

## 근접한 IFA 사이의 신호결합에 대한 FDTD 해석

지기만\*, 이수진\*\*, 정의승\*\*\*

### FDTD Analysis of the Mutual Coupling Between Closely Placed IFAs

Ki-Man Ji\*, Soo-Jin Lee\*\*, Eui-Seung Chung\*

#### Abstract

Because of space limitations, interferences between antennas of the KSLV-I communication systems occur and their effects become worse during all sorts of tests such as the flight test using a light plane. In this paper, coupled signal magnitude is calculated using the FDTD method. The theory of the FDTD, absorbing boundary condition, source input technique, and post processing of data are explained. The calculated coupling factor between two IFAs, which have 2 GHz resonance frequency and placed 5 cm apart, is -12.7 dB. Applied coupling calculation method can be effectively used for KSLV-I performance analysis, subsystem design, antenna arrangement, and communication link budget for the next space launch vehicle.

#### 초 록

KSLV-I 통신 시스템에 사용되는 안테나는 장착 위치가 제한되어 있어 안테나 상호간의 간섭현상이 발생하며 경항공기를 이용한 비행시험 등 각종 시험에서 이러한 간섭 현상의 영향은 더욱 증가한다. 본 논문에서는 FDTD 해석기법을 사용하여 인접한 안테나 사이의 결합량을 계산하였다. 결합량 계산을 위하여 사용된 FDTD 해석 기법에 대한 이론과 흡수경계조건, 전압인가 방법, 결과 데이터 처리 기법을 설명하였다. 이격 거리가 5 cm이고 공진주파수가 2 GHz인 IFA 사이의 결합량은 -12.7 dB로 계산되었다. 본 논문에서 소개된 결합량 계산 방법은 KSLV-I의 시스템 성능을 분석하거나 향후 발사체의 설계에 있어서 하부 시스템의 설계, 안테나 배치, 통신 링크 계산에 유용하게 사용될 수 있다.

키워드 : 안테나(antenna), 전자기장(electromagnetic field), 유한차분 시간영역법(FDTD), 흡수경계조건(ABC), 통신링크(communication link), 완전정합층(PML)

---

접수일(2009년12월21일), 수정일(1차 : 2010년 5월 19일, 2차 : 2010년 6월 15일, 게재 확정일 : 2010년 7월 1일)

\* 체계종합팀/kmjee@kari.re.kr    \*\* 체계종합팀/sjlee@kari.re.kr    \*\*\* 체계종합팀/ces@kari.re.kr

## 1. 서론

소형우주발사체 KSLV-I 상단부의 전자장비 탑재 구조체 외부면에는 텔레메트리, 원격추적, GPS, 비행종단 시스템의 안테나가 두 개 또는 세 개씩 장착된다. 발사체의 표면에 안테나를 부착할 수 있는 위치는 제한되어 있기 때문에 각 안테나들은 서로 인접되어 부착된다. 그림 1-1은 KSLV-I 상단부의 안테나 배치 형상을 보여준다.

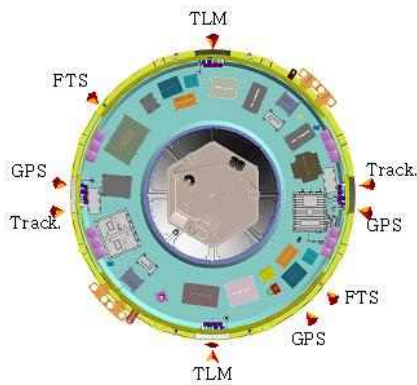


그림 1-1. KSLV-I 상단부의 안테나 배치

또한 상단부 전자장비들과 지상장비의 성능을 검증하기 위해 수행되는 경비행기를 이용한 비행시험은 각 안테나들이 더욱 근접하여 장착된 상태로 수행된다. 고출력의 RF 신호가 방사되는 송신기의 출력은 주위에 위치한 송신기나 다른 장비에 전자파간섭을 발생시킬 수 있으며 심할 경우 장비의 손상을 초래할 수도 있다. 그림 1-2와 1-3은 비행시험에 사용된 경비행기와 경비행기에 장착된 안테나 배열판의 사진이다.

따라서 각 하부시스템의 안테나 사이에 발생하는 간섭현상을 분석하는 연구가 요구된다. 본 논문에서는 시간영역 유한차분법을 이용하여 근접한 안테나 사이에 발생하는 간섭량을 계산하였다. 수행된 계산 방법은 계산량을 줄일 수 있는 서브그리딩(subgridding) 방법을 적용하면 우주발사체의 안테나 방사패턴을 해석하는데 이용될

수 있으며, 향후 우주발사체의 시스템 설계 과정에서 안테나의 배치 방법과 각 하부시스템의 성능 요구조건을 결정하는데 효과적으로 사용될 수 있다[1-3].



그림 1-2. 비행시험에 사용된 경비행기

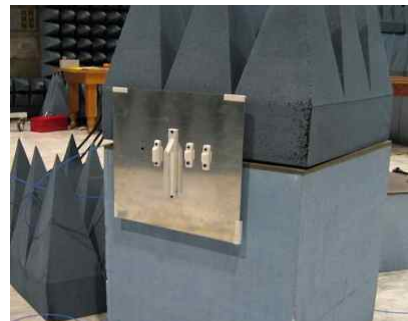


그림 1-3. 비행시험에 사용된 안테나 배열

## 2. 시간영역 유한차분법

### 2.1 FDTD 개요

시간영역 유한차분법 (FDTD : Finite Difference Time Domain)은 널리 사용되고 있는 전자계 해석기법으로서 이해하기 쉽고 소프트웨어적으로 구현하기도 쉽다. FDTD는 시간영역 기법이기 때문에 한 번의 시뮬레이션으로 광대역의 주파수 특성을 해석할 수 있다. FDTD 해석 기법은 수학

적 해석 기법 중에서 차분 시간영역 기법에 속하며 맥스웰 방정식은 중심차분법(central-difference equation), 이산화(discrete), 그리고 소프트웨어 코드로 쉽게 다뤄질 수 있는데 방정식은 립프록(leap-frog) 방법으로 계산된다. 즉, 임의의 시간에 전계장이 해석되고 다음 시간에 자계장이 순차적이며 반복적으로 해석된다[4].

미분형 맥스웰 방정식의 경우 전계장의 도함수는 자계장의 컬(Curl)에 종속되는데 이것은 전계의 변화는 공간에서 자계의 변화에 종속된다고 간단히 말할 수 있다. 이 원리로부터 공간상에 위치한 한 점에서의 전계는 과거 시간의 전계와 주변의 과거 시간의 자계의 변화에 의해 결정된다는 기본적인 FDTD 방정식을 도출할 수 있으며 자계도 같은 방법으로 구할 수 있다. 새로운 자계는 과거시간의 자계값과 주변의 전계의 변화값으로부터 구해질 수 있다. 이러한 원리는 1차원, 2차원, 3차원 FDTD 기법에 모두 적용되며 차원이 늘어날수록 공간상의 적합한 값을 고려하여야 한다.

FDTD 기법을 사용하기 위해서는 계산영역을 한정할 필요가 있는데 계산영역은 시뮬레이션이 수행되는 공간영역을 의미한다[5, 6]. 계산영역 내부의 모든 점에서 전계와 자계가 결정되며 각 셀에서의 매질이 정의되어야 한다. 일반적으로 매질은 유전율, 투자율, 전도율 등이 정의되는 공기(free space), 금속, 유전체 등이 사용될 수 있다[7].

계산영역과 격자, 매질이 결정되면 입력 소스가 정의된다. 소스는 평면파 입사, 도선상의 전류, 금속면 사이의 전압으로 모델의 상황에 맞게 결정된다. 계산과정에서 전계와 자계가 직접 계산되기 때문에 시뮬레이션의 출력은 일반적으로 각 점이나 계산영역 내부의 점들의 행렬에 대한 전계와 자계의 값이다.

## 2.2 FDTD의 흐름도

해석하고자 하는 대상에 FDTD를 적용하여 프로그래밍 하기 위해서는 먼저 구조적으로 격자화하고, 각 위치에서의 매질을 결정하고, 계산 시간

간격 등의 초기 조건을 결정하여야 한다. 그 후 각 위치에서의 자계를 계산하고 계산된 결과를 사용하여 전계를 계산한다. 다음으로는 경계조건을 적용하고 전원을 인가하는 과정을 일정 시간 동안 반복하여 수행한다. 그림 2-1은 본 논문에서 수행한 FDTD 해석의 계산 순서 흐름도를 나타낸다.

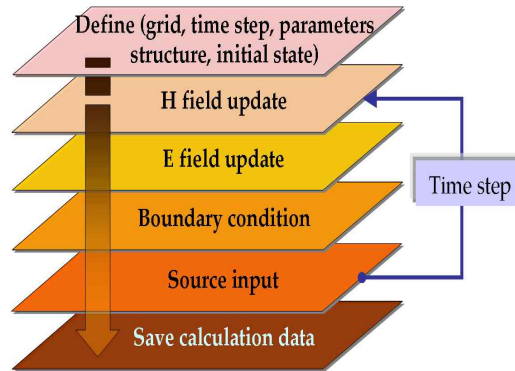


그림 2-1. FDTD 흐름도

## 3. 안테나 간섭량 해석

### 3.1 Yee cell

전자계영역을 정의하는 미분형 맥스웰방정식과 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times E - \frac{\sigma^*}{\mu} H \quad (1)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{1}{\epsilon} \nabla \times H - \frac{\sigma}{\epsilon} E \quad (2)$$

$$\nabla \cdot D = \rho_s \quad (3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (4)$$

여기서  $E$ 는 전계강도,  $H$ 는 자계강도,  $D$ 는 전속밀도,  $B$ 는 자속밀도,  $\epsilon$ 는 유전율,  $\mu$ 는 투자율,  $\sigma$ 는 전기 도전율,  $\sigma^*$ 는 자기 도전율을 나타낸다.

위 식의 curl 방정식을 3차원 직각좌표계에서 풀어서 다시 쓰면 아래 식과 같이 여섯 개의 스칼라 방정식을 구할 수 있다[8-10].

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} - \sigma^* H_x \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} - \sigma^* H_y \right) \quad (6)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} - \sigma^* H_z \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \sigma E_x \right) \quad (8)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - \sigma E_y \right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \sigma E_z \right) \quad (10)$$

이 여섯 개의 편미분 방정식은 FDTD 수치 해석 알고리즘의 기초가 된다. 이러한 미분형 맥스웰방정식의 공간미분과 시간미분에 대한 유한차분근사를 위해 Yee 알고리즘이 사용된다[4]. 그림 3-1은 Yee에 의해 제안된 Yee cell로서 공간상에서 전계와 자계의 관계를 보여주고 있다.

### 3.2 FDTD의 수학적 표현

시간과 공간에 대한 이산화 공식은 Yee에 의해 제안된 수식 표현법에 따라 다음과 같이 표현할 수 있다. 균일한 직육면체의 3차원 단위 격자 공간점은 식(11)과 같이 나타낸다.

$$(i, j, k) = (i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z) \quad (11)$$

여기서  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ 는 각각  $x$ ,  $y$ ,  $z$  방향의 격자 공간 증분을 나타내고  $i, j, k$ 는 정수이다. 공간과 시간의 함수  $u$ 는 식(12)로 나타낸다.

$$u(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z, n\Delta t) = u_{i,j,k}^n \quad (12)$$

여기서  $\Delta t$ 는 관측시간 동안 균일하다고 가정된 시간 증가분이고  $n$ 은 정수이다.

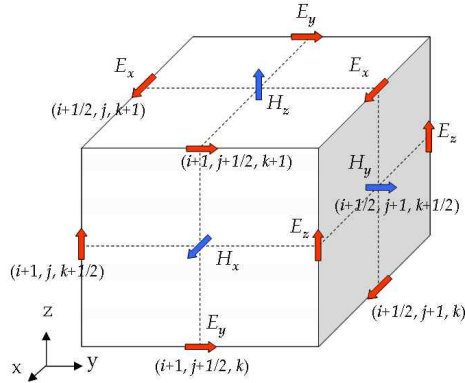


그림 3-1. Yee cell

미분형 맥스웰 방정식은 공간과 시간에 대한 일계 편미분식으로 되어 있기 때문에 위 식을 이용하여 프로그래밍 할 수 있는 FDTD 식으로 표시할 수 있다. 여섯 개의 유도된 FDTD 결과식 중에서  $H_x$ 와  $E_x$ 를 식 (13)과 (14)에 나타내었다. 다른 성분들도 이와 유사한 형태를 갖는다.

### 3.3 흡수경계조건

FDTD 법에서는 계산 영역 외부 경계의 취급이 중요하다. 계산 영역의 경계는 가상적인 반사면으로 작용하기 때문에 불필요한 반사가 계산 결과에 영향을 미칠 우려가 있다. 계산의 대상이 되는 물체가 파장과 비교해서 큰 경우, 또는 충분히 시간이 경과한 후의 전자계가 문제가 되는 경우에는 경계의 영향을 피하기 위하여 충분히 큰 계산 영역을 취급해야 할 필요가 있다. 그러나 컴퓨터가 무한한 데이터의 양을 처리할 수는 없다. 따라서 개방 구조에서의 산란 문제를 FDTD법을 이용하여 해석하기 위해서는 계산 영역을 산란체를 포함하는 적절한 경계조건을 만족하는 유한한 범위로 한정해야 한다.

흡수경계조건에는 Mur의 흡수경계조건과

Berenger의 완전정합층(perfectly matched layer) 등이 있다[11]. 성능이 우수한 완전정합층 기법은 흡수경계지역에서 전계와 자계 필드의 성분을 분리하고, 각각 분리된 필드 성분에 손실을 주어 파를 흡수하는 것처럼 모델링한다.

$$H_{x\ i,j,k}^{n+1/2} = \left( \frac{1 - \frac{\sigma_{i,j,k}^* \Delta t}{2\mu_{i,j,k}}}{1 + \frac{\sigma_{i,j,k}^* \Delta t}{2\mu_{i,j,k}}} \right) H_{x\ i,j,k}^{n-1/2} + \left( \frac{\Delta t}{1 + \frac{\sigma_{i,j,k}^* \Delta t}{2\mu_{i,j,k}}} \right) \cdot \left( \frac{(E_{y\ i,j,k+1/2}^n - E_{y\ i,j,k-1/2}^n) / \Delta z}{-(E_{z\ i,j,k+1/2}^n - E_{z\ i,j,k-1/2}^n) / \Delta y} \right) \quad (13)$$

$$E_{x\ i,j,k}^{n+1} = \left( \frac{1 - \frac{\sigma_{i,j,k} \Delta t}{2\epsilon_{i,j,k}}}{1 + \frac{\sigma_{i,j,k} \Delta t}{2\epsilon_{i,j,k}}} \right) E_{x\ i,j,k}^n + \left( \frac{\Delta t}{1 + \frac{\sigma_{i,j,k} \Delta t}{2\epsilon_{i,j,k}}} \right) \cdot \left( \frac{(H_{y\ i,j+1/2,k}^{n+1/2} - H_{y\ i,j-1/2,k}^{n+1/2}) / \Delta y}{(H_{z\ i,j,k+1/2}^{n+1/2} - H_{z\ i,j,k-1/2}^{n+1/2}) / \Delta z} \right) \quad (14)$$

3차원 구조에서 6개의 필드 성분을 분리하면 다음과 같은 12개의 변형된 맥스웰 방정식을 얻을 수 있다.

$$\mu_0 \frac{\partial H_{xy}}{\partial t} + \sigma_y^* H_{xy} = - \frac{\partial (E_{zx} + E_{zy})}{\partial y} \quad (15)$$

$$\mu_0 \frac{\partial H_{xz}}{\partial t} + \sigma_z^* H_{xz} = \frac{\partial (E_{yx} + E_{yz})}{\partial z} \quad (16)$$

$$\mu_0 \frac{\partial H_{yz}}{\partial t} + \sigma_z^* H_{yz} = - \frac{\partial (E_{xy} + E_{xz})}{\partial z} \quad (17)$$

$$\mu_0 \frac{\partial H_{yx}}{\partial t} + \sigma_x^* H_{yx} = \frac{\partial (E_{zx} + E_{zy})}{\partial x} \quad (18)$$

$$\mu_0 \frac{\partial H_{zx}}{\partial t} + \sigma_x^* H_{zx} = - \frac{\partial (E_{yx} + E_{yz})}{\partial x} \quad (19)$$

$$\mu_0 \frac{\partial H_{zy}}{\partial t} + \sigma_y^* H_{zy} = \frac{\partial (E_{xy} + E_{xz})}{\partial y} \quad (20)$$

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_{xy}}{\partial t} + \sigma_y E_{xy} = \frac{\partial (H_{zx} + H_{zy})}{\partial y} \quad (21)$$

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_{xz}}{\partial t} + \sigma_z E_{xz} = - \frac{\partial (H_{yx} + H_{yz})}{\partial z} \quad (22)$$

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_{yz}}{\partial t} + \sigma_z E_{yz} = \frac{\partial (H_{xy} + H_{xz})}{\partial z} \quad (23)$$

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_{yx}}{\partial t} + \sigma_x E_{yx} = - \frac{\partial (H_{zx} + H_{zy})}{\partial x} \quad (24)$$

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_{zx}}{\partial t} + \sigma_x E_{zx} = \frac{\partial (H_{yx} + H_{yz})}{\partial x} \quad (25)$$

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_{zy}}{\partial t} + \sigma_y E_{zy} = - \frac{\partial (H_{xy} + H_{xz})}{\partial y} \quad (26)$$

이상의 12개의 식을 FDTD 식으로 바꾸면 프로그래밍을 위한 식을 얻을 수 있다. 유도된 식 중에서  $H_{xy}$  와  $E_{xy}$ 를 식(27)과 (28)에 나타내었다.

$$H_{xy\ i,j,k}^{n+1/2} = \left( \frac{1 - \frac{\sigma_y(j) \Delta t}{2\mu_0}}{1 + \frac{\sigma_y(j) \Delta t}{2\mu_0}} \right) H_{xy\ i,j,k}^{n-1/2} - \left( \frac{\Delta t}{\mu_0 \left( 1 + \frac{\sigma_y(j) \Delta t}{2\mu_0} \right)} \right) \quad (27)$$

$$\cdot \left( \frac{(E_{zx\ i,j+1/2,k}^n + E_{zy\ i,j+1/2,k}^n) - (E_{zx\ i,j-1/2,k}^n + E_{zy\ i,j-1/2,k}^n)}{\Delta y} \right)$$

$$E_{xy\ i,j,k}^{n+1} = \left( \frac{1 - \frac{\sigma_y(j) \Delta t}{2\epsilon_0}}{1 + \frac{\sigma_y(j) \Delta t}{2\epsilon_0}} \right) E_{xy\ i,j,k}^n - \left( \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \left( 1 + \frac{\sigma_y(j) \Delta t}{2\epsilon_0} \right)} \right) \quad (28)$$

$$\cdot \left( \frac{(H_{yx\ i,j+1/2,k}^{n+1/2} + H_{yz\ i,j+1/2,k}^{n+1/2}) - (H_{yx\ i,j-1/2,k}^{n+1/2} + H_{yz\ i,j-1/2,k}^{n+1/2})}{\Delta y} \right)$$

해석 대상을 완전히 포함하고 있는 각 흡수경계영역에서는 입사된 전자파가 효과적으로 소멸될 수 있도록  $\sigma$  (전기 도전율)와  $\sigma^*$  (자기 도전율)의 값이 결정되어야 한다.

### 3.4 급전조건

해석 대상의 입력단에 급전하는 신호는 해석 대상의 구조, 해석하고자 하는 응답의 종류 등에 따라 다양한 급전신호를 사용할 수 있으며, 이들 급전신호는 해석하고자 하는 가장 높은 주파수

응답을 포함하는 광대역 주파수 스펙트럼을 가져야 한다. 많이 사용되는 입력 신호로는 가우시안 펄스, 가우시안 펄스와 사인함수의 곱, 사인함수 등이 사용된다.

계산되었다.

#### 4. 해석 결과

KSLV-I의 텔레메트리, FTS, 원격추적시스템에 사용되는 안테나는 IFA(Inverted-F Antenna)이다. IFA는 공력특성이 좋고 방사패턴도 발사체에 적합하다. 기본적인 IFA의 구조를 그림 4-1에 나타내었다. 안테나의 방사소자 높이는 11 mm 이고 길이는 32 mm 이다. FDTD 해석에서 안테나 구조를 격자화 한 단위셀의 크기는  $0.5 \text{ mm}$  ( $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.5 \text{ mm}$ )이고 시간 간격( $\Delta t$ )은  $8.3 \times 10^{-13} \text{ sec}$  이다.

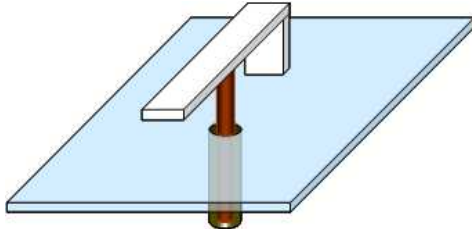


그림 4-1. 역F 안테나 구조

그림 4-1의 안테나에서 동축선은 실린더 구조로서 직각좌표계로 격자화 하기에 어려운 점이 있으나 동축선은 임피던스만 정합되면 안테나 특성에 크게 영향을 미치지 않으므로 동축선을 그림 4-2와 같이 변형하여 모델링하였다.

그림 4-2의 동축선에 대한 임피던스는 동축선에 그림 4-3의 가우시안 펄스를 인가하고 입사파가 어느 정도 진행한 지점에서 내부 동축선을 포함하는 자계를 계산하고 내외부 도체 사이의 전계를 계산하여 식(29)를 이용하여 구할 수 있다.

$$Z_0 = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} / \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} \quad (29)$$

내외부 도체의 직경이 각각 2 mm 와 5 mm 인 경우 동축선의 특성임피던스는 49.1  $\Omega$ 으로

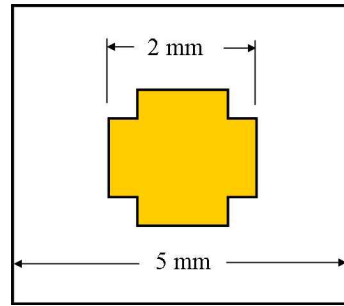


그림 4-2. 동축선 구조

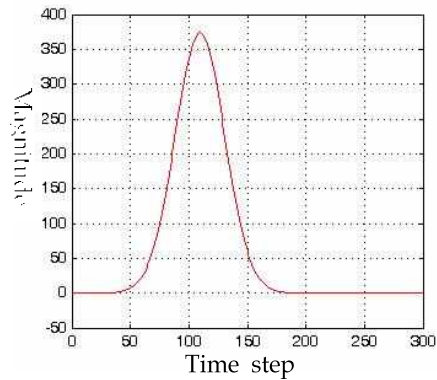


그림 4-3. 가우시안 펄스 입력

안테나의 공진주파수는 안테나의 반사손실을 구하여 찾을 수 있다. 안테나의 반사손실  $S_{11}(f)$ 는 주파수 함수로서 입력 단자에서의 반사전압  $V_{ref}(t)$ 와 입력전압  $V_{inc}(t)$ 를 Fourier 변환하여 식 (30)과 같이 구할 수 있다.

$$S_{11}(f) = \frac{FT[V_{ref}(t)]}{FT[V_{inc}(t)]} \quad (30)$$

그림 4-4는 안테나 입력 단자에 가우시안 펄스를 인가하고 반사된 신호를 시간축에서 검출한 결과이다.

입력신호인 가우시안 펄스와 반사전압의 푸리에 변환 결과를 이용하여 구한 안테나의 반사손

실이 그림 4-5에 나타나 있다. 계산 결과로부터 안테나의 공진주파수가 2 GHz 임을 알 수 있다.

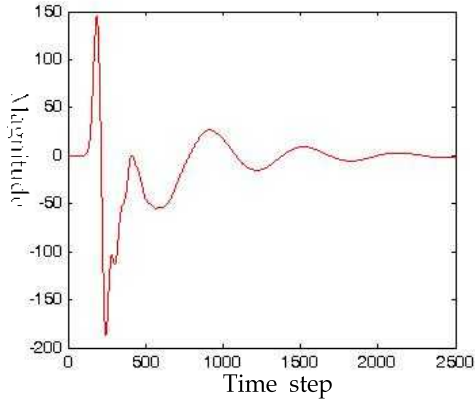


그림 4-4. 반사전압

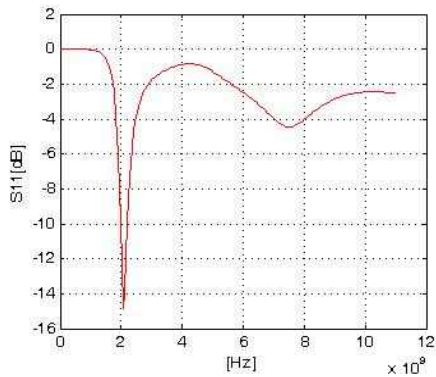


그림 4-5. 안테나의 반사손실

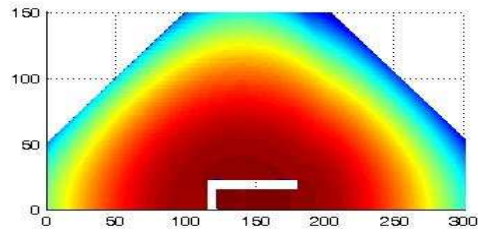
안테나에 가우시안 펄스를 인가하고 300, 500, 700 시간스텝에서의 계산된 전계분포를 그림 4-6에 나타내었다.

2 GHz에서 공진하는 IFA 두 개를 5 cm 이격시켜 위치시키고 두 안테나 사이의 간섭량을 계산하였다. 그림 4-7은 인접하여 장착된 안테나의 구조를 나타낸다.

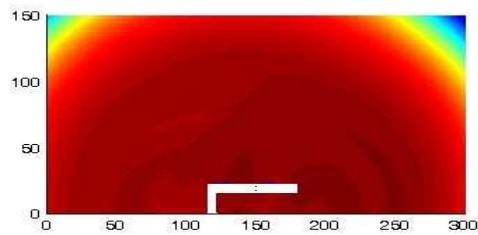
안테나의 간섭량을 해석하기 위해 송신안테나에 2 GHz 정현파를 인가하였는데 인가되는 신호의 갑작스런 변화를 줄이기 위해 초기 입력신

호는 작은 값에서 점차 커져 일정한 크기를 유지하는 형태를 취하였다.

● Time step = 300



● Time step = 500



● Time step = 700

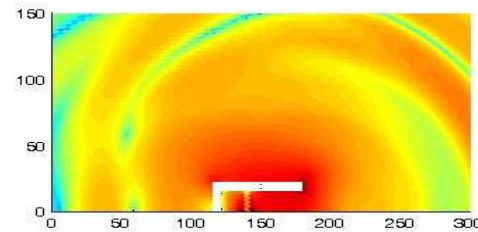


그림 4-6. 각 시간스텝에 대한 전계분포

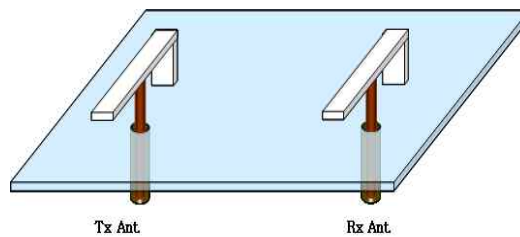
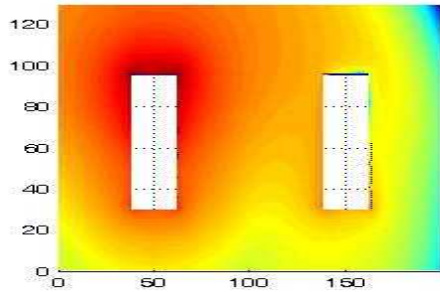


그림 4-7. 인접한 안테나의 구조



시간스텝 500과 2000에서 계산된 두 안테나 사이의 전계 분포를 그림 4-8에 나타내었다.

- Time step = 500



- Time step = 2000

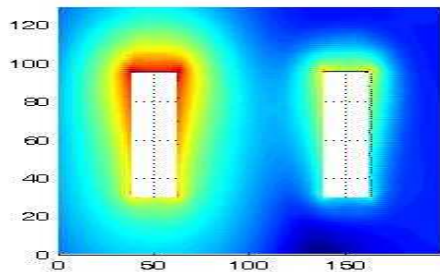


그림 4-8. 인접한 IFA 사이의 전계

그림 4-9는 점차로 크기가 커지다 일정한 크기로 수렴하는 입력 신호를 송신안테나의 동축선에 인가하고 소스 인가 지점에서 10 셀 떨어진 지점에서 검출된 진행 신호의 파형과 수신안테나의 동축선에서 검출된 신호의 파형이다. 검출된 진행 신호의 1000 타임스텝 부근에서 왜곡현상이 발생하는 것으로 보이는 것은 두 종류의 반사파 즉, 동축선에 인가된 신호가 진행하다가 안테나 부분에서 구조의 변화로 인해 생기는 반사파와, 소스 입력면에 인가된 신호에서 동축선 구조 안에서 진행모드와 부합하지 않는 성분이 반사되는 반사파가 인가 신호에 중첩되기 때문이다. 그림 4-10은 각 파형에 대한 푸리에 변환 결과이다. 시뮬레이션 결과로부터 두 안테나 사이에는 -13.9 dB의 결합이 발생함을 알 수 있다.

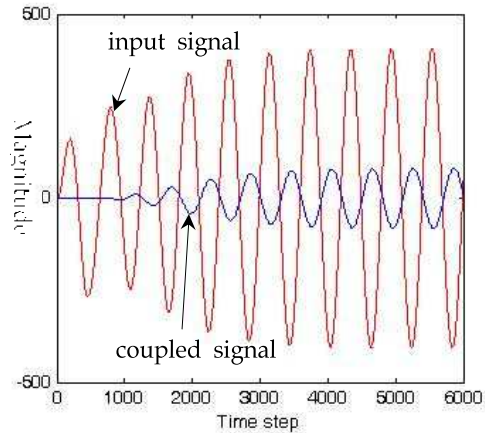


그림 4-9. 입력전압과 커플링된 전압

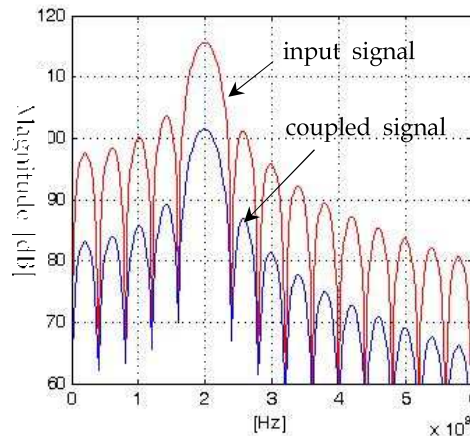


그림 4-10. 입력전압과 커플링된 전압의 푸리에 변환

그림 4-11은 KSLV-I에 사용된 실제적인 안테나와 구조가 유사하도록 접지면을 수정하여 나타낸 안테나의 구조이다.

접지면이 고려된 안테나의 단일 소자에 대한 반사손실 계산결과를 그림 4-12에 나타내었다. 기존의 구조와 비교하면 2 GHz에서 공진하는 것은 변화가 없지만 반사손실이 최고 -25 dB 이하로 떨어지는 것을 볼 때 임피던스 정합이 더 잘 된 것으로 판단된다.

그림 4-13은 송신안테나에 인가된 전압과 수신



안테나에 결합된 전압파형을 나타낸다. 시뮬레이션 결과로부터 두 안테나 사이에는 -12.7 dB의 결합이 발생함을 알 수 있다.

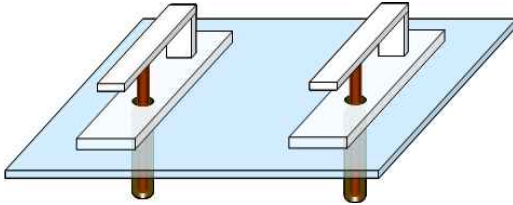


그림 4-11. 접지면이 고려된 안테나의 구조

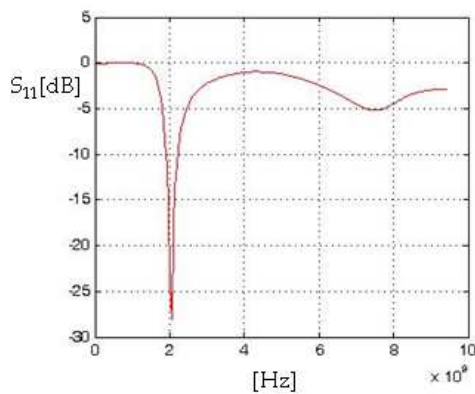


그림 4-12. 접지면이 고려된 안테나의 반사손실

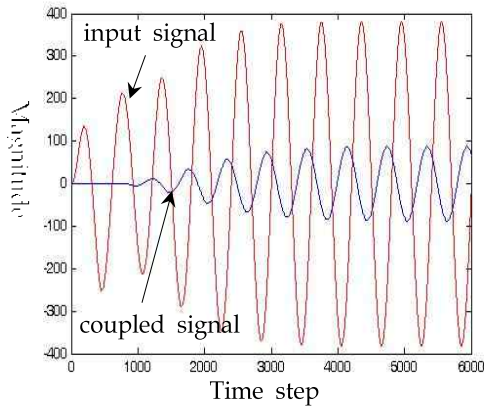


그림 4-13. 입력전압과 커플링된 전압

## 4. 결 론

KSLV-I에 장착되어 운용되는 통신 시스템으로는 텔레메트리, 원격추적, 비행종단, 비디오시스템이 있다. 각 송수신 시스템에 사용되는 안테나는 모두 IFA가 사용되며 지상국과 최적의 통신 환경을 유지하도록 배치되어 운용된다. 그러나 안테나의 장착 위치가 제한되어 있어 안테나 상호간의 간섭현상이 발생하며 항공기를 이용한 시험 등 각종 시험에서 이러한 간섭 현상의 영향은 더욱 증가한다. 본 논문에서는 FDTD 해석 기법에 대한 이론과 흡수경계조건, 전압인가 방법, 결과 데이터 처리 기법을 설명하였으며 FDTD 해석기법을 사용하여 인접한 안테나 사이의 결합량을 계산하였다.

이격 거리가 5 cm이고 공진주파수가 2 GHz인 IFA의 결합량은 안테나의 접지판이 실제 사용환경과 유사하게 모델링된 경우 -12.7 dB로 계산되었다. 본 논문에서 소개된 결합량 계산 방법은 KSLV-I의 시스템 성능을 분석하거나 향후 발사체의 설계에 있어서 하부시스템의 설계, 안테나 배치, 통신 링크 계산에 유용하게 사용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. C. M. Furse, S. P. Mathur, and O. P. Gandhi, "Improvements of the finite-difference time-domain method for calculating the radar cross section of a perfectly conducting target," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-38, pp. 919-927, July 1990.
2. K. Xiao, D.J. Pommerenke, and J. L. Drewniak, "A three-dimensional FDTD subgridding algorithm with separated temporal and spatial interfaces and related stability analysis", *IEEE Trans. Ant. Propag.* vol. 55, pp. 1981-1990, 2007.
3. J.-P. Bérenger, "Three Dimensional Huygens Subgridding for FDTD," *IEEE Int. Symp. Antennas. Propagat.*, 2009.

4. K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-17, pp. 585-589, 1996.
5. Z. S. Sacks, D. M. Kingsland, R. Lee, and J. F. Lee, "A perfectly matched anisotropic absorber for use as an absorbing boundary condition," *IEEE Trans. Anten. and Prop.*, vol.43, pp. 1460-1463, Dec. 1995.
6. D. M. Sullivan, "An unsplit step 3-D PML for use with the FDTD method," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 7, pp. 184-186, July 1997.
7. R. Luebbers, F. Hunsberger, K. Kunz, R. Standler, and M. Schneider, "A frequency-dependent finite-difference time-domain formulation for dispersive materials," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. EMC-32, pp. 222-227, Aug. 1990.
8. K. S. Kunz and R. J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, Boca Raton, FL, CRC Press, 1993.
9. A. Taflove, S. C. Hagness, *Computation Electrodynamics : The Finite-Difference Time-Domain Method*, 2nd Edition. Boston, MA : Artech House, 2000.
10. D. M. Sullivan, *Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method*. N.Y. : IEEE Press, 2000.
11. J. P. Berenger, "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves", *J. Comput. Phys.*, vol. 114, pp. 185-200, 1994.