

# 전자파 두뇌 영상장치용 비대칭형 Corrugated 테이퍼드 슬롯 안테나

## A Tapered Slot Antenna with Asymmetric Corrugations for a Microwave Brain Imaging System

이 준 석 · 박 중 기 · 최 재 훈

Juneseok Lee · Joongki Park · Jaehoon Choi

### 요 약

최근 전자파를 이용하여 두뇌를 영상화하는 시스템이 제안되고 있다. 이러한 시스템은 초광대역 특성(0.5~2 GHz)과 주빔의 방향이 모든 동작 주파수 대역에서 일정하게 유지되는 소형 안테나를 요구한다. 위의 요구 조건을 만족하기 위해서 본 논문에서는 비대칭형 corrugation들을 일반 TSA에 적용하여 안테나의 크기는 14 % 감소시키고, 요구되는 동작 주파수 대역인 0.5 GHz에서 2 GHz까지 반사 손실이 10 dB 이하의 값을 가지도록 설계하였다. 특히 대칭형 corrugation들을 적용한 TSA가 가지는 주빔의 방향이 주파수에 따라 변하는 점을 개선하였고, 이러한 비대칭형 corrugated TSA는 전자파를 이용한 두뇌 영상장치의 구현을 위해서 요구되는 조건을 모두 만족한다.

### Abstract

Recently, a brain imaging system with microwave devices has been proposed. The brain imaging system requires a small antenna which has ultra wide band(UWB) operating frequency bandwidth(0.5~2 GHz) and non-varying boresight of antenna over the frequency band. This paper proposes asymmetric corrugations on a tapered slot antenna (TSA) so that the size of the TSA is reduced by 14 % while 10 dB return loss bandwidth is satisfied over the operating frequency band from 0.5 GHz to 2 GHz. A miniaturized TSA with symmetric corrugations shows tilted boresight whilst frequency is getting lower; however, the proposed TSA with asymmetric corrugations maintains direction of boresight for different frequencies. This enhancements make an asymmetric corrugated TSA meet the requirement of the brain imaging system.

Key words : Tapered Slot Antenna, Microwave Brain Imaging System, Corrugation, Asymmetric Structure, Ultra Wide Band

### I. 서 론

최근 전파의 응용 범위가 단순통신에서 점차 넓어지고 있으며, 복지에 대한 관심이 증가함에 따라

전파를 의료용 목적으로 사용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 그러한 예로 전자파 영상장치가 있으며, 이러한 전자기 펄스를 이용한 시스템은 목표물의 종류를 확인하기 위한 초광대역 특성과 목표물을

「본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0005655).」  
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics & Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received February 8, 2013 ; Revised March 5, 2013 ; Accepted March 8, 2013. (ID No. 20130208-019)

· Corresponding Author : Jaehoon Choi (e-mail : choijh@hanyang.ac.kr)

향하여 전자기 펄스를 정확히 방사하기 위한 안테나의 높은 지향성이 요구된다. 전자파 영상장치의 요구사항인 넓은 동작 주파수 대역과 높은 지향성을 가지는 TSA(Tapered Slot Antenna)가 전자파 영상장치 시스템에서 사용되고 있다<sup>[2]~[4]</sup>.

TSA 설계시 고려해야 할 사항은 안테나의 크기가 다른 형태의 안테나에 비하여 크다는 점과 안테나의 주빔의 방향이 일정한 방향으로 유지되지 않고 변화한다는 점이다<sup>[5]</sup>. 또한, TSA의 크기는 동작 주파수 대역 중 하한 주파수에 의해 결정되기 때문에 안테나의 크기를 최소화하는 것이 매우 중요하다<sup>[6]</sup>. 이러한 저주파 대역에서의 문제점을 해결하기 위하여 안테나에 corrugation들이 적용되었다<sup>[7]</sup>. 하지만 이러한 corrugation들이 적용된 TSA는 넓은 주파수 대역에서 안테나의 주빔의 방향이 변하는 단점이 있다<sup>[5]</sup>. 전자파 두뇌 영상장치는 목표물에 정확한 전자기 펄스를 방사하기 위해서 모든 동작 대역에서 주빔의 방향이 유지되는 특성을 반드시 필요로 하며, 이를 위하여 비대칭 flare를 적용하여 넓은 동작 대역에서 주빔의 방향을 유지하는 TSA에 대한 연구가 발표되었다<sup>[8]</sup>.

본 논문에서는 0.5~2 GHz의 주파수 대역을 사용하는 전자파 두뇌 영상장치<sup>[4]</sup>를 위한 TSA를 제안하였고, 위의 두 가지 문제점(크기의 소형화, 주빔의 방향 유지)들을 해결하기 위해서 대칭형 flare와 비대칭형 corrugation들을 이용하는 소형 TSA를 설계하였다. 제안된 TSA는 대칭형 안테나의 주빔 방향이 주파수에 따라 변하지 않고 유지되는 특성을 가진다.

## II. 비대칭형 Corrugated 테이퍼드 슬롯안테나 설계

제안된 전자파 두뇌 영상 장치 구현을 위한 TSA의 구조를 그림 1에 나타내었다. 안테나의 전체 크기는 220 mm×250 mm×1.28 mm이며, 안테나의 크기를 줄이기 위하여 Tarconic사의 CER-10 기판( $\epsilon_r=10$ ,  $\tan \delta =0.0035$ )을 사용하였다.

그림 1(a)는 일반적인 TSA 안테나의 모습을 나타낸 것이고, 그림 1(b)는 소형화를 위해서 대칭형 corrugation들이 적용된 TSA 안테나의 모습을 나타내고 있다. 마지막으로 그림 1(c)는 본 논문에서 제안한 비대칭 corrugation들을 적용한 안테나 구조를

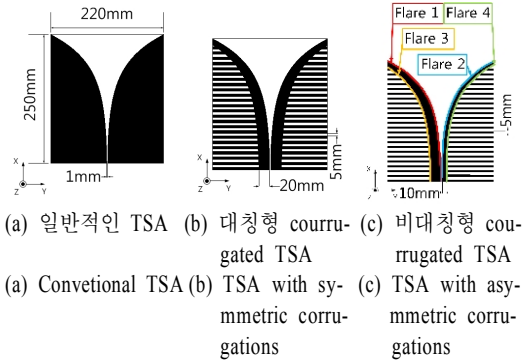


그림 1. 제안된 안테나 구조  
Fig. 1. Configurations of the proposed antenna.

나타내었다.

TSA의 하한 동작 주파수와 개구면의 크기는 식 (1)과 같은 관계가 있다<sup>[6]</sup>.

$$w = \frac{c}{f_1 \sqrt{(\epsilon_r + 1)/2}} \quad (1)$$

여기서  $w$ 는 TSA의 개구면 폭을,  $f_1$ 는 하한 주파수,  $\epsilon_r$ 는 비유전율을 나타낸다. 식 (1)에 의해 본 논문의 하한 주파수인 0.5 GHz에서 동작하는 TSA의 개구면은 255.84 mm 이상의 너비를 가져야 하지만 corrugation들을 적용하여 TSA의 사이즈를 220 mm(약 86%)로 설계 가능하다<sup>[9]</sup>. 그림 1(c)는 TSA의 테이퍼드 flare의 종류를 나타내고 있다. 각 flare들은 저주파에서의 특성 향상을 위해 지수함수  $y = ae^{dx+c} + b$ 를 이용하여 설계되었다. 저주파에서의 특성 향상을 위해 사용된 지수함수는 저주파에서 슬롯의 기울기가 급격히 변함에 따라 고주파에서와 같은 주빔의 방향을 유지하는 것이 어려워진다. 본 논문에서 제안된 비대칭형 corrugation은 좌우측에 서로 다른 저항성 필름을 도포한 것과 같은 효과를 가진다<sup>[7]</sup>. 위의 corrugation에 의해 전파가 high impedance 표면으로 집중되는 현상을 야기하게 된다. 비대칭형 corrugation의 효과를 최적화하기 위해 그림 1(c)의 각 flare의 지수함수에서 사용된 변수 a, b, c, d를 다음 표 1에 나타내었다.

그림 1(b)에서의 flare 3과 4는 flare 1과 2가 각각  $-y$ 축  $+y$ 축 방향으로 20 mm 이동하였고, 그림 1(c)에서의 flare 3과 4는 각각  $-y$ 축  $+y$ 축 방향으로 20 mm 그리고 10 mm만큼 더 이동하였다.

표 1. 비대칭형 corrugated TSA의 flare별 지수함수의 변수 값

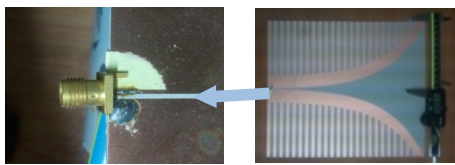
Table 1. Variable value of exponential function for flare in asymmetric corrugations TSA.

|         | a  | b       | c   | d      |
|---------|----|---------|-----|--------|
| Flare 1 | 1  | 0.0011  | 2.5 | 17.75  |
| Flare 2 | -1 | -0.0011 | 2.5 | -17.75 |
| Flare 3 | 1  | 0.0011  | 2.5 | 37.75  |
| Flare 4 | -1 | -0.0011 | 2.5 | -27.75 |

### III. 제작 및 실험 결과

그림 2는 본 논문에서 제안한 TSA의 구조를 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 제안된 안테나에 프로브를 이용한 급전부의 모습을 나타낸 것이다. 제안된 TSA 안테나는 HFSS 14.0을 이용하여 시뮬레이션하였다. HFSS 14.0을 이용한 시뮬레이션 결과는 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)에서는 일반적인 TSA의 대역폭(0.7~0.8 GHz, 1.1 GHz 이상)보다 corrugation들이 적용된 TSA가 더 넓은 대역폭(0.45~0.8 GHz, 1 GHz 이상)을 형성하는 것을 확인할 수 있다.

비대칭형 corrugated TSA의 하한 주파수(475 MHz)가 대칭형 corrugated TSA(482 MHz)보다 저주파 대역으로 천이되었다. 그림 3(b)에서는 대칭형 corrugated TSA가 사용 주파수 대역(0.5~2 GHz)에서 고주파 대역일 때의 주빔의 방향이 X-Y평면에서 주파수

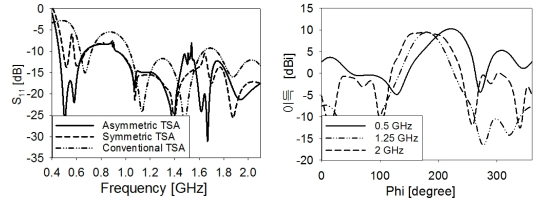


(a) 대칭 corrugated TSA  
(a) TSA with symmetric corrugation

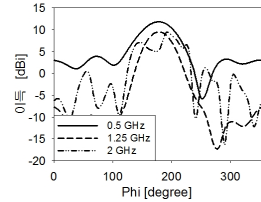


(b) 제안한 비대칭 corrugated TSA  
(b) Proposed TSA with asymmetric corrugation

그림 2. 제작된 TSA 안테나  
Fig. 2. Photographs of the manufactured antennas.



(a) TSA 안테나의  $S_{11}$  (b) 대칭 TSA 이득  
(a)  $S_{11}$  of three types of TSAs (b) Gain of an symmetric TSA



(c) 비대칭 TSA 이득  
(c) Gain of asymmetric TSA

그림 3. 세 가지 유형의 TSA들의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3. Simulation results of three types of TSAs.

가 낮아짐에 따라 약 40도 기울어 졌으나, 비대칭 TSA의 이득을 나타낸 그림 3(c)에서는 사용 주파수 대역(0.5~2 GHz)에서 주파수가 낮아짐에 따라 주빔의 방향이 약 5도만 변한 것을 확인할 수 있다.

위에서 디자인된 TSA들의 측정된 안테나의  $S_{11}$ 과 이득을 그림 4와 5에 나타내었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안된 안테나는 모든 동작 대역(0.5~2 GHz)에서  $S_{11}$ 이 -10 dB 이하로 측정되었으며, 비대칭형 corrugation들이 적용됐을 때 대칭형 corrugation들이 적용되었을 때보다  $S_{11}$ 이 2~3 dB 정도 동작주파수 전 대역에서 향상되었다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 비대칭형 corrugated TSA의 최대 이득은 2 GHz에서 7.3 dBi이며, 이는 대칭형 corrugated TSA의 최대 이득보다 0.3 dB 감소되었다.

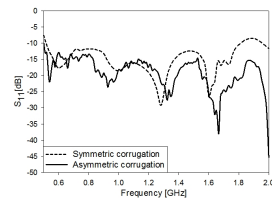
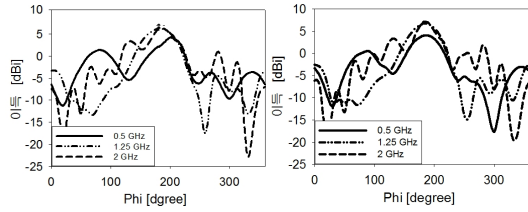


그림 4. 대칭 corrugation TSA 안테나와 비대칭 corrugation TSA 안테나의  $S_{11}$  비교  
Fig. 4. Measured return loss for two types of TSAs.



(a) 대칭 TSA 이득 (b) 비대칭 TSA 이득  
 (a) Gain of a symmetric TSA (b) Gain of asymmetric TSA

그림 5. Corrugation TSAs 이득  
 Fig. 5. Measured gain of TSAs with different corrugations.

하지만 비대칭형 corrugated TSA의 주빔의 방향이 모든 주파수 대역에서 일정하게 유지되는데 반하여 대칭형 corrugated TSA의 주빔의 방향은 주파수가 낮아짐에 따라 약 20도까지 기울어짐을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 대칭형 corrugation들을 적용하여 소형화된 TSA의 문제점인 주빔의 방향이 주파수에 따라 변하는 것을 개선하기 위해 비대칭형 corrugation을 적용한 TSA를 제안하였다.

그 결과, 일반적인 TSA 안테나의 너비보다 약 14% 감소한 220 mm의 너비를 가지면서도 435 MHz 이상의 주파수 대역에서 대칭형 corrugated TSA보다  $S_{11}$ 이 2~3 dB 감소되어 두뇌 영상장치가 요구하는 0.5 GHz부터 2 GHz 대역에서 10 dB 이하의 반사 손실을 보였다. 측정된 안테나의 방사 패턴을 보면 안테나의 최대 이득이 대칭형 corrugated TSA 대비 0.3 dB 감소되었지만 주파수에 따라서 주빔의 방향이 약 20도까지 기울어지는 대칭형 TSA의 단점이 보완된 것을 확인할 수 있다. 측정된 결과로부터 비대칭형 TSA의 경우 주빔의 방향이 주파수 변화에 무관하게 유지됨을 확인하였다.

위의 두 가지 특성은 제작된 안테나가 전자파 영상장치용 안테나로 매우 적합함을 보여준다고 하겠다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이순용, 서원범, 권결, 최재훈, "MICS 대역과 ISM 대역에서 인체 전기적 상수를 갖는 준(準)고체형 플랫폼 팬텀 제작", 한국전자과학회논문지, 23(1), pp. 101-107, 2012년 1월.
- [2] Yifan Wang, Marek Bialkowski, "Design of two-element probe antenna for UWB near-field imaging", *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, IEEE, pp. 1-4, 2010.
- [3] B. J. Mohammed, A. M. Abbosh, D. Ireland, and M. E. Bialkowski, "Compact wideband antenna for microwave imaging of brain", *Progress in Electromagnetics Research C (PIER C)*, vol. 27, pp. 27-39, 2012.
- [4] Ireland David, Marek Bialkowski, "Feasibility study on microwave stroke detection using a realistic phantom and the FDTD method", *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*, pp. 1360-1363, 2010.
- [5] Yifan Wang, Marek Bialkowski, "A size-reduced exponentially tapered slot antenna with corrugations for directivity improvement" *Asia Pacific Microwave Conference (APMC)*, pp. 2482-2485, 2009.
- [6] A. Abbosh, "Gain and bandwidth optimization of compact UWB tapered slot antennas", *Microwave and Optical Technology*, vol. 2, no. 3, Jul. 2007.
- [7] V. Mickhnev, P. Vainikainen, "Ultra-wideband tapered-slot antenna with non-uniform resistive loading", *Antenna Theory and Technique*, Sevastopol, Ukraine, pp. 281-283, Sep. 2007.
- [8] W. Shen, "Study on asymmetric tapered slotline antenna", *Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, The Third International Conference*, pp. 156-158, Sep. 2006.
- [9] Juneseok Lee, Soonyong Lee, Kyeol Kwon, David Ireland, and Jaehoon Choi, "Design of a compact tapered slot antenna for brain imaging system", *The Bioelectromagnetics Society 34th Annual Meeting*, Brisbane, Jun. 2012.