

저항성 초광대역 마이크로웨이브 센서 구현

강웅*, 김강욱*

*광주과학기술원 정보기전공학부

e-mail:mkkim@gist.ac.kr

Implementation of a Resistive Ultra-Wideband Microwave Sensor

Woong Kang* and Kangwook Kim*

*School of Information and Mechatronics

Gwangju Institute of Science and Technology

요 약

본 논문에서는 저항성 초광대역 마이크로웨이브 센서의 설계이론과 구현 방법에 대해 설명하고, 시뮬레이션을 통하여 설계된 센서의 특성을 분석한다. 구현을 위하여 연속적인 저항 프로파일은 이산화되었으며 칩 저항을 이용하여 이산 저항을 실장한다. 시뮬레이션을 통해 칩 저항 8개로 약 8 GHz까지 연속적인 저항 프로파일과 유사한 성능을 보인다는 것을 보인다.

1. 서론

마이크로웨이브는 유전체를 통과하여 전파될 수 있고, 유전율의 불연속면에서 산란된다. 이런 현상을 이용하여 유전체 속에 위치한 타깃의 영상을 획득하는 투과레이더를 구성할 수 있는데, 이는 지하구조물이나 인체를 영상화하는데 사용될 수 있다. 이러한 투과레이더에는 높은 침투성과 함께 높은 해상도가 요구된다. 높은 침투성은 낮은 중심 주파수를 사용함으로써, 높은 해상도는 넓은 대역을 사용함으로써 얻을 수 있다.

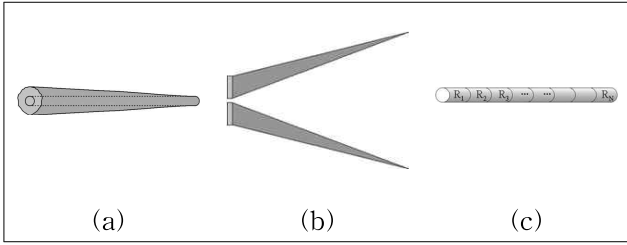
저주파 초광대역 마이크로웨이브를 사용하기 위해서는 이를 복사하고 수신할 수 있는 안테나가 필요하다. 저주파의 초광대역 마이크로웨이브를 복사할 수 있는 안테나로 impulse-radiating antenna, TEM horn antenna, bow-tie antenna, spiral antenna 등이 있다[1-3]. 그러나 타깃의 영상을 얻기 위해서는 안테나 배열이 필요한데, 이 들 안테나는 부피가 커서 안테나 배열 구현이 어렵다.

또 다른 종류의 안테나로 저항성 다이폴을 들 수 있다 [4-7]. 저항성 다이폴은 전통적인 다이폴에 저항을 연속적으로 부하한 것이다. 저항성 다이폴은

복사 효율이 좋지 않으나, 초광대역에서 동작하고 분산이 적어 초광대역 레이더에 적합하다. 또한 부피가 작아 배열화에 유리하다. 따라서 저항성 다이폴은 근거리 타깃을 영상화하는데 적합하다고 할 수 있다.

이러한 저항성 다이폴을 구현하는데 사용되는 여러 가지 방법이 사용되어 왔다. 한 가지 방법은 그림 1 (a)에 보이는 바와 같이 유전체 막대에 저항성 물질을 입히는 방법이다. 이 방법에서 저항은 막대에 입혀진 저항성 물질의 두께에 따라 결정된다. 물리적으로 안정된 구조이나 정확한 저항 프로파일을 구현하는데 어려움이 있다. 그림 1 (b)와 같이 일정한 두께를 가진 저항성 필름을 이용하는 방법도 있다. 이 방법에서 저항은 필름의 폭으로 결정된다. 저항 프로파일을 매우 정확하게 구현할 수 있으나 저항성 필름과 구동점 간의 접점이 불안정하다는 단점이 있다. 또 다른 방법으로는 그림 1 (c)에 보이는 바와 같이 칩 저항을 맞붙여 구현할 수 있다. 연속적인 저항 프로파일을 이산적으로 구현하는 방법으로 저주파에서 매우 정확한 프로파일 구현이 가능하나 물리적으로 불안정하다.

본 논문에서는 위에 언급된 저항성 다이폴의 구



[그림 1] 저항성 다이폴의 전통적인 구현 방법

현 방법을 개선하기 위해 PCB 제작 공정을 사용하고, 이를 위한 소형 저항성 다이폴을 설계하고 분석한다. 다이폴 암은 PCB 제작공정을 이용하여 구리 패턴으로 구현되고, 칩 저항을 패턴 사이에 사용하여 저항 프로파일을 구현한다. 구현된 안테나는 초광대역 펄스를 복사하고, 따라서 수신하는데 사용할 수 있다는 것을 보인다.

2. 설계이론

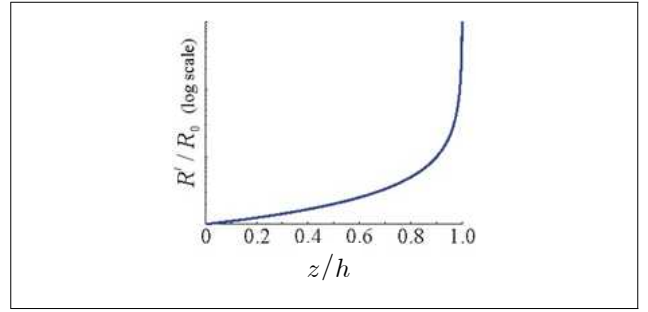
저항성 다이폴의 저항 프로파일로 Wu-King 프로파일이 자주 사용된다. Wu-King 프로파일은 다음과 같이 단위길이 당 저항으로 표현될 수 있다.

$$R(z) = \frac{R_0}{1 - z/h}$$

여기서 h 는 암의 길이, z 는 구동점으로부터 암을 따라 측정되는 거리, $R_0 = R(z=0)$ 은 구동점에서의 단위길이 당 저항이다. 그림 2는 Wu-King 프로파일을 거리에 대한 함수로 보인다. 그림에서 가로축은 h 로, 세로축은 R_0 로 정규화 되었으며, 세로축은 로그 스케일로 그려졌다. 그림 2에서 단위길이 당 저항은 구동점에서 유한한 값을 가지고, 암을 따라 연속적으로 증가하여 암의 끝 부분에서는 무한한 값을 가진다. 이러한 안테나 암에 입력된 전류는 연속적인 저항 값에 의해 점점 감소하여 암의 끝 부분에서 소멸되게 된다. 따라서 안테나 암에서 전류의 내부반사가 없어 분산이 적은 펄스 복사 안테나로 동작한다.

구동점에서의 단위길이 당 저항 R_0 은 다음과 같이 결정된다.

$$R_0 = \frac{\eta_0}{2\pi h} \text{Re}\{\Psi\},$$



[그림 2] 설계된 저항성 다이폴의 구조

여기서 Ψ 는 다음 식들을 이용해서 얻을 수 있다.

$$\Psi = 2 \left[\sinh^{-1} \frac{h}{a} - C(2ka, 2kh) - jS(2ka, 2kh) \right] + \frac{j}{kh} (1 - e^{-j2kh}),$$

$$C(\alpha, x) = \int_0^x \frac{1 - \cos \sqrt{u^2 + \alpha^2}}{\sqrt{u^2 + \alpha^2}} du,$$

$$S(\alpha, x) = \int_0^x \frac{\sin \sqrt{u^2 + \alpha^2}}{\sqrt{u^2 + \alpha^2}} du.$$

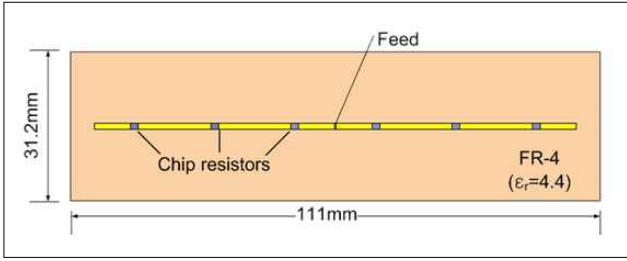
이렇게 구해진 Ψ 값은 주파수에 따른 함수이다. 따라서 초광대역에서 사용될 안테나를 설계할 경우 Ψ 값은 다음과 같이 DC 주파수에 해당되는 값으로 근사된다.

$$\Psi_0 = 2 \ln \left[\frac{h}{a} + \sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + 1} \right] + 2 \left[\frac{a}{h} - \sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 1} \right].$$

안테나를 PCB 제작공정으로 구현하기 위해서는 안테나 암을 구리 패턴으로 제작한다. 구리 패턴에는 갭을 두고, 갭에 칩 저항을 집어넣는다. 이를 위해서 연속적인 저항 프로파일을 이산화할 필요가 있다. 이산화는 다음과 같은 계산식을 이용하여 수행할 수 있다.

$$R_n = \int_{z_{n-1}}^{z_n} \frac{R_0}{1 - z/h} dz$$

즉, 특정 구간의 단위길이 당 저항을 적분하여 그 구간의 총 저항 값을 칩 저항으로 구현하는 방식이



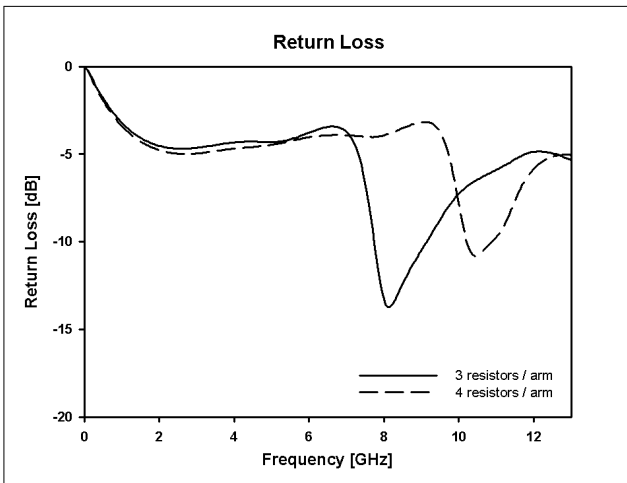
[그림 3] 설계된 저항성 다이폴의 구조

다. 가장 끝 구간은 특이점을 피하기 위하여 단위길 이당 저항의 역수를 적분하고, 그 결과의 역수를 구 함으로써 구한다.

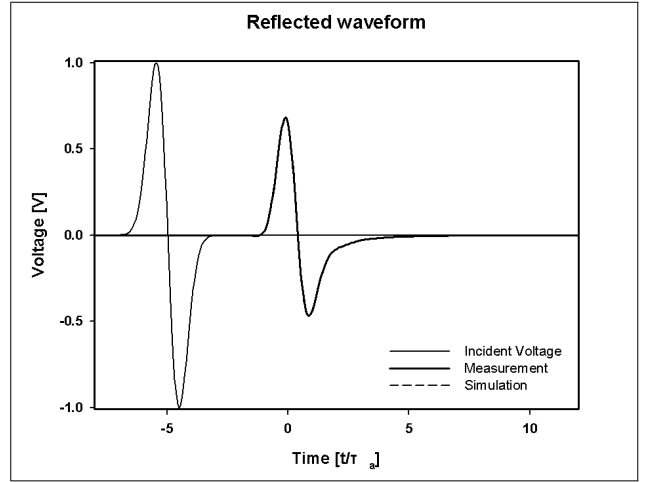
3. 설계 및 분석

소형의 마이크로웨이브 센서를 구현하기 위해 그 립 3과 같은 구조로 시뮬레이션을 실시하였다. 다이 폴의 총 길이는 10.08 cm, 패턴의 폭은 1.2 mm이다. 이 경우 $\Psi_0 = 9.63$ 으로 근사될 수 있다. 시뮬레이션 에 고려된 기판은 유전율이 4.4이고 두께가 0.6 mm 인 FR-4이다.

연속적인 저항 프로파일은 3 또는 4 개의 칩 저 항을 이용하여 이산화되었다. 급전선의 특성 임피던 스가 200 Ω일 경우 시뮬레이션을 통하여 얻어진 반 사계수는 그림 4와 같다. 저항성 안테나는 진행파형 안테나로 동작하여야 하나, 그림은 3 개의 칩 저항 을 사용할 경우 약 8 GHz에서, 4 개의 칩 저항을 사용할 경우 약 11 GHz에서 공진 현상을 보인다는 것을 알 수 있다. 따라서 4 개의 칩 저항으로 약 8 GHz까지는 연속적인 저항 프로파일과 유사한 효과 를 낼 수 있다는 것을 알 수 있다.



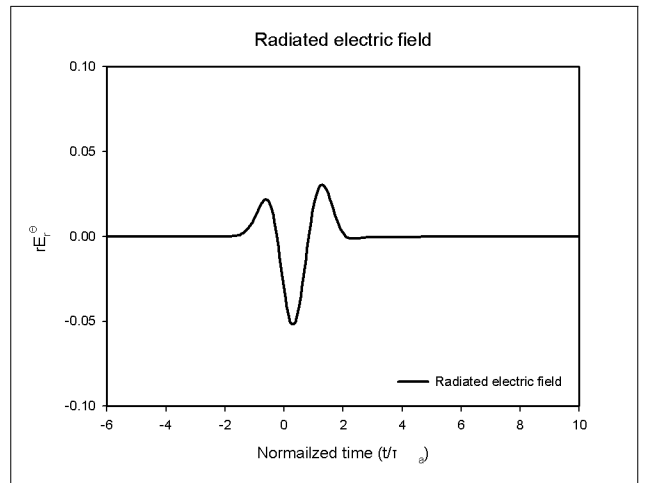
[그림 4] 200 Ω에 reference된 반사 계수



[그림 5] 특성 임피던스가 200 Ω인 급전선에 인가된 펄스와 안테나로부터 반사된 펄스의 파형

그림 5와 6은 특성 임피던스가 200 Ω인 급전선에 피크 주파수 2.0 GHz이고 피크 전압이 1 V인 differentiated Gaussian 펄스가 입사할 때 안테나로 부터 반사된 전압 파형과 공기 중으로 복사된 E-field를 시영역에서 보인 그래프이다. 그림 5와 6 에서 시간 축은 펄스가 한 암을 통과하는데 걸리는 시간(h/c)에 대하여 정규화 되었다. 그림 6에서는 세로축이 관찰자의 거리의 역수로 정규화(rE^r) 되 었다.

그림 4에서 안테나로부터 반사된 파형은 입사파 와 매우 유사하고 그 길이가 짧다는 것을 알 수 있 다. 따라서 타깃으로부터 돌아온 신호와 안테나에서 돌아오는 신호를 시영역에서 쉽게 구분할 수 있다. 그림 5는 설계된 안테나가 매우 짧은 펄스를 복사할 수 있음을 암시한다. 안테나는 복사와 수신 특성 간 에 밀접한 관계가 있으므로, 설계된 안테나는 수신



[그림 6] 설계된 안테나로부터 복사된 전기장의 시영역 파형

모드에서도 초광대역 펄스를 수신할 수 있음을 알 수 있다 [8].

4. 결론

본 논문에서는 저항성 다이폴의 설계이론에 대해서 설명하고, 이를 구현하기 위한 전통적인 방법과 장단점을 소개하였다. 전통적인 구현 방법의 단점을 극복하기 위하여 PCB 제작 공정을 사용한 제작 방법을 소개하였다. 이를 위해서는 필요한 저항 프로파일의 이산화 방법에 대해서 설명하였다.

PCB 제작 공정에 사용될 구조를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 저항의 개수는 3 또는 4개로 충분할 것으로 보이나 4개가 사용될 경우 약 8GHz까지 사용될 수 있을 것으로 보인다.

특성 임피던스가 200 Ω 인 급전선에 펄스가 인가될 경우 안테나로부터 반사되는 파형과 안테나로부터 복사되는 파형을 시영역에서 도시하였다. 안테나는 초광대역 펄스를 적은 왜곡으로 복사할 수 있다는 것을 보였다. 따라서 본 안테나는 초광대역에서 마이크로웨이브 센서로서 잘 동작할 것을 알 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 광주과학기술원 의료시스템공학연구소 (iMSE)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] C. E. Baum, E. G. Farr, and D. V. Giri, "Review of impulse-radiating antennas," *Review of Radio Science 1996-1999*, W. R. Stone, Ed., Oxford University Press, 1999, ch. 16, pp. 403-439.
- [2] K. Kim and W. R. Scott, Jr., "Numerical Analysis of the impulse-radiating antenna," *Sensor and Simulation Notes #474*, C. E. Baum, Ed., Air Force Research Laboratory, June 2003.
- [3] C. E. Baum, "Low-frequency-compensated TEM horn," *Sensor and Simulation Notes #377*, C. E. Baum, Ed., Air Force Research Laboratory, Jan. 1995.

- [4] T. T. Wu and R. W. P. King, "The cylindrical antenna with nonreflecting resistive loading," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 13, no. 3, pp. 369-373, May 1965. Correction: vol. 13, no. 6, p. 998, 1965.
- [5] K. Kim and W. R. Scott, Jr., "Design and realization of a discretely-loaded resistive vee dipole for ground-penetrating radars," *Radio Science*, vol. 39, July 2004.
- [6] T. P. Montoya and G. S. Smith, "A study of pulse radiation from several broad-band loaded monopoles," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 8, Aug. 1996.
- [7] K. P. Esselle & S. S. Stuchly, "Pulse-receiving characteristics of resistively loaded dipole antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 38, no. 10, Oct. 1990.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., 2005.