fig. 6. Radiation pattern at IMT-2000 band.

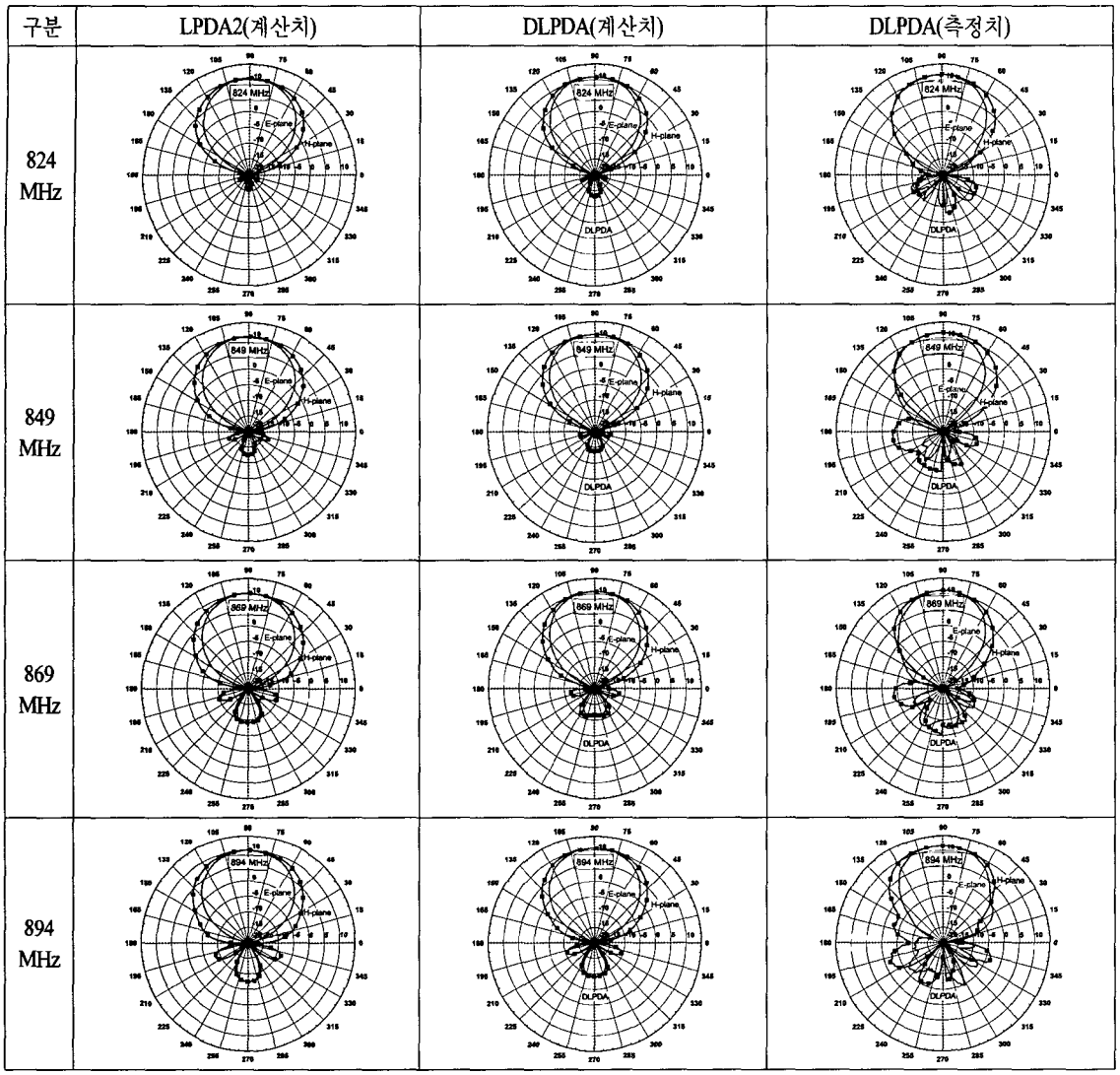


그림 7. 셀룰러 대역의 복사패턴
Fig. 7. Radiation pattern at cellular band.

나고 있음을 확인할 수 있고 측정치도 설계목표치 10 dBi 이상을 만족하고 있다. 그림 4(b)는 셀룰러 대역에서 DLPDA의 이득과 LPDA2 만의 이득을 비교한 것이다. 그림에서 DLPDA 이득이 다소 높게 나타나고 있다. 또한 측정치도 설계목표치 10 dBi 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 5는 설계 제작된 안테나의 외관이다. 안테나 전체길이는 70 cm이다.

그림 6은 설계된 DLPDA의 IMT-2000 주파수에서의 복사패턴이다. 그림 6에서 LPDA1(계산치)은 DLPDA를 구성하고 있는 LPDA1 만의 복사패턴이고, DLPDA(계산치)와 DLPDA(측정치)는 계산치와 측정치를 나타낸다. 그림에서 LPDA1 만의 복사패턴과 DLPDA의 복사패턴이 거의 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있고 측정치도 계산치와 비슷하게 나타나고 있다. 그림으로부터 설계된 안테나는 1885 MHz 부터 2200 MHz 범위에서 수직빔폭은 48°에서 52° 사이(계산치: 50°~56°), 수평빔폭은 64°에서 65° (계산치: 62°~72°) 사이로 측정되었다. 이는 설계목표치 수평빔폭 60±5°, 수직빔폭 50±5°에 거의 근접하는 값이다. 또한 전후방비(F/B)도 15 dB 이상으로 나타나고 있다.

그림 7은 설계된 DLPDA의 셀룰러 주파수에서의

복사패턴이다. 그림에서 LPDA2는 LPDA2 만의 복사패턴이다. 그림에서 LPDA2 만의 복사패턴과 DLPDA의 복사패턴이 거의 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있고 측정치도 계산치와 비슷하게 나타나고 있다. 그림에서 설계된 안테나의 수직빔폭은 49°에서 54° 사이(계산치: 52°~54°), 수평빔폭은 64°에서 65° 사이(계산치: 66°~68°)로 설계목표를 만족하고 있고, F/B도 IMT-2000 주파수 밴드에서처럼 설계목표치 15 dB 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 이로부터 설계·제작된 안테나는 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 설계목표를 만족하고 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에 공히 사용 가능한 안테나로서 이중밴드 대수주기 다이폴 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나의 사용 가능성을 확인하기 위하여 이중밴드 대수주기 다이폴 안테나를 설계하고 모멘트법을 이용하여 해석하고, 제작하여 복사특성을 측정하였다.

제안된 안테나는 길이가 70 cm이면서도 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 설계목표치를 만족하는 것으로 나타났다. 설계제작된 안테나의 이득은 사용 주파수 대역에서 10.8~12 dBi(설계목표치: 10 dBi 이상)로 나타났고, 측정된 VSWR도 설계목표치 1.5 이하를 만족하고 있다. 또한 설계안테나의 수직빔폭은 49°에서 54° 사이(설계목표치: 50±5°), 수평빔폭은 64°에서 65° 사이(설계목표치: 60±5°)로 설계목표치를 만족하고 있고, F/B도 설계목표치 15 dB 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 이로서 본 논문에서 제안된 안테나는 셀룰러 대역과 IMT-2000 대역에서 공히 사용 가능한 이중밴드 안테나임이 확인되었다.

참 고 문 헌

[1] R. Carrel, "An Analysis of the Log-Periodic Dipole Antenna", *10th Annual Symposium on the USAF Antenna R&D Program*, Oct. 1960.

[2] R. H. Kyle, "Mutual Coupling between Log-Periodic Dipole Antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-18, pp. 15-22, Jan. 1970.

[3] H. K. Choi, "Analysis and Characteristics of Log-Periodic X Dipole Antennas", *J. KEES*, vol. 10, no. 3, pp. 329-339, Jun. 1999.

[4] G. De Vito, G. B. Stracca, "Comment on the Design of the Log-Periodic Dipole Antennas", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. AP-21, pp. 303-308, May 1973.

[5] W. A. Imbriale, *Application of the Method of Moments to Thin-Wire Elements and Arrays, ch. 2 in Numerical and Asymptotic Techniques in Electromagnetics*, Springer-Verlag, New York, 1975.

[6] H. K. Choi, "Analysis of Log-Periodic Dipole Antennas above Lossy Grounds", *J. KEES*, vol. 10, no. 1, pp. 109-121 Feb. 1999.

[7] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiely & Sons Inc., New York, pp. 345-349, 1981.

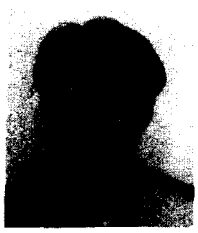
최 학 근

1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 3월~현재: 단국대학교 전자컴퓨터학부 교수
1989년 3월~현재: (주)하이게인 안테나 기술고문
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

오 종 대

2002년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

김 명 철



1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 단국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2002년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 박사과정
2003년 3월~현재: 단국대학교 강사

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로