

Beam Tilt를 위한 변형된 전송선로형 안테나

Modified Transmission Line Type Antenna for the Beam Tilt

이 종 철

Jong-Chul Lee

요 약

빔 성형 안테나를 개발하기 위해서 변형된 전송선로형 안테나(MTLA)의 둘레 및 수평, 수직 소자 길이를 가변한다. 빔 틸트 특성의 검증을 위해 각각의 변형된 형상을 갖는 MTLA에 대한 수직면 방사패턴을 모먼트 법으로 해석한다. 해석 결과로부터 구현될 수 있는 최대 빔 틸트는 주로 수직 소자길이에 따라 결정된다는 사실을 확인하였다. 최대 빔 틸트를 갖는 안테나를 설계하고 입력 임피던스 및 방사 특성을 이론적으로 계산하고 실험에 의하여 확인하였다.

Abstract

For developing a beam shaping antenna, the circumference and the length of the vertical and horizontal elements of the Modified Transmission Line type Antenna(MTLA) are varied. The vertical radiation pattern of MTLA which has various shape was analyzed by the moment method in order to verify the beam tilt characteristics. From the analysis, it is confirmed that the condition of the maximum beam tilt is determined by the length of the vertical elements of the antenna. The antenna with the maximum beam tilt was designed and its input impedance and the radiation pattern was calculated theoretically and measured experimentally.

I. 서 론

최근 이동 통신의 수요가 급속히 증가됨에 따라 이동체에 탑재되는 안테나는 주로 소형화, 저자세 구조, 고 이득 및 빔 성형 등이 요구된다. 이에 적합한 안테나로 마이크로스트립 패치, 접지면상의 역 L형 또는 역 F형, 코리니어 안테나 등이 있다^{[1]~[3]}.

근래에는 도선으로 구성된 새로운 형태의 전송

선로형 안테나가 이동체 통신용 안테나로 연구되고 있다. 이 안테나는 역 L 형 또는 역 F 형 안테나에서 이득 증가 및 임피던스 정합을 위해 안테나 길이를 반파장까지 연장시키고, 선로의 한쪽 끝점은 급전점으로하고, 다른 쪽은 접지 시킨 수직 소자와 지그재그형의 수평소자로 구성되며 이를 변형된 전송선로형 안테나(MTLA)로 부르고 있다^{[4]~[8]} 문헌 [6]~[10]에서는 접지판위에 평행하게 안테나 소자를 배치한 변형된 전송선로형 안테나를 해석하고 있다.

「이 논문은 1996년도 영진전문대학 학술연구 조성비로 이루어졌음.」

영진전문대학 전자정보계열(Division of Electronics Info.-Comm., Yeung-Jin Junior College)

· 논문 번호 : 971006-069

· 수정완료일자 : 1998년 3월 4일

본 논문에서는 안테나 소자가 접지판과 평행을 이루지 않도록 변형함으로서 수직면내의 지향성 틸트를 가능하게 한다. 빔 틸트를 조정하기 위하여 안테나의 수직소자 및 수평소자의 길이와 그 둘레를 변화시킨다.

직선소자로 구성된 임의 모양의 안테나 계에 간략화된 Hallen형 적분 방정식을 도입하여 안테나의 전류분포와 입력 임피던스, 방사패턴을 모멘트법으로 구하고 빔 틸트 특성을 계산한다. 해석결과를 확인하기 위하여 최대 빔 틸트를 갖는 안테나를 제작하여 안테나의 입력 임피던스 및 방사패턴을 측정하였다^{[9],[10]}.

II. 이 론

2-1 안테나 구조

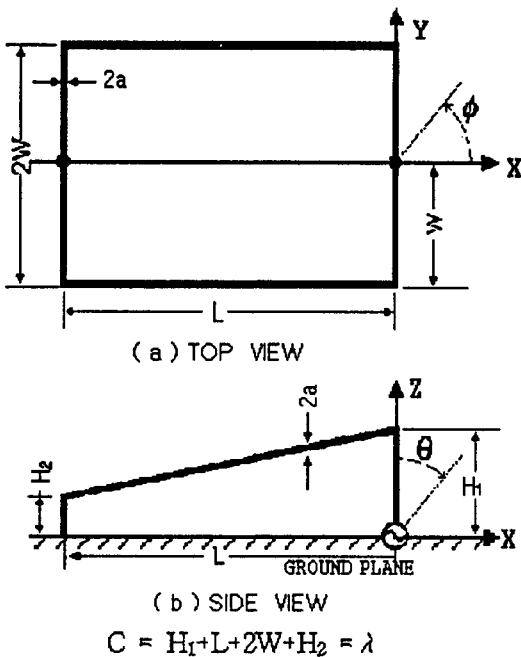


그림 1. 변형된 전송선로형 안테나 구조와 좌표계
Fig. 1. Geometry of modified transmission line type antenna and its coordinates.

그림 1은 변형된 전송선로형 안테나 구조와 좌표계를 나타낸다. L 은 수평 소자길이, H_1 과 H_2 는 수직 소자길이이고, H_1 의 한 끝점을 급전점, H_2 의 다른 끝점은 접지되어 있다. $2W$ 는 안테나 폭이고 그 중앙에 수직 소자 H_1, H_2 로 지지되어 있다. 이때 안테나 둘레 C 는 $H_1 + L + 2W + H_2$ 로 되고 한파장(λ)으로 한다. 안테나를 구성하는 도체의 반경은 a ($a \ll \lambda$)이고 완전도체이며, 접지면의 크기는 파장에 비교하여 충분히 크다고 가정한다.

2-2 Hallen형 적분방정식

안테나가 자유 공간에서 각 주파수 ω 의 전원으로 급전될 때 그 주위 공간의 전계는 다음과 같다.

$$\mathbf{E} = -\text{grad}\phi - j\omega\mathbf{A} \tag{1}$$

여기서 ϕ 는 스칼라 포텐셜, \mathbf{A} 는 벡터 포텐셜이고 ϕ 와 \mathbf{A} 는 다음의 로렌츠 조건(Lorentz condition)을 만족한다.

$$\text{div } \mathbf{A} + j \frac{\beta}{\omega} \phi = 0 \tag{2}$$

여기서 $\beta = 2\pi/\lambda$ 이고 λ 는 자유공간 파장이다. 그림 2는 전송선로형 안테나를 구성하는 임의의 직선 소자를 나타낸 것이다. 직선 소자는 완전도체이고, 반경은 a 로 균일하며, 직선 소자의 수는 T 개로 가정한다. 두 개의 직선 소자를 m 소자와 k 소자로 하고 각 소자의 중심 축을 x 방향으로 하는 직각좌표계 $(X_k, Y_k, Z_k), (X_m, Y_m, Z_m)$ 을 정한다. k 소자에 $+X_k$ 방향으로 전류 $I_k(X_k)$ 가 흐를 때 m 소자의 임의의 점 X_m 에서 간략화된 Hallen형의 적분 방정식은 위의 식 (1)과 식 (2)로부터 다음과 같다^[9].

$$\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=1}^T \int_0^{L_k} I_k(x'_k) \{g(x'_k)(\mathbf{r}_{mk} \cdot \mathbf{i}_{xm}) - (\mathbf{i}_{xm} \cdot \mathbf{i}_{xk})\} \times \frac{\exp(-j\beta\gamma_{mk})}{\gamma_{mk}} dx'_k$$

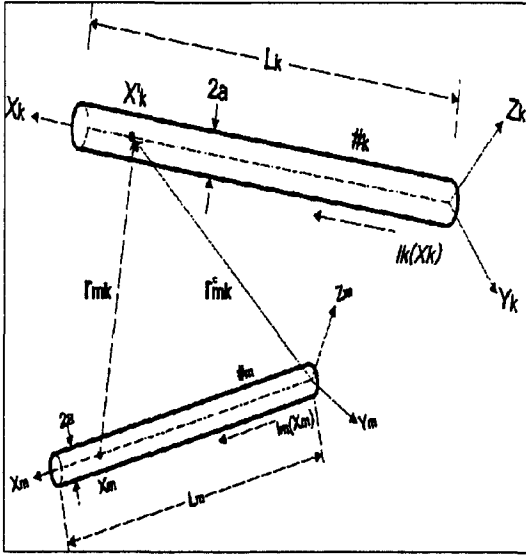


그림 2. 직선상 소자와 그의 좌표계
Fig. 2. Straight wire elements and their coordinates.

$$+a_m \cos \beta x_m + b_m \sin \beta x_m = 0 \quad (3)$$

(m = 1, 2, \dots, T)

여기서

$$g(x'_k) = \frac{(\mathbf{r}^{\circ}_{mk} \cdot \mathbf{i}_{ym})(\mathbf{i}_{xk} \cdot \mathbf{i}_{ym}) + (\mathbf{r}^{\circ}_{mk} \cdot \mathbf{i}_{zm})(\mathbf{i}_{xk} \cdot \mathbf{i}_{zm})}{(\mathbf{r}^{\circ}_{mk} \cdot \mathbf{i}_{ym})^2 + (\mathbf{r}^{\circ}_{mk} \cdot \mathbf{i}_{zm})^2} \quad (4)$$

$$\mathbf{r}_{mk} = \mathbf{r}^{\circ}_{mk} - x_m \mathbf{i}_{xm} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} r_{mk} &= \{(\mathbf{X}_{mk} + x_k \mathbf{i}_{mk} \cdot \mathbf{i}_{xm} - x_m)^2 + \\ & \quad (\mathbf{Y}_{mk} + x_k \mathbf{i}_{ym} \cdot \mathbf{i}_{xk})^2 \\ & \quad + (\mathbf{Z}_{mk} - x_k \mathbf{i}_{zm} \cdot \mathbf{i}_{xk})^2\}^{1/2} \quad (m \neq k) \\ &= \{(x_m - x_k)^2 + a^2\}^{1/2} \quad (m = k) \end{aligned} \quad (6)$$

이다. 여기서 a_m, b_m 은 미지수이고 μ_0 는 진공에서의 투자율, L_k 는 k 소자의 길이, $\mathbf{i}_{xm}, \mathbf{i}_{ym}, \mathbf{i}_{zm}$ 은 m 소자 좌표계의 x, y, z 방향의 단위 벡터이다.

\mathbf{r}_{mk} 는 m 소자의 a_m 에서 k 소자의 x'_k 까지의 거리이고, (X_{mk}, Y_{mk}, Z_{mk}) 는 m 소자 좌표계를 기준으로 한 좌표계의 원점의 위치를 나타낸다. 또 스칼라 포텐셜 $\Psi_m(x_m)$ 에 관한 적분 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\beta}{j\omega} \Psi_m(x_m) = j \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=1}^T \int_0^{L_k} I_k(x'_k) g(x'_k) \exp(-j\beta r_{mk}) dx'_k - a_m \sin \beta x_m + b_m \cos \beta x_m \quad (7)$$

2-3 전류 분포

식 (3), (7)의 적분 방정식을 모멘트 법으로 풀기 위해 각 직선 소자상에 N_k 개의 대표점 x_{kp} ($k=1, 2, \dots, T; p=1, 2, \dots, N_k$)을 두고 그때의 각 점에서 전류를 I_{kp} 로 정하면 식 (3)의 전류 $I_k(x'_k)$ 는 다음과 같은 Lagrange의 보간 다항식으로 근사화시킬 수 있다.

$$I_k(x'_k) = \sum_{p=1}^{N_k} I_{kp} F_{kp}(x'_k) \quad (8)$$

$$F_{kp}(x'_k) = \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^{N_k} \frac{x_k - x_{kq}}{x_{kp} - x'_{kq}} \quad (9)$$

본 논문에서는 Hallen형의 적분 방정식을 사용하고 있으므로 가중함수(weighting function)를 사용하지 않아도 충분한 정도의 해가 구해진다^[9]. 그림 1에서 소자수 $T=8$, 소자반경 $a=1$ mm, 각 소자상의 대표점수 $N_k=5$ (k :소자번호), 급전점에서 단위전압을 공급하고 동작 주파수 및 안테나 소자 길이를 정하면 I_{kp}, a_m 및 b_m 을 미지수로 하는 연립 방정식에서 I_{kp} 를 구할 수 있으며 이는 각소자의 대표점 전류값 즉 안테나의 전류분포이다.

2-4 입력 임피던스

안테나의 입력 임피던스는 방사특성을 결정하는

중요한 파라미터이다. 그림 1의 급전 점에 급전 전압 V 가 인가되면 입력 임피던스는 다음 식으로 구해진다.

$$Z_{in} = R + jX = V/I_{kp} \quad (10)$$

여기서 R 은 입력 순저항, X 는 입력 리액턴스이며, I_{kp} 는 $k=1, p=1$ 즉 급전점에서의 전류 값이다.

2-5 복사 특성

그림 1에서 각소자의 전류 $I_k(x'_k)$ 에 의한 임의점 $P(R, \theta, \phi)$ 의 헤르츠 벡터(Hertz vector) Π_k 는 다음과 같이 주어진다^[11].

$$\Pi_k = \frac{G_o}{j4\pi \epsilon_0 \omega} \int_0^{L_k} I_k(x_k) \exp\{j\beta \mathbf{i}_R \cdot (\mathbf{r}_k + x_k \mathbf{i}_{xk})\} dx_k \mathbf{i}_{xk} \quad (11)$$

여기서,

$$G_o = \exp(j\beta R) / R \quad (12)$$

R 은 점 P 와 원점 사이 거리이다.

Π_k 의 x, y, z 방향 성분을 각각 $\Pi_{xk}, \Pi_{yk}, \Pi_{zk}$ 라 하면 전체의 소자전류에 의한 임의점 P 의 전개는

$$E_\theta(\theta, \phi) = \beta^2 \sum_{k=1}^T (\cos\theta \cos\phi \Pi_{xk} + \cos\theta \sin\phi \Pi_{yk} - \sin\theta \Pi_{zk}) \quad (13)$$

$$E_\phi(\theta, \phi) = \beta^2 \sum_{k=1}^T (-\sin\phi \Pi_{xk} + \cos\phi \Pi_{yk}) \quad (14)$$

이다.

III. 수치계산 결과 및 검토

그림 1과 같은 안테나에서 수직면 빔 틸트 특성을 갖는 안테나 설계를 위해, 각 소자 길이 및 안테

나 둘레를 가변하여 점 $P(R, \theta, \phi)$ 의 수직면 방사 특성을 계산하여 빔 틸트가 일어나는가를 확인하고, 최대 빔틸트 특성을 갖는 안테나를 선정하여 그때의 각소자 길이 및 안테나 둘레를 정하고, 이 때 전류분포를 그림 6에 도시하였다. 그리고 이 안테나에 대한 기본 특성을 검토하였다.

3-1 빔 틸트를 위한 안테나 설계

그림 3, 4는 $\phi=90^\circ$ 에서 수직면내(E_θ)의 최대 방사 빔 각도(θ_m)의 안테나 둘레 의존성을 나타낸다. 그림 3으로부터 알 수 있는 것처럼 $C = \lambda, H_2/H_1=0.5$ 또는 1.5 에서 빔틸트가 최대이다. 그림 4는 그림 3으로부터 정한 $H_2/H_1=0.5$ 로 고정하였을 때 안테나 둘레에 대한 최대 빔틸트 각을 나타낸다. 그림 4로부터 $C = \lambda, W=3$ cm에서 최대 빔틸트 각이 형성된다는 것을 알 수 있다. 그림 3 및 4에서 정한 $W=3$ cm, $H_1=6$ cm (입력 임피던스를 양호하게 하는 치수, 그림 7참조)를 고정하였을 때 H_2/H_1 에 대한 최대 빔 틸트 각을 그림 5에 나타낸다. 따라서 그림으로부터 $H_2/H_1=0.5$ 및 1.5 에서 $\theta_m=115^\circ$ 에서 75° 의 범위로 변화되는 것을 알 수 있다.

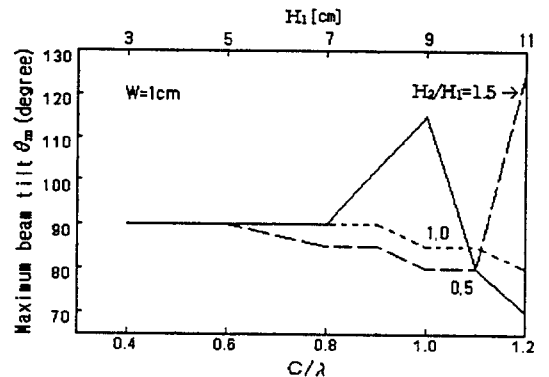


그림 3. 안테나 둘레 가변에 대한 최대 빔 틸트 (θ_m)의 계산치($H_2/H_1=0.5, 1.0, 1.5, W=1$ cm)

Fig. 3. Computed maximum beam tilt (θ_m) vs. antenna circumference variation ($H_2/H_1=0.5, 1.0, 1.5, W=1$ cm).

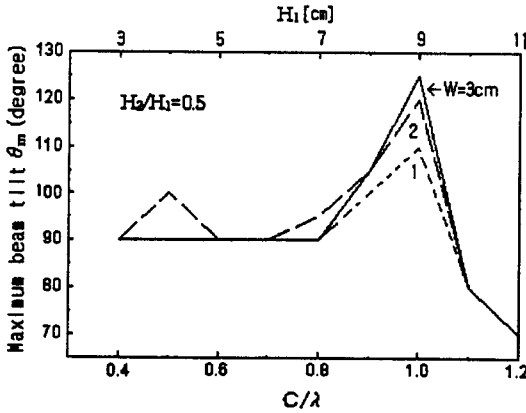


그림 4. 안테나 둘레 가변에 대한 최대 빔 틸트(θ_m)의 계산치($H_2/H_1=0.5, W=1, 2, 3$ cm)

Fig. 4. Computed maximum beam tilt(θ_m) vs. antenna circumference variation($H_2/H_1 = 0.5, W=1, 2, 3$ cm).

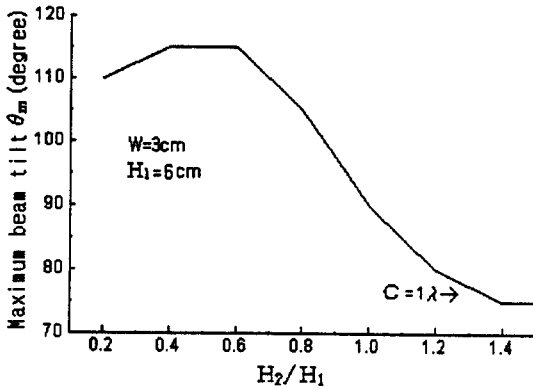


그림 5. H_2/H_1 의 값 가변에 대한 최대 빔 틸트 (θ_m)의 계산치 ($W=3$ cm, $H_1=6$ cm, $C=\lambda$)

Fig. 5. Computed maximum beam tilt(θ_m) vs. H_2/H_1 values ($W=3$ cm, $H_1=6$ cm, $C=\lambda$).

3-2 기지국용 안테나 제작 및 그 특성

기지국용 안테나의 수직면내 방사 특성은 최대 방사방향이 수평면을 기준으로 해서 보다 하향으로 방사되게 해야한다. 3-1절에서 얻어진 결과에 의한

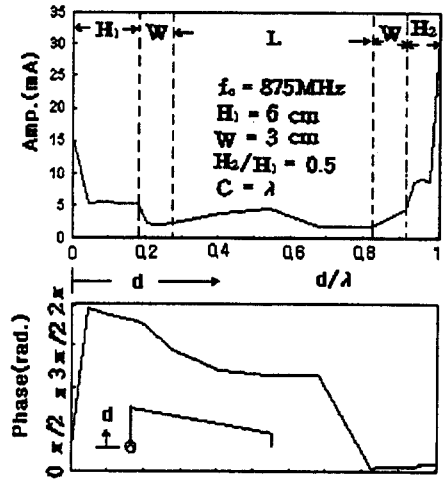
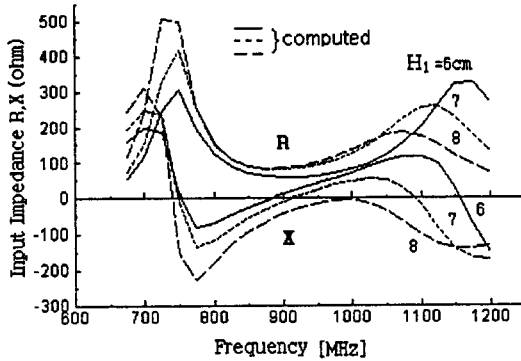


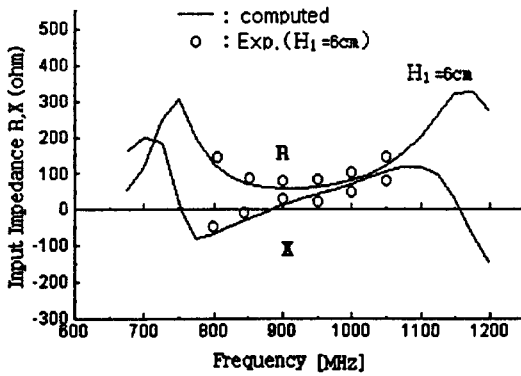
그림 6. 그림 1. 안테나의 전류분포

Fig. 6. Current distribution of Fig. 1. antenna.

면 하향 빔 틸트가 얻어지는 최적 안테나는 $H_2/H_1=0.5, W=3$ cm, $C=\lambda$ 인 경우이다. 이러한 최적 안테나에서 $H_1=6, 7, 8$ cm일 때 입력 임피던스의 주파수 특성의 계산치 및 실험치를 그림 7에 표시하였다. 그림 7에 의하면 임피던스에 기여하는 소자는 접지면에 의해 형성되는 영상(image)선로와 함께 전송선로로 볼 수 있기 때문에 임피던스는 간격 H_1 의 길이가 짧아질 때 임피던스는 작아지고, H_1 이 길어지면 임피던스는 크게된다는 것을 알 수 있다. 공진 주파수도 H_1 값이 크게 될수록 높은 주파수로 이동되는 경향을 보이고 있다. 따라서 본 안테나는 H_1 을 변화시켜 임피던스를 적절하게 조절 가능하며, H_1 의 크기가 증가됨에 따라 공진 주파수는 850 MHz에서 950 MHz로 증가되고 있음을 알 수 있다. 또 실험결과는 $H_1=6$ cm에서 임피던스 변화가 비교적 완만한 공진 주파수 부근의 대역(800~1050 MHz)에서만 계산치와 비교되어 거의 일치되는 경향을 보인다. 그림 3~7에 의한 최적 안테나 설계 데이터는 $H_1=6$ cm, $H_2/H_1=0.5, W=3$ cm, $L=18.3$ cm, $C=\lambda(33.3$ cm)이고 공진 주파수 $f_0=875$ MHz로 정했을 때 그 방사 특성의



(a)



(b)

그림 7. 입력 임피던스의 주파수 특성 ($H_1=6, 7, 8$ cm)

Fig. 7. Input impedance($R+jX$) vs. frequency (f) characteristics ($H_1=6, 7, 8$ cm).

계산치와 실험치를 그림 8에 나타내었다. 이는 최적 안테나 파라메타에 의한 수직편파 지향성을 나타내고 E_θ 는 수평면내, E_ϕ 는 수직면내 지향성을 표시하고 있다. 이때 수직면내 최대 빔 틸트 각도는 120° 부근임을 나타낸다. 또 실험 치에서는 최대 빔 틸트 각도에 주목하여 $\theta=90^\circ\sim 130^\circ$ 범위에서만 계산치와 비교 거의 일치되는 경향을 보인다.

3-3 이동국용 안테나 제작 및 그 특성

이동국용 안테나는 수직면내의 방사특성이 90° 보

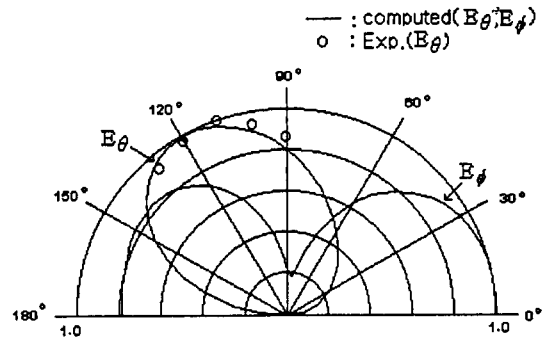
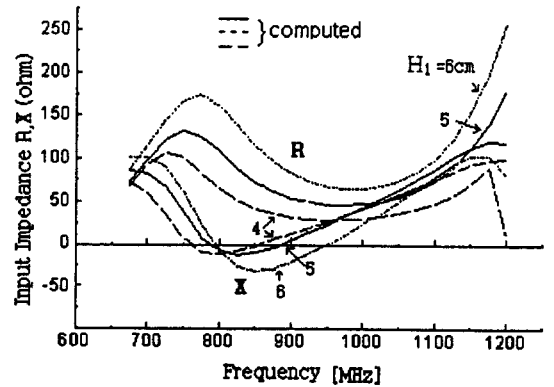
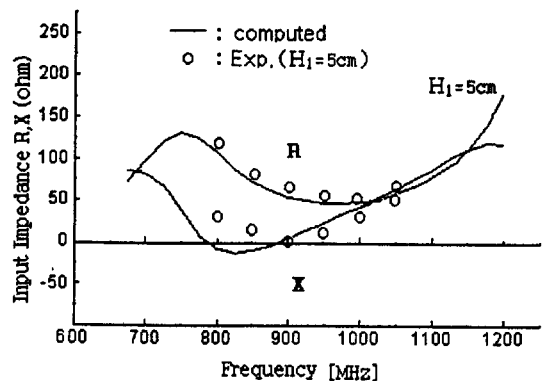


그림 8. 방사 특성 (E_θ, E_ϕ)

Fig. 8. Radiation Pattern(E_θ, E_ϕ).



(a)



(b)

그림 9. 입력 임피던스의 주파수 특성 ($H_1=4, 5, 6$ cm)

Fig. 9. Input impedance($R+jX$) vs. frequency (f) characteristics ($H_1=4, 5, 6$ cm).

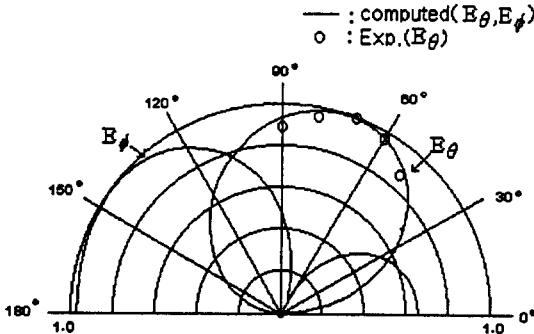


그림 10. 방사 특성(E_θ, E_ϕ)

Fig. 10. Radiation Pattern(E_θ, E_ϕ).

다 적게 최대 빔을 방사시키는 빔 틸트가 요구되므로 이는 그림 5에서 $H_2/H_1=1.5, W=3\text{ cm}, C=\lambda$ 일 때 $\theta_m=75^\circ$ 로 됨을 알 수 있다. H_1 를 정하기 위해 $H_1=4, 5, 6\text{ cm}$ 일 때의 임피던스의 주파수 특성의 계산치 및 실험치를 그림 9에 나타내었다. 또 3-2 절에서와 같이 실험결과 $H_1=5\text{ cm}$ 에서 같은 주파수대역으로 이론치와 비교, 거의 일치되고 있음을 보인다. 여기서 $H_1=5\text{ cm}$ 일 때 거의 900 MHz에서 공진을 일으키므로 $H_1=5\text{ cm}$ 로 정하면 안테나 모양 수치는 $H_2=7.5\text{ cm}, W=3\text{ cm}, L=14.8\text{ cm}, C=\lambda$ 인 안테나를 얻을 수 있다. 이때 공진 주파수 $f_0=900\text{ MHz}$ 의 방사특성을 그림 10에 나타내었고, 실험결과도 최대 빔 틸트 각도에 주목 $\theta=90^\circ\sim 50^\circ$ 범위에서만 계산치와 비교 거의 일치되는 경향을 보인다. 이때 수직면내 최대 빔 틸트 각도는 75° 이다.

IV. 결 론

임의 모양을 갖는 변형된 전송 선로형 안테나를 제안하고 그 둘레 및 구성소자 길이를 변화시켰을 때, 소자주위의 전류 분포를 모멘트 법을 이용하여 계산하였다. 이를 기초로 해서 얻은 각 안테나 방사 특성을 검토하여 이동 통신에 사용될 수 있는 기지국 및 이동국용 변형된 전송 선로형 안테나의 최적

소자길이를 정하고 제작하였다. 또 제작된 안테나의 입력 임피던스 및 방사 패턴의 계산결과와 실험치를 비교하여 그 타당성을 확인했다.

기지국용 안테나로서는 그 구성소자가 $H_2/H_1=0.5, H_1=6\text{ cm}, W=3\text{ cm}, C=\lambda$ 일 때 $f_0=875\text{ MHz}$ 에서 공진 특성을 보이고 이때 수직면내 지향 특성은 빔틸트 각도 120° 부근이다. 또 이동국용 안테나는 $H_2/H_1=1.5, H_1=5\text{ cm}, W=3\text{ cm}, C=\lambda$ 일 때 $f_0=900\text{ MHz}$ 에서 공진을 얻었고 수직면내 지향성은 빔틸트 각도 75° 부근이다. 따라서 본 논문은 변형된 전송 선로형 안테나에서도 안테나 모양을 결정 짓는 각 소자 길이 및 둘레의 가변을 통해서 수직면내 빔틸트 특성을 실현시킬 수 있음을 확인했고, 최적화된 설계 값에 의한 안테나의 기본 특성을 제시했다. 향후 이들 특성을 기초로 해서 보다 상용화된 이동통신 안테나를 개발하는 것이 새로운 과제이다.

감사의 글

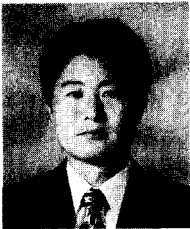
제작 및 실험에 협조하여 주신 하이게인 안테나 관계자님께 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] A. Henderson, K. Hirasawa and J. R. James, *Small Antennas*, 1988, Research Studies Press Ltd., John Wiley & Sons Inc.
- [2] 常川 : “板狀逆F型안테나의帶域特性”, S-63年 信學春 全大, B-65.
- [3] 徳丸, 北野 : “單一指向性小型マイクロストリップ 안테나”, 信學論(B), J 71-B, 11, pp. 1281(昭 63-11).
- [4] R. C. Fenwick, : “A New Class of Electrically Small Antennas”, *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, AP-13, pp. 379-383, May 1965.

- [5] R. D. Wanselow and D. W. Milligan, "A Compact, Low Profile, Transmission Line Antenna Tunable over Greater than Octave Bandwidth", *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. AP-14, pp. 701-707, Nov. 1966.
- [6] Tsukiji T. and Yasunori K. : "Modified Transmission Line Type Antennas for Mobile Communication", *IEICE TRANS. COMMUN.*, vol. E75-B, no. 8, Aug. 1992.
- [7] 公文, 築地 : "変形伝送線路型アンテナによる移動体通信用アンテナ", 福岡大學 工學集報, 第48号, pp. 83-92 (平成 4年3月).
- [8] 公文, 築地 : "伝送線路型変形ループアンテナとその応用アンテナ", 福岡大學 工學集報, 第48號, pp. 71-81 (平成 4年 3月).
- [9] 築地, 藤 : "モーメント法を用いた任意形の線状アンテナ解析プログラムのアルゴリズム", 信學技報, AP 87-45, pp. 77-84, 1987, 06.
- [10] T. Tsukiji and Y. Kumon, "On a Modified Transmission Line Type Antenna", *Antennas and Propagation on ICAP 91*, part 1, Conference Publication 333, pp. 38, April 1991.
- [11] 虫明康人 : 「超短波 空中線」コロナ社 pp. 15 (昭 36).

이 중 철



1957년 5월 16일생
 1980년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학사)
 1983년 2월 : 영남대학교 전자공학과(공학석사)
 1983년 3월~1986년 9월 : 동양정밀공업(주)OPC

1986년 9월~1991년 2월 : 삼성항공산업(주)
 1987년 7월~1988년 2월 : 영국 Marconi Radar Systems 안테나 측정분야 기술 연수
 1991년 3월~현재 : 영진전문대학 전자정보계열 조교수
 [주 관심분야] 선형 안테나 해석, 수치해석, 이동통신 안테나 개발