

論文96-33A-11-10

누설파 안테나 해석 설계 및 제작

(Leaky wave antenna analysis, design, and implementation)

洪在杓*, 趙雄熙**, 李鍾益**, 尹利虎**, 李定炯***,
趙榮基**, 嚴孝俊***

(J. P. Hong, U. H. Cho, J. I. Lee, L. H. Yun, J. H. Lee, Y. K. Cho,
and H. J. Eom)

요 약

유전체로 채워져 있으며 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관 누설파 안테나를, 중심주파수를 10GHz로 하여, 설계 제작하였다. 급전부는 hog-horn을 사용하였고, 복사부는 48개 슬롯을 갖는 평행평판 도파관으로 구성하였는데, 도파구조는 듀랄루민으로 만들었고 슬롯이 있는 복사부는 두께 1mm인 동판을 사용하여 안테나를 제작하였다. 그리고 유전체는 파라핀을 사용하였다. 제작된 안테나의 복사패턴을 측정하여 유한한 주기적인 구조에 대한 이론치와 비교 검토하였다.

Abstract

Periodically slotted dielectrically filled parallel-plate waveguide as a leaky wave antenna is designed and fabricated at the center frequency of 10.0GHz. The antenna was fed by use of a hog-horn structure. The hog-horn and the two side walls and the lower plate of parallel-plate waveguide were fabricated from duralumin. The upper plate of parallel-plate waveguide with 48 periodic slots was made of copper plate of 1mm thickness. The dielectric material inside the parallel-plate waveguide was chosen to be paraffin. The experimental radiation pattern for the fabricated antenna was compared with the theoretical result for the finite periodic structure.

I. 서 론

유전체로 채워져 있으며 윗면에 주기적인 슬롯을 갖

는 평행평판 도파관으로 구성된 누설파(leaky wave) 안테나에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다.^[1-11] 이러한 누설파 안테나는 좁은 빔폭을 가지며 주파수의 변화에 대해 빔을 주사할 수 있는 특성 등을 갖고 있다. 지금까지 발표된 연구들의 대부분은 무한한 주기적인 구조를 갖는 경우에 대해 한정되어 왔으나 실제 응용 구조에서는 슬롯의 개수가 유한할 뿐만 아니라 급전구조도 포함된 연구가 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 유전체로 채워진 평행평판 도파관의 윗면에 유한한 슬롯 개수를 갖는 누설파 안테나를 설계 제작하여 복사패턴을 측정하여 유한한 구조에 대한 이론적인 결과와 비교 검토하고자 한다. 여기서 유한한 슬롯 개수를 갖는 평행평판 도파관의 누설파 안테나에 대한 이

* 正會員, 慶北産業大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng. Kyungpook Sanup Univ.)

** 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng. Kyungpook Nat'l Univ.)

*** 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng. KAIST)

※ 본 논문은 1994년도 한국과학재단 연구비지원에 의하여 연구되었음.(과제번호 : 94-1400-08-01-3)

接受日字: 1996年7月20日, 수정완료일: 1996年10月29日

론적인 복사패턴은 참고문헌^[4,12]에서 제시된 해석방법인 슬롯의 등가 자기전류를 미지수로 하는 적미분방정식(integro-differential equation)을 얻은 후, 이러한 방정식의 해인 등가 자기전류로부터 누설파 안테나의 복사패턴을 계산하는 방법을 사용하여 계산하였다.

본 논문에서는 유전체로 채워져 있으며 윗면에 주기적인 슬롯이 있는 평행평판 도파관으로 구성된 누설파 안테나를 중심주파수를 10.0GHz로 하여 설계 제작하였다. 누설파 안테나는 급전부와 복사부로 나누어지며, 급전부는 유한한 개수의 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관에 TE파(horizontally polarized wave)를 급전하기 위해서 hog-horn을 사용하였으며, 복사부는 유한한 개수의 주기적인 슬롯이 있는 윗면과 내부가 유전체로 채워져 있는 도파관으로 구성되어 있으며, 슬롯 폭과 개수를 조정하여 복사부에서 충분한 복사가 이루어지도록 설계하였다. 슬롯의 주기는 20mm, 슬롯의 폭은 10mm, 슬롯의 길이는 180mm, 평행평판 도파관의 높이는 18mm, 슬롯의 개수는 48개, 그리고 유전체는 비유전율이 2.24인 파라핀을 사용하였으며, 이때 설계된 누설파 안테나의 복사패턴에서 주빔각의 계산치는 $\varphi_m = -12^\circ$ 이었다. 제작과정에서 hog-horn과 평행평판 도파관의 높이가 서로 다르므로 발생할 수 있는 반사파를 최소화하기 위해 (III장 1절에서 후술하는 바와 같이) 경사면을 두었고, 입사전력의 대부분이 주기적인 슬롯으로 구성된 복사부를 통해 공간으로 복사하도록 하여, 복사부의 마지막 슬롯을 지나 평행평판 도파관의 끝부분(제작공정의 편의를 위하여 개방(open)상태로 유지하였음)에서 반사되어오는 파의 영향을 최소화하도록, 슬롯의 폭과 개수를 결정하였다. 최종 설계한 안테나의 치수에 맞추어 안테나의 導波部(도파관의 내부)는 듀랄루민재질에 wiring을 하고, 안테나의 복사부(주기적인 슬롯이 있는 윗판)는 동판을 사용하였으며 laser를 이용한 cutting으로 정확하게 제작한 후, 제작된 누설파 안테나의 복사패턴을 측정하여 이론치와 비교 검토하였다.

II. 이 론

내부가 유전체로 채워져 있으며 윗면에 유한한 개수(N개)의 주기적인 슬롯이 있는 도파관으로 구성된 누설파 안테나의 구조는 그림 1과 같다.

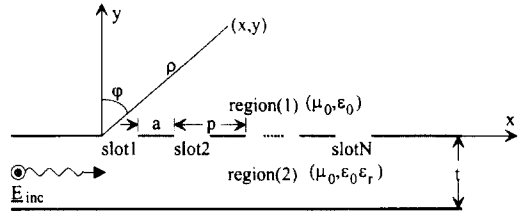


그림 1. 내부가 유전체로 채워져 있으며 윗면에 유한한 개수(N개)의 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관 누설 안테나의 구조

Fig. 1. Geometry of dielectrically-filled-parallel-plate waveguide with finite number of periodical slots as a leaky wave antenna.

그림 1에서와 같이 도파관 위의 영역 (1)은 반무한 자유공간이고, 도파관 내부의 영역 (2)는 비유전율이 ϵ_r 인 유전체로 채워져 있다. 슬롯의 폭은 a, 슬롯의 주기는 p, 유전체의 높이는 t이며, 도파관내에서는 최저차의 TE모드(lowest TE mode)만이 전파하도록 하기 위해 $\pi < k_0 \sqrt{\epsilon_r} t < 2\pi$ 의 조건을 만족하도록 하였다.

여기서 $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ 이다.

영역 (2)에서의 입사전계는

$$E_{inc} = \hat{z} e^{-i\beta_1 x} \sin \frac{\pi}{t} y \tag{1}$$

이고, $\beta_1 = \sqrt{k_0^2 \epsilon_r - \left(\frac{\pi}{t}\right)^2}$ 로 주어진다.

각 슬롯에서 전자계의 연속조건을 부가하면 다음과 같은 적미분 방정식(integro-differential equation)을 얻게 된다.

$$\sum_{n=1}^N H_{t,n}^{(1)}(M_n) + \sum_{n=1}^N H_{t,n}^{(2)}(M_n) = H_{inc} \tag{2}$$

$$H_{t,n}^{(1)}(M_n) = \int_{S_n} \frac{1}{2j} \frac{\partial^2 H_0^{(2)}[k_0 \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}]}{\partial y \partial y'} \Big|_{y=0, y'=0} M_n(x') dx' \tag{3}$$

$$H_{t,n}^{(2)}(M_n) = \int_{S_n} \frac{\partial^2 G(x, y, x', y')}{\partial y \partial y'} \Big|_{y=0, y'=0} M_n(x') dx' \tag{4}$$

여기서 윗첨자 1과 2는 영역 (1)과 (2)를 나타내며, 아랫첨자 t,n은 n번째 슬롯에서의 자계의 접선성분을 의미하며 M_n 은 n번째 슬롯의 등가자기전류를 나타낸다. 그리고 $G(x, y, x', y')$ 은 영역 (2)에서의 Green함수이고

^[12], $H_0^{(2)}$ 는 2종 0차 한켈(Hankel)함수이고, S_n 은 n 번째 슬롯영역을 나타낸다.

n 번째 슬롯에서 미지의 등가자기전류의 전개함수(expansion function)로서 구분정현함수(piecewise sinusoidal function)를 선택하면

$$M_n(x') = \sum_{i=1}^M \left\{ \frac{\sin k_0(x' - x_{n,i-1})}{\sin k_0 h} P_{n,i-1}(x') + \frac{\sin k_0(x_{n,i+1} - x')}{\sin k_0 h} P_{n,i}(x') \right\} V_{n,i} \quad (5)$$

로서 표현되며, 여기서 h 는 펄스의 폭이며, $h = (p-a)/(M+1)$ 로 주어지며, $x_{n,i} = (n-1)p + ih$ 로 표현된다. 그리고 $P_{n,i-1}$ 는 펄스함수로서

$$P_{n,i-1}(x') = \begin{cases} 1, & \text{if } x_{n,i-1} \leq x' \leq x_{n,i} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

로 표현된다.

Galerkin's 방법을 사용하여 전개함수와 동일한 가중함수(weighting function)를

$$T_{l,j}(x) = \sin k_0(x - x_{l,j-1})P_{l,j-1}(x) + \sin k_0(x_{l,j+1} - x)P_{l,j}(x) \quad (7)$$

와 같이 선택하여 각 영역에 대해 적분하면

$$[Y_{n,i}^{l,j}] [V_{n,i}] = [I_{l,i}] \quad (8)$$

로 표현되는 선형대수방정식을 얻게 되는데, 여기서 $[I_{l,i}]$ 는 입사파에 대한 여기(excitation) 행렬을 의미하고, $[Y_{n,i}^{l,j}]$ 는 $(N \times M) \times (M \times N)$ 어드미턴스 행렬이고, $[V_{n,i}]$ 는 n 번째 슬롯의 i 번째 등가자기전류의 계수에 해당하는 열(column) 행렬이다. 여기에서 여기행렬 요소와 어드미턴스행렬 요소는 모두 함수형태로 주어지게 된다^[4].

식 (8)에 주어진 선형방정식으로부터 각 슬롯에서의 등가자기전류를 구하면 유한한 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관 구조에 대한 차수(order)가 0인 기본 누설파(fundamental leaky wave)의 x 방향으로의 복소 전파상수(complex propagation constant)를 산술 평균치(arithmetic average sense)로 정의하면

$$\beta_{0(av)} - j\alpha_{av} = (\angle V_N - \angle V_1) / [p(N-1)] - j \ln \frac{|V_1|}{|V_M|} / [h(N-1)] \quad (9)$$

로서 표현되는데 여기에서 $V_{1(M)}$ 은 첫 번째(마지막 번째) 슬롯에서의 중심에 위치한 segment의 전압 크기를 의미한다. 이 표현식(9)를 이용하여 유한한 개수의

슬롯을 갖는 누설과 안테나 구조의 복소전파상수의 이론치를 구하게 된다.

영역 (1)에서 원거리 전장(far-zone electric field)은 식 (8)의 matrix inversion 과정을 통하여 구한 자기전류를 복사원으로 하여 구하게 되는 전계의 표현식에서 한켈함수의 대각근사(large argument approximation)를 사용하면

$$E_z \approx \sqrt{\frac{jk_0}{2\pi\rho}} \cos \varphi \frac{2k_0}{\sin(k_0 h)} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M V_{n,m} \frac{\cos(k_0 h \sin \varphi) - \cos(k_0 h)}{k_0^2 - (k_0 \sin \varphi)^2} e^{-jk_0(\rho - \sin \varphi x_{n,m})} \quad (10)$$

로서 표현된다. 여기에서, ρ 는 거리이며 φ 는 빔각이다.

식 (10)을 이용하여 유한한 개수(N개)의 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관 구조로 부터 복사되는 누설파의 복사패턴을 얻을 수 있다.

III. 누설과 안테나의 설계, 제작 및 실험

1. 설계

앞에서 제시한 이론을 바탕으로 누설과 안테나를 설계, 제작하여 측정된 실험치와 이론치를 비교하고자 한다. 제작된 누설과 안테나는 그림 2에서와 같이 급전부와 복사부로 구성되어 있으며, 설계된 중심주파수는 10.0GHz이다.

그림 2에서와 같이 복사부에 TE파(horizontally polarized wave)를 급전하기 위해 급전부는 hog-horn 안테나를 이용하였으며, horn 안테나의 급전부는 도파관과 연결되므로 사용되는 주파수에 맞는 도파관규격인 WR-90(10.16 × 22.86mm)으로 설계하였다. 그리고 주기적인 슬롯이 있는 평행평판 도파관에 horizontally polarized 파를 급전하기 위해서, 급전부를 기하 광학적인 방법을 토대로 하여, hog-horn으로 설계하였다^[9-10]. 그림 3에서와 같이 hog-horn에서 포물선의 곡면의 식은 초점길이(focal length)가 200mm가 되도록 $y^2 = 800z$ 로 선택하였으며^[13], 급전부인 hog-horn과 복사부의 첫 번째 슬롯사이에는 그림 2에 명시되어 있는 바와 같이 170mm의 간격을 두었는데 그 이유는 hog-horn의 높이는 WR-90의 가로축의 길이에 따라 22.86mm로 결정된 반면에, 유전체로 채워진 도파관에서는 오직 최저차의 TE모드(lowest TE mode)만 전파되도록 하기 위하여 도파관

의 높이 t 를 18mm로 결정했으므로, 이렇게 높이가 서로 다른 두 도파관 사이의 임피던스 정합을 목적으로 도파관의 윗면에 완만한 경사를 갖는 정합부가 필요하기 때문이다. 이를 위하여 두 높이의 차이인 4.86mm에 대해 경사각을 30° 로 완만하게 하여 경사면의 길이는 9.72mm가 되도록 하고 이러한 경사부에서 생기는 고차모드의 영향을 최소화하기 위하여 경사부의 한쪽 끝을 첫 번째 슬롯으로부터 111.58mm의 거리만큼 떨어진 곳에 위치하도록 하였다.

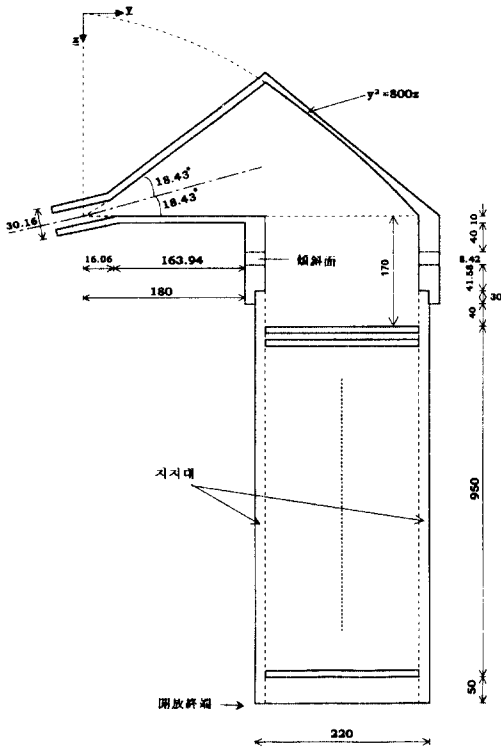


그림 2. 설계된 누설파 안테나
Fig. 2. Designed leaky wave antenna.

이렇게 하면 그림 2에 명시되어 있는 바와 같이 완만한 경사를 지닌 연결부(transition)의 한쪽 끝은 hog-horn으로부터 50.0mm의 거리만큼 떨어진 곳에 위치하게 되고 hog-horn의 개구(開口)로부터 첫 번째 슬롯까지의 수평거리는 170mm가 된다.

윗면에 유한한 개수의 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관으로 구성된 복사부의 설계과정은 다음과 같다. 먼저 기본모드에 대한 위상정수 β_{av} 는 $\beta_{av} > k_0$ 이므로 도파관 외부로 누설되지 않고 차수(order)가

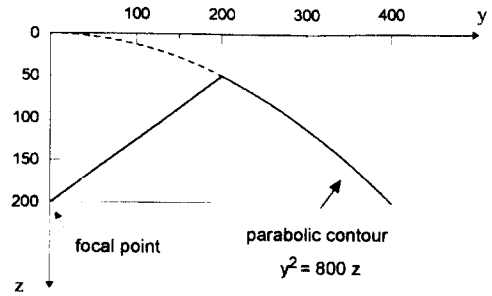


그림 3. Hog-horn 에서의 포물면형의 곡면개저
Fig. 3. Parabolic contour in the hog-horn.

$n = -1$ 인 공간조화모드의 위상정수 $\beta_{-1(av)}$ 은 $|\beta_{-1(av)} (= \beta_{0(av)} - \frac{2\pi}{p})| < k_0$ 로 누설모드가 되며, 슬롯의 폭이 증가함에 따라 복소전파상수의 허수부인 감쇠정수 α_{av} 가 증가하게 되고, 이와는 반대로 슬롯의 폭이 좁은 경우에는 복소전파상수의 허수부인 α_{av} 가 감소하게 되며^[4], 동시에 복소전파상수의 실수부인 위상정수 β_{av} 는 슬롯이 없는 경우의 평행평판 도파관 기본모드의 위상정수 β_1 과 비교하여 크게 벗어나지 않은 값을 갖게 된다. 본 논문에서는 누설파의 복사구조(안테나)로서 슬롯의 주기 p 를 20mm로 하였으며, 슬롯의 폭 a 는 10mm로 하였고, 슬롯의 길이(단면방향으로의 길이)는 180mm(자유공간파장 λ 의 6배)로 하였다. 그리고 도파관내의 유전체는 넓은 주파수 대역에 걸쳐서 비유전율이 2.24로서 거의 일정한 파라핀을 사용하였다^[14]. 그리고 전력보존법칙으로부터 슬롯의 수가 많을수록 입사파의 대부분은 슬롯을 통해 공간으로 복사하게 되며 극히 일부의 전력만이 급전부와 복사부사이의 불연속구조에 의하여 반사되거나 복사부의 끝부분을 지나 통과하게 된다. 따라서 슬롯의 수가 유한한 구조에서는 복사부의 끝부분을 지나 통과하게 되는 전력의 세기에 따라 복사부의 마지막 슬롯 바로 다음의 도파관의 끝부분에서의 흡수체설치 유무가 결정된다. 그러므로 본 논문에서는 전술한 개념들에 입각해서 슬롯 개수를 48개로 하여 슬롯을 통해 공간으로 복사되는 전력이 97.9%이고, 급전부와 복사부 사이에서의 불연속구조에 의한 반사전력이 2.0%이고, 복사부를 지나 통과하는 전력이 0.1%정도로 유지하여 복사부의 끝부분에서 흡수체를 설치할 필요가 없도록 하였다. 본 연구에서는 그림 2에 명시되어있는 바와 같이 끝부분의 도파관 부분을 개방중단하였다. 이렇게 설계된 누설파

안테나의 복사패턴의 이론치를 구하여 실험치와 비교 하게 된다.

2. 제작

누설과 안테나는 급전부와 복사부로 구성되어 있으나, 제작상의 정확성을 위하여 전체 안테나를 12개로 나누어 제작하였다. Hog-horn 안테나와 WR-90 도파관을 연결하기 위해 WR-90 도파관의 flange를 두께 4mm인 동판을 밀링머신으로 가공하여 제작하였다. 그리고 그림 4에서와 같이 급전부는 포물선의 곡면이 있는 hog-horn 부분(그림에서 A부분)과 곡면이 없는 도파관부분(그림에서 B부분)으로 구성되어 있는데 B부분에는 전술한 바와 같이 높이가 서로 다른 hog-horn 부분과 도파관부분(B부분)사이의 임피던스 정합을 위하여 경사를 지닌 정합부를 두었으며 특히 포물선의 곡면을 포함한 hog-horn부분은 매우 정교한 기구적 정확도가 요구되므로 그림 4에서 점선으로 둘러싸인 두 부분은 각각 두께 25mm인 듀랄루민판을 한 몸체로 하여 wire-cutting으로 가공하여 정확히 제작하였다.

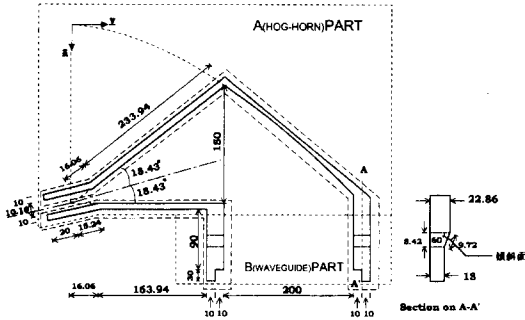


그림 4. Hog-horn 안테나의 도면 Fig. 4. Dimensioned drawing of hog-horn antenna.

그림 5에서와 같이 평행평판 도파관의 양쪽 지지대 두 부분은 각각 두께는 10mm이고 길이는 1070mm가 되도록 듀랄루민판을 밀링머신으로 가공하여 bar의 형태로 제작하였다. 그리고 hog-horn과 평행평판 도파관의 아랫평판은 두께가 3mm인 듀랄루민 판을 사용하여 한 몸체로 제작하여 다른 구조물들과 나사로 조립하도록 하였다. 급전부와 복사부를 포함한 전체 안테나 system에서의 윗면(덮개)은 그림 6에서와 같이 hog-horn을 포함하여 taper 구조가 있는 접합부(transition) 이전까지의 한 부분, 경사진 taper 구조를 포함하는 접합부분(transition)과 접합부분을 지나 슬

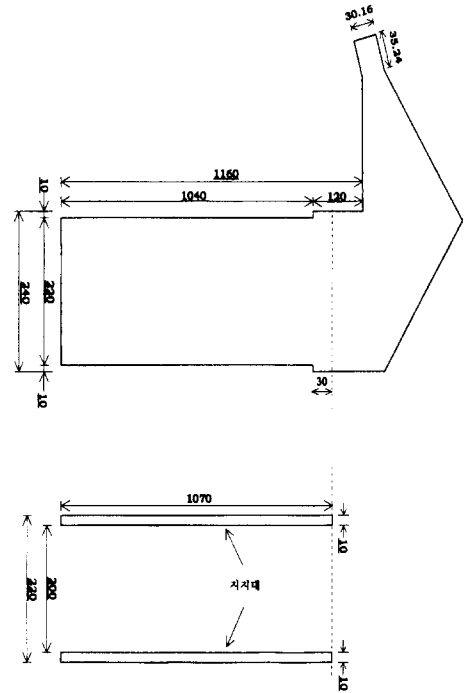


그림 5. 아랫평판과 평행평판 도파관의 양쪽면의 도면 Fig. 5. Dimensioned drawing of the lower plate and the two side walls of the parallel-plate waveguide.

롯이 있기까지의 부분 및 슬롯이 있는 복사부의 네부분으로 나누어서 제작하여 나사로 조립하도록 하였다. Hog-horn의 윗면을 포함한 부분과, 접합부분 다음에서 슬롯이 있는 복사부 이전까지의 두부분은 두께가 3mm인 듀랄루민판을 이용하여 제작하였고, 경사를 지닌 접합부분은 두께가 25mm인 듀랄루민판을 이용하여 정확한 경사각을 가지도록 밀링머신으로 제작하였다. 그리고 슬롯이 있는 복사부는 두께가 1mm인 동판을 사용하였는데 설계결과로서 주어진 48개의 슬롯을 제작하기에는 길이가 너무 길게 되므로 제작과정상의 편의를 위하여 3부분으로 나누어 제작하였으며, 이 경우에는 슬롯 크기의 기구적인 정확도가 중요하므로 laser로 가공하였다. 그리고 복사부를 구성하는 3부분 중 두부분(전체 길이가 각각 310mm인)은 각각 15개의 슬롯을 갖도록 하였으며, 나머지 한 부분(전체 길이가 각각 350mm인)은 15개의 슬롯과 슬롯이 없는(길이가 50mm인) 도파관의 윗면에 해당되는 도체면을(전술한 바와 같이 복사부의 마지막 슬롯 바로 다음의 도파관은 제작의 편의상 개방시켰음) 포함하도록 하였

으며 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 주기적인 슬롯이 있는 복사부를 구성하는 세 부분사이의 공간을 이용하여 추가적으로 3개의 슬롯을 만들었다. 이렇게 12개 부분으로 만들어진 각 부분들은 나사로 정확히 조립되었으며, 특히 조립할 때 가장 중요한 부분인 hog-horn의 개구부분에서는 포물선의 곡률이 있는 부분과 없는 부분사이에서 정확한 각을 유지하여야 하므로 특별히 jig를 만들어서 조립하였다. 그리고 유전체는 비유전율이 2.24인 파라핀을 사용하였으며, 평행 평판 도파관내에 파라핀을 넣은 후 파라핀이 없는 부분과의 반사를 줄여 주기 위해 그림 6에서와 같이 유전체(파라핀)도입 시작부분에서 수평거리로 50mm인 영역에서는 완만한 경사(tapering)의 형태를 유지하도록 하였다.

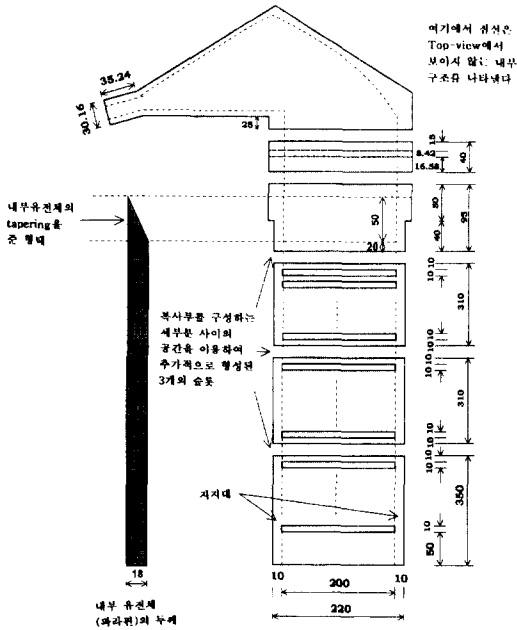


그림 6. 윗판의 도면과 내부유전체(파라핀)의 단면
 Fig. 6. Dimensioned drawing of the upper plate and crossection of dielectric material (paraffin) inside the guide.

3. 실험

제작된 누설과 안테나의 사진은 그림 7과 같으며, 안테나의 복사패턴을 무반사실에서 측정하였다. 누설과 안테나를 송신 안테나로, standard horn 안테나를 수신 안테나로 사용하였으며, 송신 측에서는 초고주파원으로 HP-8510C sweep generator를 사용하고 수신 측에서는 HP-8563E spectrum analyzer를 사용하여

측정하였는데 측정주파수는 10.0GHz로 하였다.

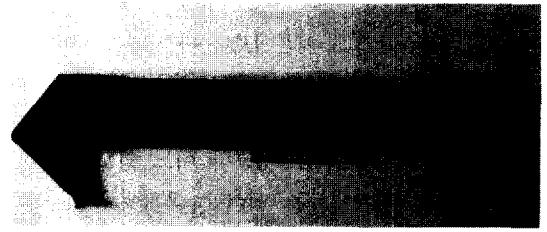


그림 7. 제작된 누설과 안테나의 사진
 Fig. 7. Photograph of fabricated leaky wave antenna.

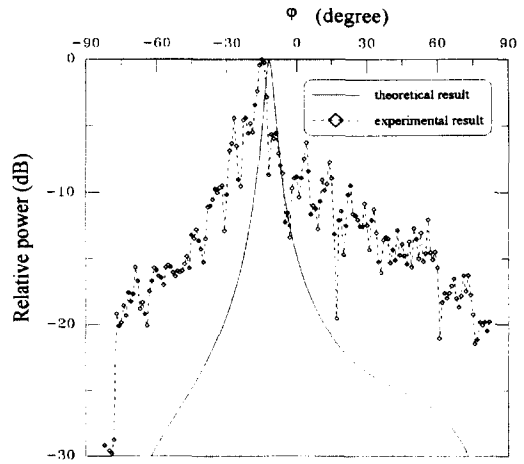


그림 8. 복사패턴의 이론치와 실험치
 Fig. 8. The theoretical and experimental radiation patterns.

측정된 복사패턴과 이론치를 비교한 결과를 그림 8에 도시하였다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 주빔(main beam)을 제외하고는 이론적인 복사패턴의 복사레벨이 전반적으로 실험치 보다 더 낮게 나타났다. 그러나 주빔에서는 거의 유사한 결과를 얻었다. 식 (10)을 이용하여 구한 이론치의 주빔의 각은 $\phi_m = -12^\circ$ 이고 3dB 빔폭(beamwidth)은 3.7° 이고, 식 (9)로부터 계산된 감쇠정수 α_{av} 와 위상정수 $\beta_{-1(av)}$ 은 각각 $6.68 [Np/m]$ 와 $-42.93 [rad/m]$ 로 주어진다. 그리고 실험결과로부터 주빔의 각은 $\phi_m = -15^\circ$ 로 이론치와는 약 3° 의 변이(shift)가 관찰되었고, 3dB 빔폭(beamwidth)은 4.7° 로 이론치보다 약간 넓게 나타났으며, 측정된 주빔의 각과 빔폭을 이용하여 근사적인 방법^{[11],[15]}으로 감쇠정수 $\alpha (\approx k_0 \cos \phi_m \cdot BW/2, \text{여기에서 } BW \text{는 } 3dB$

빔폭(beamwidth)에 해당되는 라디안값임)와 위상정수 $\beta_{-1} (\approx k_0 \sin \phi_m)$ 을 계산하면 각각 8.3 [Np/m] 과 -54.20 [rad/m] 으로 이론치보다 다소 높게 나타났다.

이미 관찰한 바와 같이 주빔(main beam)의 방향과 형태로부터 근사적으로 계산된 복소 전파상수는 이론치와 비교적 잘 일치하고 있으나 어느 정도의 차이를 보이고 있다. 여기에서는 이러한 오차에 대한 요인(source)을 살펴 보고자한다. 먼저 감쇠정수 α 의 실험치가 8.3 [Np/m] 로서 이론치인 6.68 [Np/m] 보다 다소 큰 결과를 얻었는데 이는 주로 도파관 내부의 유전물질인 파라핀의 상대유전율에서의 허수부를 고려하지 않은데서 비롯된 것으로 생각된다. 48개의 슬롯(슬롯 폭은 10mm 이고 주기가 20mm 인)이 있는 복사부를 제작할 때는 평행평판의 윗면에 주기적인 슬롯구조를 구성하기 위하여 진술한 바와 같이 길이가 310mm 인 동판 2개와 350mm 인 동판 1개에 laser를 이용하여 슬롯을 냈는데 최종적으로 만든 후에 슬롯이 있는 부분들을 살펴보니 면이 고르지 않았으므로 (uneven and cockled) 이러한 상황으로부터 초래되는 회절손실 또한 α 의 실험치에 더 추가 된 것으로 생각된다. 위상정수 β 또한 실험치가 이론치 보다 다소 큰 결과를 얻었는데 이러한 오차의 주요 요인은 첫째로 반사면으로 사용된 포물면으로부터 복사부쪽으로 진행되어 나가는 파의 파벡터와 슬롯 축과의 각도가 정확히 90°가 되지 않은데서 주로 기인 된 것으로 생각되며 둘째 요인으로는 파라핀의 상대유전율의 실수부의 불확정도(uncertainty)를 들 수 있으며, 셋째로는 포물면을 제작할 때 생겼던 machining error 와 주기적인 슬롯이 있는 도파관의 윗면 제작 시에 초래된 고르지 못한(cockled) 표면 및 슬롯의 두께(1mm)효과를 들 수 있다. 그리고 평행평판 도파관의 양 측면에 설치된 도체로 된 지지대는 입사전계 벡터에 수직이므로 오차 요인이 되지 않는다고 생각된다.-이는 제작된 누설과 안테나 구조에서 입사 전계 벡터가 슬롯의 축 방향과 평행하다는 사실을 상기하면 알 수 있다. 또 다른 오차 요인(source)으로서 도파관 내부의 파라핀 표면과 슬롯이 있는 동판 표면 사이에 존재하게 되는 불규칙한 간극(gap)을 들 수 있다.

IV. 결 론

내부가 유전체로 채워져 있으며 윗면에 유한한 개수

의 슬롯이 주기적으로 배열된 평행평판 도파관 누설과 안테나를 설계 제작하여 복사패턴을 측정하여 이론적인 결과와 비교하였다. 누설과 안테나는 급전부와 복사부로 나누어져 있으며, 급전부는 hog-horn 안테나를 사용하여 평행평판 도파관에 TE파(horizontally polarized wave)를 급전하도록 초점이 200mm가 되는 곡률 반경을 설계하였다. 그리고 복사부는 유전체로 채워져 있고 유한한 개수의 슬롯이 주기적으로 배열된 평행평판 도파관에서 중심 주파수를 10GHz로 하여 기본 TE모드만이 전파되도록 평행평판 도파관의 높이를 정하고 또한 대부분의 전력이 슬롯을 통해 복사되도록 슬롯의 주기, 슬롯의 폭, 그리고 슬롯의 총 개수를 결정하였다. 또한 유전체는 비유전율이 2.24인 파라핀을 사용하였다.

제작한 안테나의 복사패턴을 측정하여 이론치와 비교하면 실험치가 전반적으로 이론치보다 높게 나타났으나 주빔에서는 거의 유사한 형태를 얻었다. 또한 실험치와 이론치의 오차 요인(source)에 대한 정성적인 분석에 대한 토의를 하였다.

끝으로 본 논문에서 제작 실험한 누설과 안테나 구조는 평면형으로 광대역이며 주파수 주사(frequency scanning)특성을 지니고 있으므로 군용이나 상용(military 또는 Commercial)분야의 안테나로 유용하게 사용될 수 있다고 생각된다. 현재 이러한 구조의 안테나를 보다 저가로 용이하게 제작하기 위해서 보통의 구형도파관의 윗면 또는 옆면에 주기적인 슬롯이 있는 형태의 안테나 구조를 연구 중에 있다¹⁶⁾.

참 고 문 헌

- [1] J. Jacobsen, "Analytical, Numerical, and Experimental Investigation of Guided Waves on a Periodically Strip-Loaded Dielectric Slab," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-18, pp. 370-388, May 1970.
- [2] R. E. Collin, "Analytical Solution for a Leaky-Wave Antenna," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-10, pp. 561-565, Sept. 1962.
- [3] J. A. Encinar, "Mode-matching and point-matching techniques applied to the analysis of metal-strip-loaded dielectric

- antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-38, pp. 1405-1412, Sept. 1990.
- [4] 이창원, 이종익, 윤리호, 조영기, "유전체로 채워진 유한한 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관 누설과 안테나의 해석: E-편파," 전자공학회 논문지, 제 32권 A편 제 12호, pp.48-54, 1995
- [5] J. H. Lee, H. J. Eom, Y. K. Cho, and W. J. Chun, "TM-wave radiation from finite thick slits in parallel plate," *IEICE Trans. Commun.(Letter)*, vol. E79B, no. 6, June 1996.
- [6] J. H. Lee, H. J. Eom, and J. W. Lee, "Scattering and radiation from finite thick slits in parallel-plate waveguide," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, no. 2, pp. 212-216, Feb. 1996.
- [7] C. W. Lee and Y. K. Cho, "Periodically slotted dielectrically filled parallel-plate waveguide as a leaky wave antenna for infinite and finite periodic structures," *International Symposium on Electromagnetic Theory, St. Petersburg, Russia*, pp. 314-316, May, 1995.
- [8] 조응희, 고지환, 홍재표, 조영기, "평행평판 도파관의 윗면에 주기적인 슬롯이 있는 구조에 대한 누설과 안테나 관점에서의 해석," 대한전자공학회 추계 종합학술대회 논문집, vol.18, no.2, pp.297-330., Dec. 1995
- [9] E. M. T. Jones and J. K. Shimizu, "A wide-band transverse-slot flush-mounted array," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-8, pp. 401-407, July 1960.
- [10] R. C. Honey, "A flush-mounted leaky-wave antenna with predictable patterns," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-7, pp. 320-329, Oct. 1959.
- [11] R. E. Collin, "Analytical solution for a leaky-wave antenna," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-10, pp. 561-565, Sept. 1962.
- [12] C. W. Chuang, "Generalized admittance matrix for a slotted parallel-plate waveguide," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-36, pp. 1227-1230, Sept. 1988.
- [13] R. S. Elliott, *Antenna theory and design*, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 490-495, 1981.
- [14] R. F. Harrington, *Time-harmonic electromagnetic fields*, McGraw-Hill, New York, pp. 451-455, 1961.
- [15] A. Hessel, "On the influence of complex poles on the radiation pattern of leaky wave antennas," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-10, pp. 646-647, Sept. 1962.
- [16] 김정호, 구형 도파관의 윗면에 위치한 무한 접지 평면에 주기적인 슬롯이 있는 구조에 대한 해석, 경북대학교 석사학위논문, 1996

저 자 소 개

洪在杓(正會員) 第33卷 A編 10號 參照.
현재 경북산업대학교 전자공학과
부교수

趙雄熙(正會員) 第33卷 A編 8號 參照.
현재 경북대학교 전자공학과 박사
과정 재학중

李鍾益(正會員) 第32卷 A編 1號 參照.
현재 경북대학교 전자공학과 박사
과정 재학중

尹利虎(正會員) 第32卷 A編 1號 參照.
현재 경북대학교 전자공학과 박사
과정 재학중



李定炯(正會員)
1968년 3월 28일생. 1992년 2월 한
국과학기술원 전기 및 전자공학과졸
업(공학사). 1994년 2월 한국과학기술
원 전기 및 전자공학과졸업(공학
석사). 현재 한국과학기술원 박사과
정 재학중. 주관심분야는 무선통신
시스템, 안테나이론, 수치해석 등임.

趙榮基(正會員) 第33卷 A編 8號 參照.
현재 경북대학교 전자공학과 부교
수



嚴孝俊(正會員)
1973년 서울대학교 전자공학과졸업
(공학사). 1977년 미국 캔사스대학
졸업(공학석사). 1982년 미국 캔사
스대학교 박사학위취득. 1981-1984
년 캔사스대학 remote sensing 실
험실 연구원. 1984-1989년 일리노
이즈립대학(시카고) 전자 및 전산과 조교수. 1989-
현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 교수. 주관심
분야는 radar remote sensing, 마이크로파 산란 및
복사해석 등임.