

임폴스복사안테나에서 직각개구의 개구효율에 대한 연구

정원철, 리영명

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학자, 기술자들은 자기 땅에 발을 붙이고 눈은 세계를 보는 혁신적인 안목을 가지고 두뇌전, 실력전을 벌려 최첨단체신기술과 수단들을 더 많이 연구개발하여야 합니다.》

임폴스복사안테나의 성능을 높이자면 개구효율을 개선하는것이 중요한데 여기에는 급전전극과 개구면의 형태와 크기, 급전완전저항과 같은 정수들이 영향을 주게 된다. 지난 시기에는 급전전극에 따라 개구면이 주어진다고 보고 그에 따라 개구효율을 계산하였다.[1, 3]

본문에서는 나팔급전구조가 주어졌다고 보고 직각개구면의 크기를 변화시킬 때 개구효율변화를 보았으며 최대개구효율을 얻기 위한 최적크기를 결정하였다.

1. 개구효율에 대한 이론적기초

순간개구효율 η_A 는 축선에서 등가리상기준안테나의 복사출력밀도에 대한 시험안테나의 복사출력밀도의 비로 정의한다.[2, 3]

개구마당이 x, y 평면에 놓여있다면 개구효율 η_A 를 다음과 같이 정의할수 있다.

$$\eta_A = \frac{E_r^2(r, t)}{E_r^{*2}(r, t)} = \frac{1}{A} \frac{Z_l}{Z_m} \left[\frac{1}{V_{in}} \iint_A E_y(x, y) dx dy \right]^2 \quad (1)$$

여기서 $E_r(r, t)$ 는 시험안테나의 축선에서의 복사마당세기이고 $E_r^*(r, t)$ 는 등가리상안테나의 축선에서의 복사마당세기이다. 그리고 Z_l 은 전송선의 완전저항, Z_m 은 공간파동저항, A 는 개구면적이며 $E_y(x, y)$ 는 안테나입력전압 V_{in} 에 의한 개구마당의 기본성분이다.

식 (1)을 간단히 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\eta_A = \frac{A}{V_{in}^2} \frac{Z_l}{Z_m} \langle E_y \rangle^2 = \left[\frac{A \langle E_y^2 \rangle}{Z_m} \middle/ \frac{V_{in}^2}{Z_l} \right] \left[\frac{\langle E_y \rangle^2}{\langle E_y^2 \rangle} \right] \quad (2)$$

여기서

$$\langle E_y \rangle^2 = \left[\frac{1}{A} \iint_A E_y(x, y) dx dy \right]^2$$
$$\langle E_y^2 \rangle = \frac{1}{A} \iint_A E_y^2(x, y) dx dy$$

이다.

한편 균일한 마당분포에 대하여 개구효율에 대한 식을 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\eta_A = \frac{1}{A} \frac{Z_l}{Z_m} \left[\int_0^W \left[\frac{1}{V_{in}} \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} E_y(x, y) dy \right] dx \right]^2 = \frac{1}{A} \frac{Z_l}{Z_m} \left[\int_0^W dx \right]^2 = \frac{W^2}{A} \frac{Z_l}{Z_m} \quad (3)$$

2. 직각개구면을 가진 개구안테나의 개구효율

TEM나팔급전전극과 직각개구면을 가진 개구안테나의 개구효율을 구하여보자.(그림 1)

좁은 직각개구에 대하여 ($\Delta a = 0$) 식 (3)을 리용하여 다음과 같은 근사화된 식을 얻을수 있다.

$$\eta_A(a, b, 0) = \frac{a}{b} \frac{Z_l}{Z_m} = \frac{1}{1 + u_\eta (a/b)^{-k_\eta}} + \Delta\eta \quad (4)$$

여기서

$$0.001 \leq a/b \leq 10$$

일 때

$$u_\eta = 1.115 \quad 8, \quad k_\eta = 0.830 \quad 0, \quad |\Delta\eta/\eta| \leq 0.005$$

이다.

축비에 따르는 개구효율관계를 그림 2에 보여주었다.

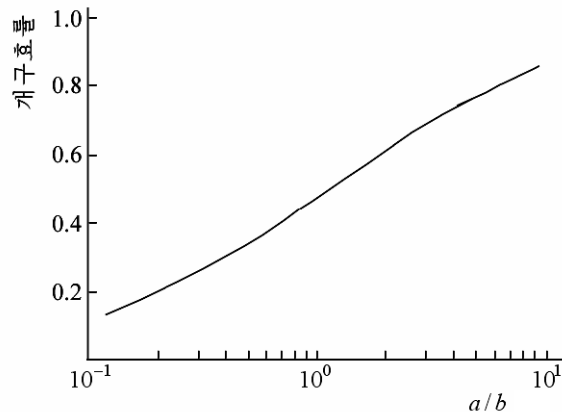


그림 2. 좁은 직각개구에서 축비 a/b 에 따르는 개구효율

그림 2에서 보여주는것처럼 축비 a/b 가 증가함에 따라 개구효율은 증가한다. 이것은 보다 낮은 완전저항을 가진 평면TEM나팔이 가장 높은 개구효율을 가지며 따라서 입구출력과 개구면적이 주어졌을 때 축비 a/b 가 클수록 높은 순간복사마당을 발생한다는것을 알수 있다. 이 결과는 낮은 완전저항을 가진 평면TEM나팔이 그 개구내에서 가장 균일한 마당을 형성하며 또한 개구밖에 루설되는 마당에에너지가 가장 작기때문이라고 리해할수 있다.

그러나 좁은 직각개구는 평면TEM나팔에 대하여 최적화된 개구라고 볼수 없으므로 개구의 너비를 증가시킬 때 얻어지는 개구효율을 계산하여 최적개구를 얻어내야

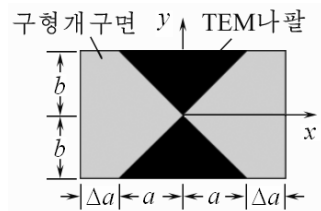


그림 1. TEM나팔급전전극과 직각형개구면을 가진 개구안테나

한다.

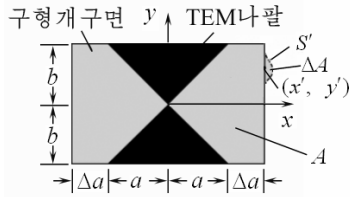


그림 3. 새로운 개구면의 계산

최적개구를 계산하기 위한 방법은 다음과 같다.

우선 면적 A 와 둘레경로 S 를 가진 개구가 존재한다고 보고 그림 3과 같이 S 위의 어떤 점 (x, y) 에서 작은 증가면적 ΔA 를 더하여 면적 A' 를 둘러싸는 새로운 둘레경로 S' 를 형성한다.

둘레 S 와 면적 A' 를 가진 개구에 대한 새로운 개구효율 $\eta_{A'}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\eta_{A'} &= \eta_A + \delta\eta_A = \\ &= \frac{1}{A'} \frac{Z_l}{Z_m} \left[\frac{1}{V_{in}} \iint_{A'} E_y(x, y) dx dy \right]^2 = \\ &= \frac{1}{(A + \delta A)} \frac{1}{V_{in}^2} \frac{Z_l}{Z_m} \left[\iint_A E_y(x, y) dx dy + E_y(x', y') \delta A \right]^2 = \\ &= \frac{A}{V_{in}^2} \frac{Z_l}{Z_m} \left[\langle E_y \rangle + E_y(x', y') \frac{\delta A}{A} \right]^2 / \left[1 + \frac{\delta A}{A} \right] = \\ &= \frac{A}{V_{in}^2} \frac{Z_l}{Z_m} \langle E_y \rangle^2 \left[1 + 2 \frac{E_y(x', y')}{\langle E_y \rangle} \frac{\delta A}{A} + \frac{E_y^2(x', y')}{\langle E_y \rangle^2} \frac{\delta A^2}{A^2} \right] \left[1 - \frac{\delta A}{A} + O\left(\frac{\delta A^2}{A^2}\right) \right] = \\ &= \eta_A \left[1 + 2 \frac{E_y(x', y')}{\langle E_y \rangle} \frac{\delta A}{A} - \frac{\delta A}{A} + O\left(\frac{\delta A^2}{A^2}\right) \right]\end{aligned}\tag{5}$$

이 식을 리용하여 개구면의 너비 Δa 를 증가시킬 때 얻어지는 새로운 개구면의 개구효율을 구할수 있다.

그림 4에 수치해석법을 리용하여 각추형나팔의 축비가 각이할 때 $\Delta a/b$ 에 따르는 직각개구의 상대개구효율을 보여주었다.

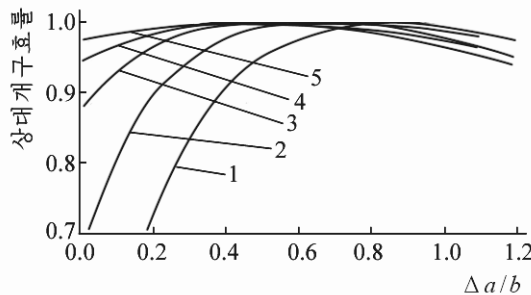


그림 4. 각추형나팔의 축비가 각이할 때 $\Delta a/b$ 에 따르는 직각개구의 상대개구효율
1-5는 $a/b = 0.00, 0.25, 1.00, 2.50, 6.00$ 일 때

그림 4에서 보는것처럼 개구너비 $\Delta a/b$ 가 증가할 때 개구효율은 증가하다가 어떤 최대값에 이르며 그다음부터는 천천히 감소한다. 또한 최대값에 도달하는 개구너비는 축비

에 따라 다르며 0.4~0.8사이에 놓인다.

우리가 흔히 리용하는 $a/b=1$ 인 경우 Δa 를 최적화하면($\Delta a/b=0.5$) 상대개구효율은 15.4% 증가되며 절대개구효율은 47.3%로부터 54.6%까지 증가된다.

맺는 말

직각개구면의 크기가 각이할 때 개구효율변화특성을 논의하였다. 즉 직각형개구면의 너비를 적당히 늘이면 최적너비($\Delta a/b=0.5$)에서 최대개구효율이 얻어진다는것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Hans Gregory Schamz; IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, 7, 351, 2002.
- [2] B. Gaucher; IEEE Int. Symp. Antenna and Propagation Society, 2, 367, 2005.
- [3] C. J. Buchenauer; et al.; Sensor and Simulation Notes Note, 11, 421, November 1997.

주체107(2018)년 2월 5일 원고접수

Study on Aperture's Efficient of Rectangle Aperture in Impulse Radiation Antenna

Jong Won Chol, Ri Yong Myong

The paper showed the variation of aperture's efficient corresponding to the different size of pyramidal horn and rectangular aperture's surface. If the width of rectangular aperture is properly increased, the max efficient appears in sight at optimum width($\Delta a/b=0.5$).

Key words: aperture efficiency, rectangular apertures