

원통형 미사일의 고출력 마이크로웨이브 신호 특성 분석

임 중수

백석대학교 정보통신학부/ RDRC 센터
jslim@bu.ac.kr

An Analysis of HPM Characteristics for Cylindrical Structure

J. S. Lim

Dept. of Information and Communication, Baekseok University
/ RDRC Center

요 약

본 연구에서는 미사일의 내부 잡음특성을 모델로 연구하였으며 실린더의 크기에 따른 효과도의 차이를 분석하였다. 미사일 구조물의 길이와 반경을 바꾸며 실린더 내부의 전계강도를 측정하고 후방 도어의 크기보다도 전체 원형 구조의 크기에 주도되는 것을 확인하였다.

1. 서론

HPM에서 방사되는 전자파 에너지는 미사일의 전면도어와 후면도어커플링 경로를 통하여 목표 내부의 전자 시스템에 진입한다. 전면도어 커플링은 수신 안테나를 통하여 마이크로파 에너지를 수신하고, 그 후에 연결용 전송선을 거쳐서 마이크로파 출력을 수신기 등 내부 회로로 전송하는 것을 말하며, 후면도어 커플링은 창문이나 날개가 움직이기 위해서 만든 슬릿 등의 전파가 침입할 수 있는 공간을 통하여 시스템 내부에 에너지를 커플링하는 것을 말한다.

미사일의 경우 후면도어(back door)에 가장 큰 영향을 미치는 것은 날개 운동을 위한 슬릿이며 이외에도 표면의 접합틈, 균열, 미차폐 혹은 차폐가 불량한 도선 등이 있다. 일반적인 상황 하에서, 만약 입사된 마이크로파 출력 밀도가 S일 경우, 내부 회로에 커플링되는 출력 P는 커플링 단면에 정비례, 즉 $P=So$ 가 된다. 전면도어 커플링 경로에 대하여는 일반적으로 o 는 수신안테나의 유효 구경 면적과 같다.

2. 미사일 모델링

미사일 모델링은 그림1과 같이 미사일이 전자파 간섭에 영향을 크게 받는 부분을 중점적으로 고려하여 구성하였다. 미사일은 크게 전면 도어(front-door)와 안테나 등으로 구성되어 있고 외부를 레이돔으로 덮는 전단부, 미사일의 제어장치와 추진장치 등이 내장되어 있고 날개가 부착되는 몸통부, 후면 도어(back-door)가 만들어 지는 날개부로 구성하였다.

또한 미사일 표면의 재질은 몸통부는 도체로 구성되나 전단부는 front-door 가 있는 점과 레이돔이 사용되는 경우를 고려해서 도체와 유전체를 선택할 수 있도록 모델링 하였다. 또한 미사일의 몸통 뒷면도 구조가 다소 복잡하므로 도체 또는 유전체로 선택할 수 있도록 되어 있다. 따라서 미사일 모형시에는 각부분의 치수와 재질을 선택할 수 있도록 되어 있다.

좀 더 정확한 모델링을 위해서는 미사일의 크기와 센서의 종류에 따라서 미사일의 외형적인 크기와 날개의 갯수를 실물과 같게 하고, front-door의 크기

및 위치를 실물과 같이 모사하면 더욱 정확한 전자파 특성을 구할 수 있다.

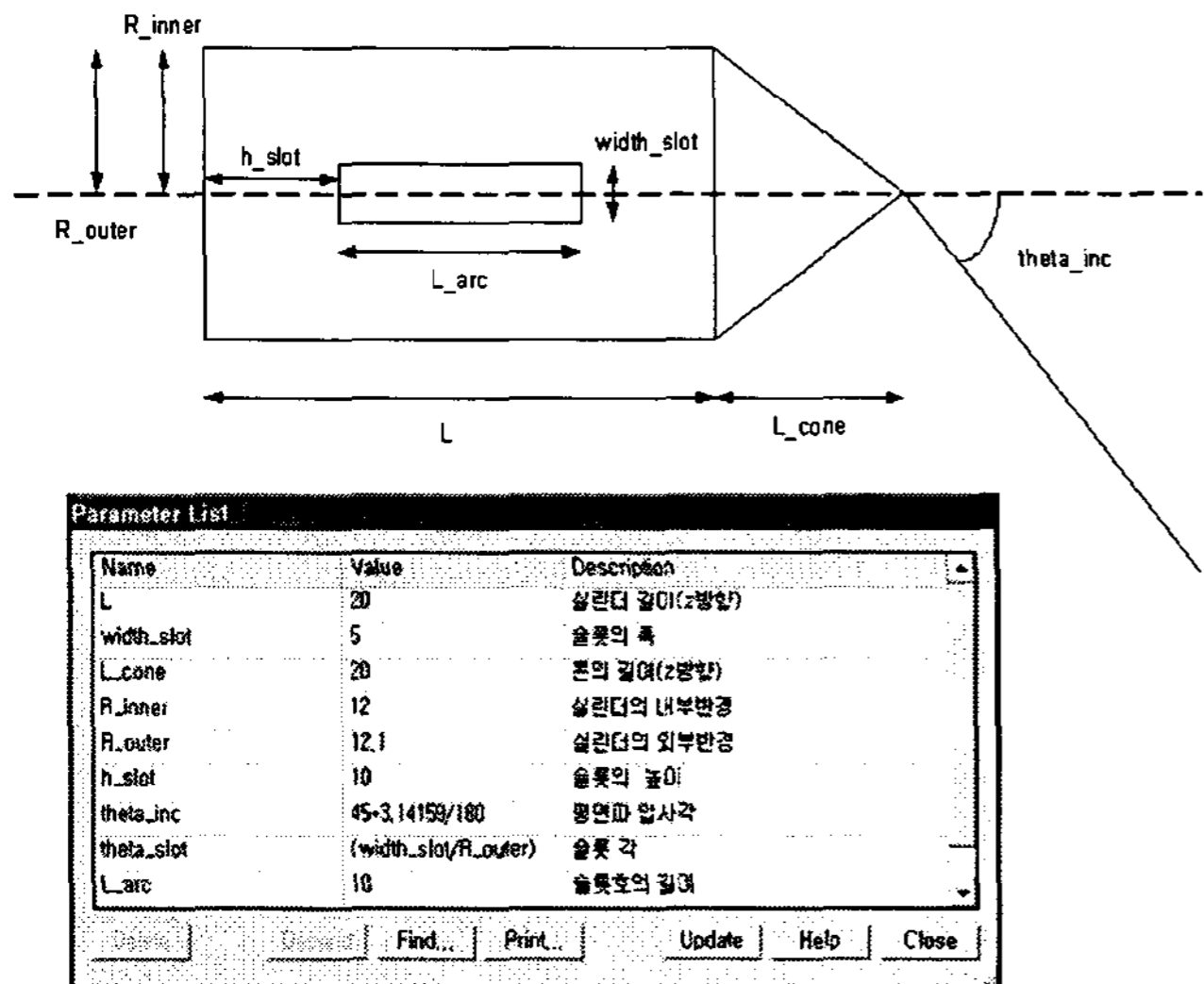


그림 1. 미사일 모델링

평면파의 입사각은 그림 1 과 같이 미사일의 길이 방향을 z 축이라고 할 때 z축의 법선 방향 즉 xy 평면과 입사평면파의 기울어진 각도 차로 정의 했으며, 입사각의 변화에 따른 영향을 모의한다. 또한 도래전파는 수직 편파를 기준으로 하였고 측정 센서의 방향은 y축 방향으로 설정했다.

그림 2에 미사일의 전체 길이가 l=40 cm, 몸통의 외부 반지름이 a=12 cm 인 경우 입사각이 20 도로 접근하는 전자파 모형이다.

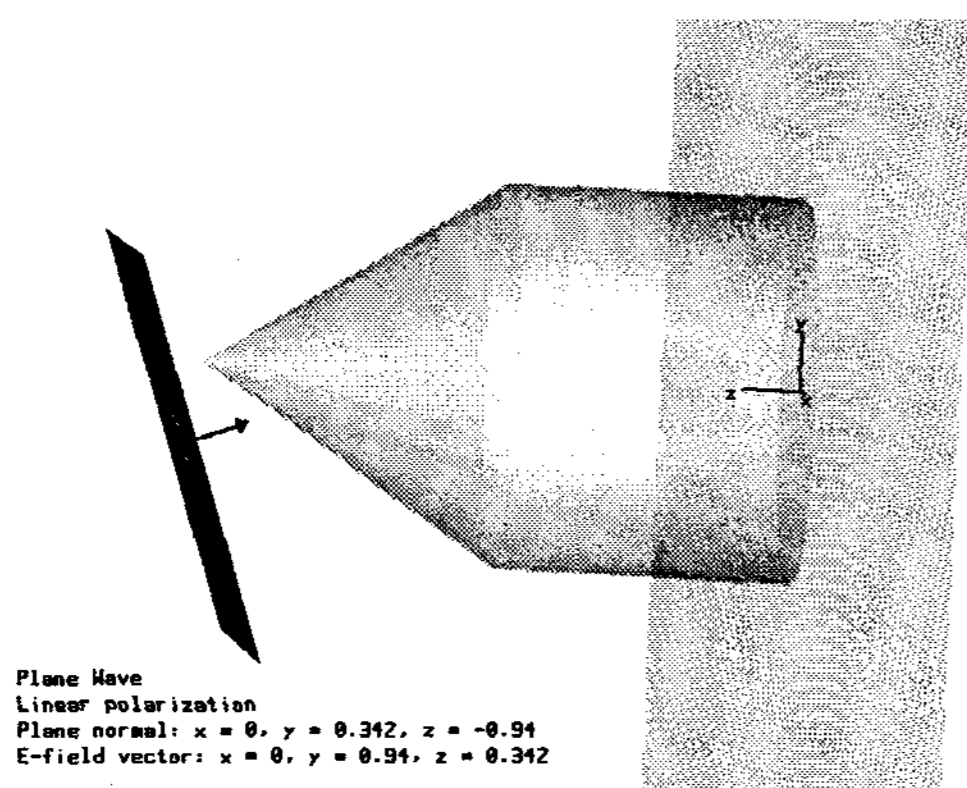


그림 2. 입사각 도래 방향 모델링

3. 원통형 공진기 공진주파수 분석

원형공동공진기는 양쪽 끝이 금속벽으로 막힌 원형도파관이다. 원형공진기의 파동함수는 Maxwell 방정식을 만족해야 하고, 구형공동공진기에서와 동일

한 경계조건을 따라야 한다. z방향의 고조파함수가 나머지 두 끝 벽면에서 경계조건을 만족하도록 선정 하는 것이 필요하다. 이는 다음과 같은 경우 만족될 수 있다.

$$H_z = H_{0z} J_n \left(\frac{X'_{np}}{a} \right) \cos(n\Phi) \sin \left(\frac{q\pi z}{d} \right) \quad (TE_{npq})$$

여기서, n=0,1,2,3, ...는 Φ 방향의 주기 수,

p=1,2,3,4,..는 r 방향에서 필드가 0이 되는 수

q=1,2,3,4, ...는 축 방향에서의 반파장 수

J_n = 제 1종 Bessell 함수

H_{0z} = 자계의 진폭

그리고

$$E_z = E_{0z} J_n \left(\frac{X_{np}}{a} \right) \cos(n\Phi) \cos \left(\frac{q\pi z}{d} \right) \quad (TM_{npq})$$

여기서 n=0,1,2,3, ...

p=1,2,3,4, ...

q=1,2,3,4, ...

E_{0z} = 전계의 진폭

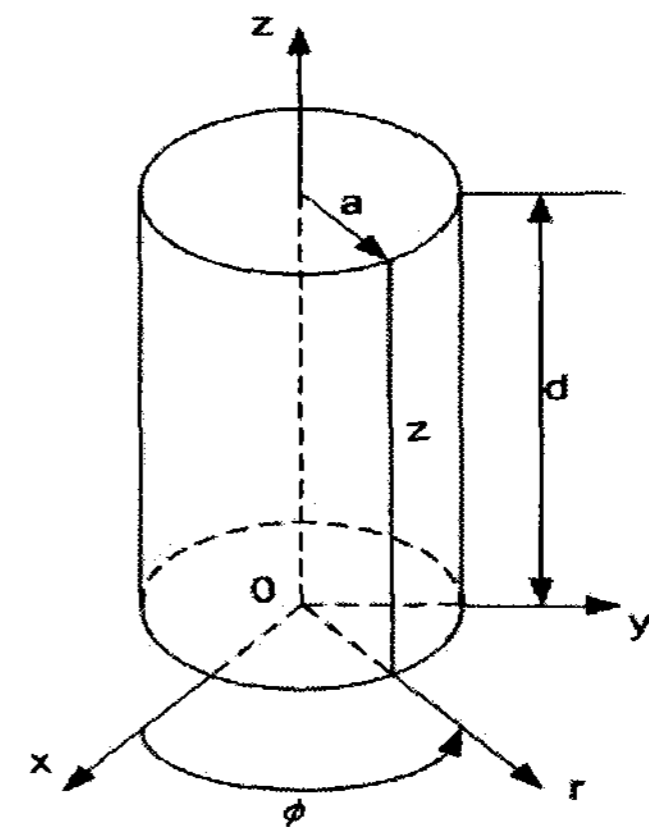


그림 3. 원형 공진기의 좌표계

TE 및 TM 모드의 분리방정식은 다음과 같다.

$$k^2 = \left(\frac{X'_{np}}{a} \right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d} \right)^2 \quad (TE_{mode}) \quad (1)$$

$$k^2 = \left(\frac{X_{np}}{a} \right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d} \right)^2 \quad (TM_{mode}) \quad (2)$$

식 (1) 및 (2)에 $k^2 = \omega^2 \mu \epsilon$ 을 대입하면 TE 및 TM 모드의 공진 주파수는 각각 다음과 같다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{X'_{np}}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d}\right)^2} \quad (TE) \quad (3)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{X_{np}}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{d}\right)^2} \quad (TM) \quad (4)$$

특히 $2a > d$ 인 경우 TM_{110} 모드가 기본모드가 되고, $d > 2a$ 인 경우는 TE_{111} 모드가 기본모드가 된다.

4. 미사일 길이와 반경에 따른 모사 및 분석

실린더의 전단부와 후면을 개방하고, 실린더 몸체를 도체로하고 입사파가 45도로 도래될 경우의 미사일의 길이가 50cm, 미사일 반경이 12 cm, 7 cm, 17 cm인 경우 공진주파수 및 전계의 세기를 모사하였다.

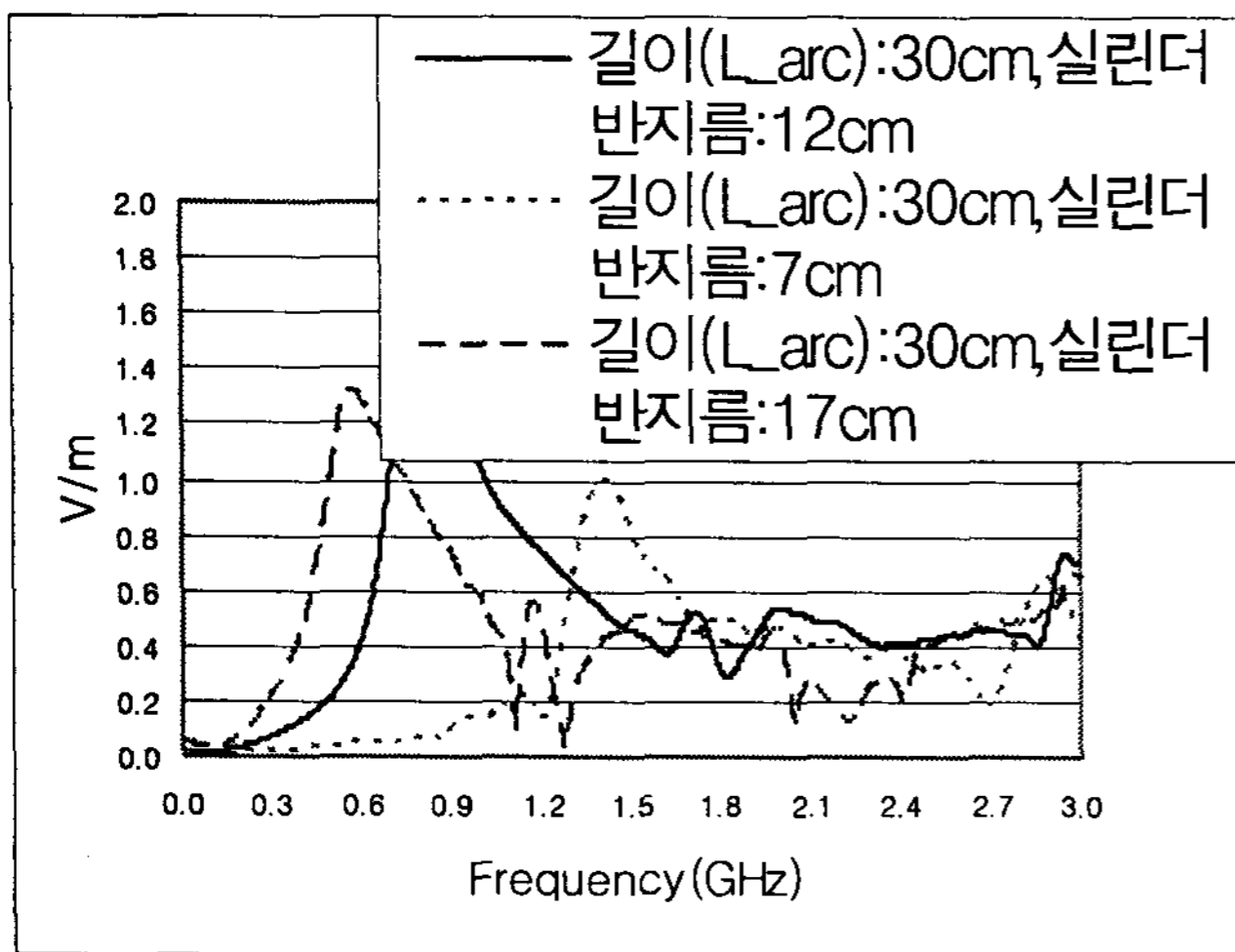


그림 4. 반지름 변화에 따른 공진주파수 비교

그림 3의 원통형 공진기에서 $d > 2a$ 이면 TE_{111} 가 기본모드이며 공진 주파수는 식(3)을 이용하여 구할 수 있다. 또한 $2a > d$ 이면 TM_{110} 이 기본모드가 공진 주파수는 식(4)를 이용하여 구할 수 있다.

미사일의 전단부와 뒷면을 도체대신에 공기로 채우면 미사일의 몸체는 원통형실린더와 유사하다. 미사일의 몸체를 원통형 실린더라고 가정하고 계산한 공진 주파수와 측정된 공진주파수는 표 1과 같다.

표 1. 미사일의 직경과 길이에 따른 공진 주파수

a	L	계산 값	측정값	비고
$a = 0.12m$	$L = 0.3m$	887MHz	787MHz	TE_{111}
$a = 0.07m$	$L = 0.3m$	1,350MHz	1,4.3MHz	TE_{111}
$a = 0.17m$	$L = 0.3m$	500MHz	558MHz	TE_{111}
$a = 0.17m$	$L = 0.3m$	1.07GHz	1100MHz	TM_{110} (기본모드)
		675MHz	700MHz	TM_{010} (부 모드)

5. 결 론

본 연구에서는 미사일의 내부 잡음특성을 모델로 연구하였으며 창의 위치에 따른 효과도의 차이를 분석하였다. 미사일 구조물의 길이와 반경을 바꾸며 실린더 내부의 전계강도를 측정된 결과 후방 도어의 크기보다도 전체 원형 구조의 크기에 주도되는 것을 확인하였다. 따라서 앞으로 진행되는 모사는 다양한 모델의 구조물 특성을 분석하여 최종 영향이 있는 주파수를 식별할 것이다.

참고문헌

- [1] D. M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley Publishing Co. 1990.
- [2] Fillippo Neri, Introduction to Electronic Defense Systems, Artech House, 1991.
- [3] D. C. Schleher, Electronic Warfare In the Information Age, Artech House, 1999.
- [4] M. I. Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, Inc., 1980.
- [5] F. T. Ulaby, Applied Electromagnetics, Prentice Hall, 1999