

6각형개구를 가진 임폴스복사안테나의 최대개구효율에 대한 연구

정원철, 리영명

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《무선방송부문에서 방송설비의 반도체화를 보다 완성하고 방송출력을 높이며 수자식 방송으로 이행하도록 하여야 합니다.》

전자기파송신출력을 높이는데서 복사안테나의 각이한 특성을 개선하는 문제가 중요하다. 안테나의 특성량들에는 지향선도, 리득, 파동저항, 개구효율 등이 있으며 여기서 개구효율을 개선하는것이 중요하다. 선행연구[1, 3]에서는 급전전극의 모양에 의하여 개구면이 결정된다고 보고 개구효율을 계산하였지만 개구효율에 미치는 개구면의 형태와 크기의 영향을 밝히지 못하였다.

론문에서는 나팔급전구조가 주어졌을 때 개구면의 형태와 크기에 따르는 개구효율의 변화관계와 최적개구곡선을 계산하였으며 6각형개구면의 최적크기값을 결정하였다.

1. 개구효율에 대한 개념

일반적으로 임폴스복사안테나의 개구효율[1, 2]은 개구의 면적이 같고 입구출력이 같을 때 이상임폴스복사안테나와 실지임폴스복사안테나의 거리축선에서의 첨두복사출력밀도비로 정의된다. 개구효율의 손실은 개구밖으로 손실되는 에너기와 개구안에서의 불균일한 마당 및 편극분포로부터 생긴다.

거리축선을 따라 r 만큼 떨어진 곳에서 복사마당은 다음과 같다.[1]

$$\vec{E}_r(r, t) = \frac{1}{2\pi rc} \frac{d}{dt} \iint_A \vec{E}(x, y, t - r/c) dx dy \quad (1)$$

여기서 $c=1/\sqrt{\mu\epsilon}$ 은 외부매질에서의 빛속도, $\vec{E}(x, y, t)$ 는 마당분포, A 는 개구의 면적이다.

이상적인 기준안테나인 경우 개구는 균일마당 \vec{E}_0 으로 려기되며 따라서 식 (1)은 다음과 같이 된다.

$$\vec{E}_r^*(r, t) = \frac{A}{2\pi rc} \frac{d}{dt} \vec{E}_0(t - r/c) \quad (2)$$

이때 기준안테나의 입구전력은 다음과 같다.

$$P_{in}^*(t) = A \frac{E_0^2(t)}{Z_{med}}, \quad Z_{med} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (3)$$

한편 일반안테나에 대하여 전체 안테나입구전력은 다음과 같다.

$$P_{in}(t) = \frac{V_{in}^2(t)}{Z_{line}} \quad (4)$$

여기서 $V_{in}(t)$ 는 급전입구전압, Z_{line} 은 급전선완전저항이다.

일반 안테나와 기준안테나의 입구전력이 같다고 하면 개구효율은 다음과 같다.

$$\eta_A = \frac{E_r^2(r, t)}{E_r^{*2}(r, t)} = \frac{1}{A} \frac{Z_{line}}{Z_{med}} \left[\frac{1}{V_{in}} \iint_A E_y(x, y) dx dy \right]^2 \quad (5)$$

여기서 $E_y(x, y)$ 는 y 축을 기본편극방향으로 취하였을 때 안테나입구전압 V_{in} 에 의한 개구마당분포의 기본성분이다.

개구너비가 W 일 때 식 (5)는 다음과 같이 간단히 할수 있다.

$$\eta_A = \frac{1}{A} \frac{Z_{line}}{Z_{med}} \left[\int_0^W dx \frac{1}{V_{in}} \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} dy E_y(x, y) \right]^2 = \frac{1}{A} \frac{Z_{line}}{Z_{med}} \left[\int_0^W dx \right]^2 = \frac{W^2}{A} \frac{Z_{line}}{Z_{med}} \quad (6)$$

2. 6각형개구면을 가진 안테나의 개구효율

안테나배열에서 TEM나팔급전전극의 위치에 따라 얻어지는 개구구조는 구형과 6각형이다.(그림 1)

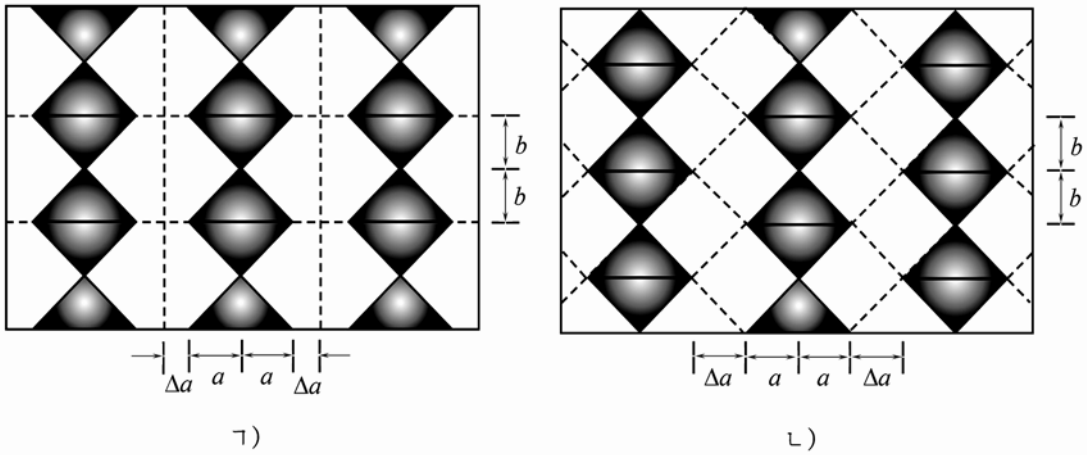


그림 1. 안테나배열에서 얻어지는 각이한 개구구조

ㄱ) 구형개구, ㄴ) 6각형개구

일반적으로 배열요소들의 간격을 좁히면 Δa 가 작아지며 $\Delta a = 0$ 일 때 좁은 구형개구가 얻어진다. 이때 개구효율은 식 (6)으로부터 다음과 같다.

$$\eta_A(a, b, 0) = \frac{a}{b} \frac{Z_l}{Z_m} = \frac{1}{1 + u_\eta (a/b)^{-k_\eta}} + \Delta\eta \quad (7)$$

여기서 $0.001 \leq a/b \leq 10$ 일 때 $u_\eta = 1.1158$, $k_\eta = 0.8300$, $|\Delta\eta/\eta| \leq 0.005$ 이다.

식 (7)로부터 축비 a/b 가 증가함에 따라 개구효율이 증가한다는것을 알수 있다. 그것은 a/b 가 크면 TEM나팔개구내에서 마당이 균일해지고 개구밖으로 루설되는 마당에너르기가 작아지기때문이다. 그러나 축비는 무한히 크게 할수 없으며 각이한 조건을 고려하여 설정하여야 한다.

따라서 TEM나팔급전이 주어졌을 때 효율이 최대가 되자면 합리적인 개구모양과 크기를 결정하여야 한다.

해석적방법으로 $a/b \rightarrow 0$, $a/b \rightarrow \infty$ 일 때 구한 최적개구곡선방정식들은 다음과 같다.

$$y = \frac{b}{\pi} \left[\arccos \left(\frac{\pi x}{b} - 1 \right) + \sqrt{1 - \left(\frac{\pi x}{b} - 1 \right)^2} \right] \quad (a/b \rightarrow \infty) \quad (8)$$

$$y = \sqrt{b^2 - x^2} \quad (a/b \rightarrow 0)$$

한편 a/b 가 중간구간에 있을 때에는 최적곡선을 수치풀이법으로 구할수 있다.

a/b 가 각이한 값을 가질 때 최적개구곡선형태를 그림 2에 보여주었다.

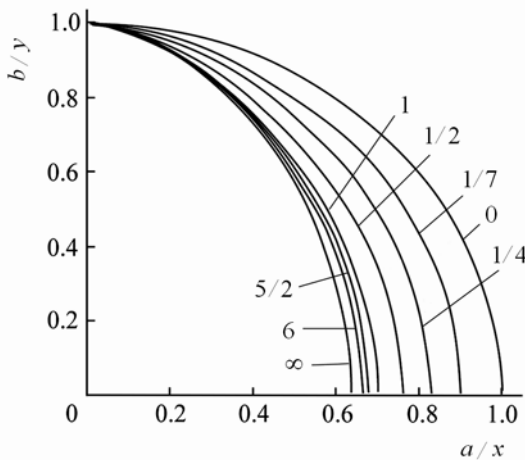


그림 2. 각추형TEM나팔급전에서 축비 a/b 가 각이할 때 최적개구곡선형태

구에서 얻어지는 최대개구효율에 대한 실지개구효율의 비이다.

그림 2로부터 최대개구효율을 보장하기 위해서는 개구경계가 곡선형태를 가지며 Δa 가 일정한 정도로 보장되어야 한다는것을 알수 있다. 또한 축비가 증가할수록 최적개구면의 크기가 작고 축비가 작을수록 최적개구면의 크기가 증가한다는것을 알수 있다.

그러나 각추형급전을 가지고 배열을 구성하는 경우 구형개구나 6각형개구가 얻어지므로 최적개구가 되지 않는다. 그러므로 개구의 형태가 주어졌다고 보고 개구의 크기를 최적화하여야 한다.

그림 3에 개구의 형태가 6각형인 경우 축비가 각이할 때 $\Delta a/b$ 에 따르는 상대개구효율을 보여주었다. 상대개구효율은 직각개

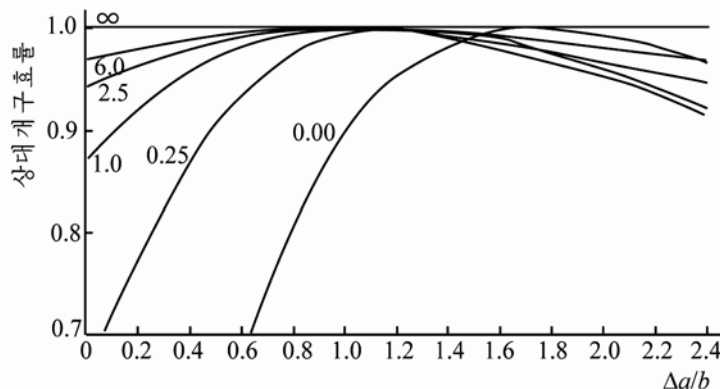


그림 3. 각추형나팔의 축비 a/b 가 각이할 때 $\Delta a/b$ 에 따르는 6각형개구의 상대개구효율

그림 3에서 보는바와 같이 개구너비 $\Delta a/b$ 가 증가할 때 개구효율은 증가하다가 어떤 최대값에 이르며 그다음부터는 천천히 감소한다. 여기서 최대값에 도달하는 개구너비는 축비에 따라 다르며 0.8~1.2사이에 놓인다.

한편 개구너비 $\Delta a/b$ 의 효과는 축비 a/b 가 작을수록 뚜렷하며 축비가 클수록 개구너비가 주는 영향이 감소된다.

$a/b=1$ 인 경우 Δa 를 최적화하면($\Delta a/b=1$ 인 경우) 상대개구효율은 14% 증가되며 절대개구효율은 47.3%로부터 54.7%까지 증가된다.

맺는 말

각추형TEM나팔배럴에서 개구형태가 구형 혹은 6각형으로 되며 6각형개구면의 너비를 적당히 늘이면 최적너비($\Delta a/b=1$)에서 최대개구효율이 얻어진다는것을 밝혔다.

참고 문헌

- [1] A. Balanis; Modern Antenna Handbook, Wiley & Sons, 97~120, 2008.
- [2] B. Gaucher; IEEE Int. Symp. Antenna and Propagation Society, 2, 367, 2005.
- [3] C. J. Buchenauer et al.; Sensor and Simulation Notes, 11, 421, 1997.

주체107(2018)년 8월 5일 원고접수

A Method for Maximum Aperture Efficiency of the Impulse Radiating Antenna with Hexagonal Aperture

Jong Won Chol, Ri Yong Myong

We verified that the aperture type became rectangular or hexagonal in case of pyramidal TEM horn array and then described about the optimum aperture type for maximizing aperture efficiency. It is found that the maximum aperture efficiency is achieved with optimum width($\Delta a/b=1$) if the width of the hexagonal aperture is properly increased.

Key words: aperture efficiency, hexagonal apertures