THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2016 Mar.; 27(3), 229～238.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2016.27.3.229
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

격리도 향상을 통한 배열안테나의 성능개선 연구

Study on Improvement of the Array Antenna Performance by Isolation Enhancement

박 민 서 · 이 재 곤* · 이 정 해

Minseo Park · Jae-Gon Lee* · Jeong-Hae Lee

요 약

본 논문에서는 배열안테나의 성능개선의 한 방법으로 표면파제어를 통한 격리도 개선에 관한 연구를 진행하였다. 배열의 소자 간 격리도 개선을 위해 Perfect Magnetic Conductor(PMC)와 SOFT-표면을 도입하였으며, 접지면의 중앙부에 이들을 삽입하여 모의실험을 진행함으로써 격리도 변화와 성능개선 유무를 알아보았다. 모의실험 결과, E-plane 배열에서 PMC와 SOFT-표면 모두 최대 40 dB 이상의 격리도 향상과 더불어 최대 2.2 dBi 정도의 이득 개선을 확인하였으며, H-plane 배열의 경우, 표면파 전파를 통한 상호결합보다 공기 중의 field를 통한 상호결합이 보다 크게 작용하는 것을 확인하였다. 이 연구는 향후 소형 배열안테나 개발 및 배열안테나의 성능개선 등에 유용하게 사용될 것이다.

Abstract

In this paper, we have studied isolation enhancement using a suppression of surface wave to improve performance of array antenna. To reduce isolation between elements of array antenna, perfect magnetic conductor(PMC) and SOFT-surface is designed and located at center of ground plane, isolation and gain is simulated by commercial full wave simulator(HFSS). As a result, isolation of more than 40 dB and gain improvement of 2.2 dBi are obtained at E-plane array in case of both PMC and SOFT-surface. At H-plane array, air coupling is dominant compared to coupling by surface wave. It is conclude that this study is useful for design of compact array antenna and performance improvement of array antenna.

Key words: Array Antenna, Surface Wave, Isolation, Perfect Magnetic Conductor(PMC), SOFT-Surface

Ⅰ. 서 론

향후 10～15년은 모든 사물이 인터넷으로 연결되어 다양한 정보들의 분석, 가공을 통해 새로운 가치를 지는 제품과 서비스를 창출하는 Internet of Thing(IoT)[1] 시대가 올 것으로 예상되고 있다. 이를 위해서는 정보 수집을 위한 IoT sensor가 필요하며[1], 이를 동작시키기 위해서는 무선전력전송 시스템이 필요하다.

무선전력전송은 전송거리에 따라 전송방식을 구분하고 있으며, 자기유도, 자기공진, 그리고 RF 방식이 있다[2].

「이 연구는 민군기술협력사업으로부터 지원을 받아 수행된 연구임.」
「이 연구는 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A6A1A03031833).」
홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)
*홍익대학교 메타물질전자소자연구센터(Metamaterial Electronic Device Research Center, Hongik University)
· Manuscript received October 2, 2015 ; Revised December 1, 2015 ; Accepted February 12, 2016. (ID No. 20151002-17S)
· Corresponding Author: Jeong-Hae Lee (e-mail: jeonglee@hongik.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

고주파 대역을 활용하는 RF 무선전력전송 시스템은 무선으로 전력을 전송하는 것이 목적이기에 선형성, 잡음 등의 요소보다는 전송거리 및 공간손실, 수신부의 전력소모에 초점을 맞춰 설계해야 하며, 시스템 구성의 주요 요소로서 주파수와 전송거리, 안테나의 이득이 있다.

RF 무선전력전송에 적합한 고이득 송수신 안테나를 위해서는 안테나의 배열은 필수요소이며, 단일 안테나의 크기를 작게 가져갈수록 배열안테나의 물리적인 크기를 작게 가져갈 수 있다. 또한, IoT sensor의 원활한 정보 수집을 위해서는 빔 조향 기술 또한 반드시 필요하다. 배열안테나를 송수신 안테나로 활용하는 경우, 안테나간 급전 위상차의 조절만으로 손쉽게 빔 조향 시스템을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 조건들로 인해 최근 능동 위상 배열안테나에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

일반적으로 패치 안테나를 배열하는 경우, 단일 안테나의 표면파로 인한 안테나간 상호 결합에 의해 나타나는 격리도에 대한 문제는 안테나의 성능에 있어 큰 문제점중 하나로 지적된다[3]. 이러한 격리도에 대한 문제를 개선시키는 기본적인 방법은 안테나간 물리적인 거리를 증가시키는 방법이 있지만, 이러한 방법은 전체 시스템의 크기가 증가하게 되므로 적합하지 않다[3].

최근에는 마이크로스트립 배열안테나의 격리도 개선의 방법으로 표면파 제어에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[4]. 참고문헌 [4]에 따르면 Perfect Magnetic Conductor (PMC)와 SOFT-표면은 마이크로스트립 안테나의 표면파인 TM-wave의 전파를 억제할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 PMC와 SOFT-표면을 실제 배열안테나에 적용하여 표면파제어를 통한 격리도 및 성능 개선에 관한 연구를 진행하였다.

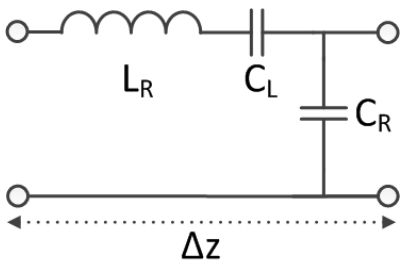
Mu-negative(MNG) 전송선로를 기반으로 하는 소형 안테나를 설계한 후 이들을 배열시켜 그 특성을 알아보았다. 그리고 배열의 단일소자 사이 즉, 접지면의 중앙부에 PMC와 SOFT-표면을 삽입하여 E-plane 배열과 H-plane 배열에서의 모의실험을 진행함으로써 변화하는 특성을 확인해 보았다. 모의실험에는 유한요소법(FEM: Finite Element Method)을 기반으로 하는 HFSS 시뮬레이터가 사용되었다.

Ⅱ. Mu-zero Resonance(MZR) 안테나

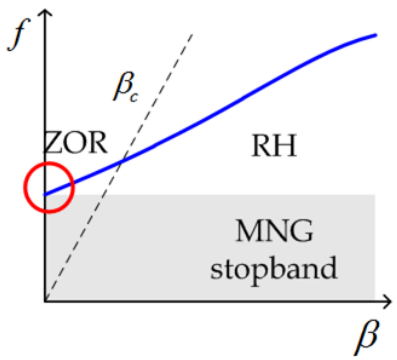
그림 1에 손실이 없는 인공적인 MNG 전송선로의 등가회로와 분산곡선을 나타내었다. MNG 전송선로는 기존의 전송선로에 인위적으로 직렬 캐패시터를 삽입함으로써 구현이 가능하다[5],[6]. 이 때 전송선로의 유전율과 투자율은 식 (1)과 같은 값으로 나타난다[5].

$$\mu_{MNG} = \frac{Z}{j\omega} = L_R - \frac{1}{\omega^2 C_L}, \quad \varepsilon_{MNG} = \frac{Y}{j\omega} = C_R \tag{1}$$

식 (1)에 의하면 MNG 전송선로는 0이 아닌 주파수에서 투자율이 0이 되므로 전파상수가 0인 특성을 가지게 되며 이 공진을 영차공진(ZOR: Zeroth-order Resonance)이라 한다. 영차공진은 무한파장을 지원하기 때문에 MNG 전송선로의 단위구조 사이의 위상이 in-phase인 특성을

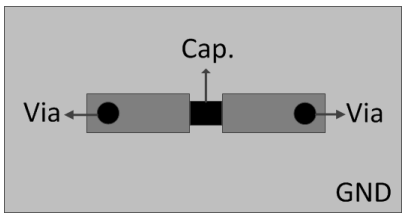


(a) MNG 전송선로의 등가회로
(a) Equivalent circuit model of the MNG transmission line

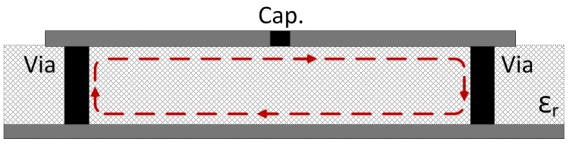


(b) MNG 전송선로의 분산 곡선
(b) Dispersion curve of the MNG transmission line

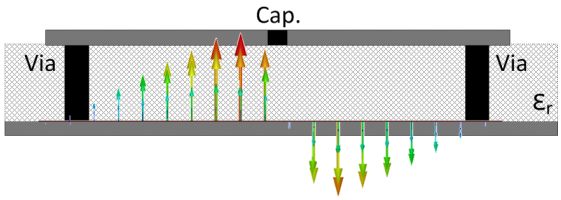
그림 1. MNG 전송선로의 등가회로 및 분산곡선.
Fig. 1. Equivalent circuit model and dispersion curve of the MNG transmission line.



(a) MZR 안테나의 단위구조
(a) The unit structure of the MZR antenna



(b) 전류분포
(b) Current distribution



(c) 전계분포
(c) E-field distribution

그림 2. MZR 안테나의 단위구조 및 전류, 전계분포
Fig. 2. The unit structure of the MZR antenna and current distribution, E-field distribution.

가지게 된다. 본 논문에서는 그림 1의 (b)와 같은 분산곡선을 갖는 MNG 전송선로를 안테나에 적용하였다.

그림 2에 MNG 전송선로를 이용한 Mu-Zero Resonance (MZR) 안테나의 단위구조를 나타내었다. MNG 전송선로의 구현을 위해 직렬 캐패시터를 삽입하였으며 안테나의 공진 모드는 식 (2)와 같이 나타난다[5]. 이때 N은 단위 셀의 개수, l은 안테나의 길이이다. 또한, 안테나의 양 끝에 via를 삽입하여 short-ended 경계조건을 적용하여 영차 공진을 형성하였다. 입력 임피던스는 식 (3)과 같이 나타나며[5], 직렬 공진으로 구성되므로 영차 공진 주파수는 식 (4)와 같다[6]. 식 (4)에 의하면 영차 공진 주파수는 L_R 값과 C_L 값에 의해 결정되기 때문에, 인터디지털의 직렬 캐패시터 혹은 칩 형태의 캐패시터를 이용하면 소형화가 가능하다.

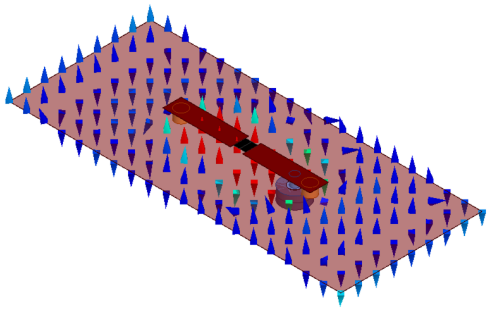
$$\beta_n d = \frac{n\pi d}{l} = \frac{n\pi}{N} \quad (MNG: n = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ N-1) \tag{2}$$

$$Z_{in} = jZ_0 \tan \beta d^{\beta \to 0} = jZ_0 \beta d = j\sqrt{\frac{Z}{Y}}\left(-\sqrt{ZY}\right)N$$

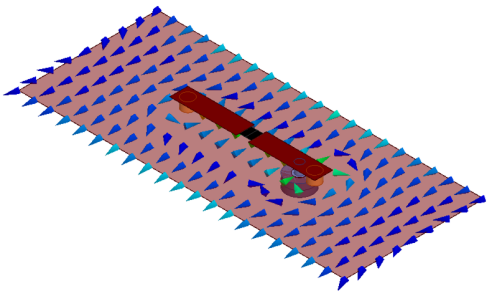
$$= NZ = j\omega N L_R + \frac{N}{j\omega C_L} \tag{3}$$

$$\omega_{ZOR} = \omega_{\mu=0} = \frac{1}{\sqrt{L_R C_L}} \tag{4}$$

그림 2의 (b)와 같이 나타나는 MZR 안테나의 전류분포는 일반 패치 안테나와 같은 특성이다. 또한, (c)와 같이 나타나는 전계분포 역시 패치 안테나와 유사한 특성을 보이는데, 다만 패치의 경우 양 끝이 open-boundary인 반면 MZR의 경우, 양 끝이 short-boundary를 사용하게 된다.

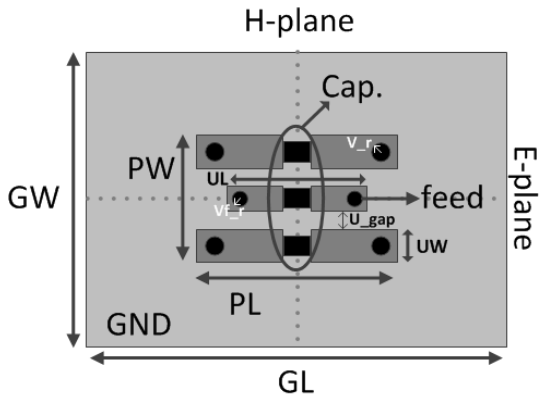


(a) E-field 분포
(a) E-field distribution

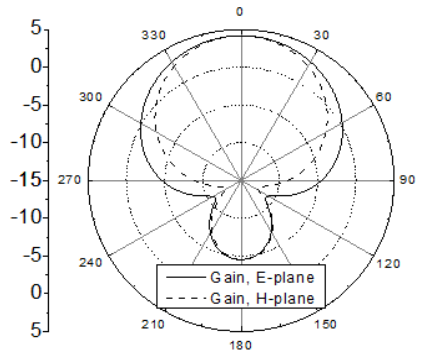


(b) H-field 분포
(b) H-field distribution

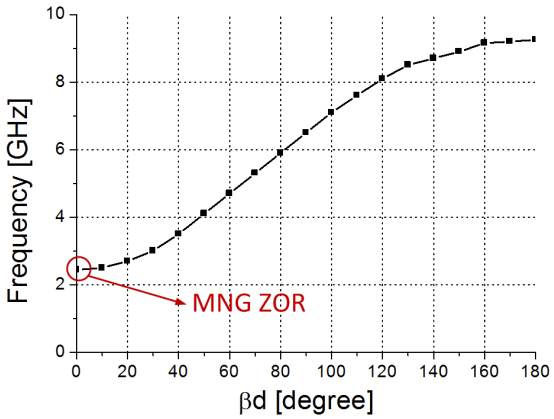
그림 3. MZR 단위구조 안테나 주위의 전계 및 자계분포
Fig. 3. E-field and H-field distribution of the MZR unit antenna.



(a) 설계된 MZR 안테나의 구조
(a) The structure of designed MZR antenna



(b) 방사패턴
(b) Radiation patterns



(c) 분산곡선
(c) Dispersion curve

그림 4. 설계된 MZR 안테나의 구조, 방사패턴, 분산곡선
Fig. 4. The structure, radiation patterns and dispersion curve of designed MZR antenna.

단위구조 안테나 주변의 필드 분포는 그림 3과 같다. MZR 안테나는 그림 1의 MNG 전송선로를 이용하여 메타물질을 구조적으로 나타낸 안테나이다. 그림 2의 단일 유닛 MZR 안테나는 MNG 전송선로에서 하나의 단위구조를 이용하여 만든 것이며 이 단위구조는 메타물질에서 분자와 같은 물질의 최소단위 역할을 한다. 따라서 메타구조의 단위구조는 파장에 비해 매우 짧아야 한다는 조건을 갖는다. (<<1/4파장) MNG 전송선로에서 하나의 단위구조는 파장에 비해 매우 짧아 해당 주파수에서 보이지 않는 크기로 보기 때문에 쪼갤 수 없으며, 따라서 MNG 전송선로에서 위상차를 논할 때는 단위구조 내부의 필드 형상이 아닌 양 끝단의 위상과 단위구조의 길이를 이용하여 파장의 길이를 구한다.

만약 이상적인 MNG 전송선로라면, 직렬 캐패시턴스를 형성하는 gap이 무한이 작아 무한에 가까운 캐패시턴스를 가지며 이때 동일한 공진주파수를 유지하려면 인덕턴스는 매우 작아져야 하므로 MNG 단위구조의 patch의 길이는 무한이 작아지게 된다. 이렇게 되면 MNG 전송선로의 단위구조는 매우 작아 분자 또는 원자와 같은 형태로 보일 것이고, 이때 해당 MNG 전송선로는 모든 지점에서 동위상을 가지게 되어 무한파장을 갖는 것처럼 보이게 된다. 따라서 MNG의 영차 공진을 사용한 MZR 안테나는 그림 2의 (c)와 같은 내부 전계분포와 그림 3과 같은 안테나 주변의 필드 분포가 나타나게 된다. 이러한 전계와 자계의 방향과 분포를 통해 MZR 안테나의 표면파는 TM-wave의 형태로 전파한다는 것을 확인하였다.

그림 2의 단위구조를 활용하여 설계한 MZR 안테나의 전체 구조를 그림 4에 나타내었다. 유전율 2.2의 duroid 5880 기판을 사용하였으며, 기준 주파수는 2.45 GHz이다. 2개의 단위구조와 1개의 급전장치로 이루어져 있으며, 소형화를 위해 칩 형태의 캐패시터를 삽입한 형태이다.

표 1. 설계된 MZR 안테나의 설계 파라미터
Table 1. Parameters of designed MZR antenna.

GW [cm]	GL [cm]	PW [cm]	PL [cm]	UW [cm]
7.6	6	0.3	2.34	0.3
UL [cm]	U_gap [cm]	V_r [cm]	Vf_r [mm]	Cap. [pF]
2	0.4	0.1	0.25	0.5

급전장치는 자계 급전 방식을 사용하며, 한쪽 끝은 접지를 위한 via, 다른 한쪽 끝은 coaxial 급전 또는 microstrip 급전과 연결되어 이를 통해 자계루프를 형성하여 단위 구조 2개와 coupling을 이루게 된다. 또한, 급전부의 캐패시터는 임피던스 정합에 사용된다. 설계된 안테나의 이득은 4.17 dBi이며, 효율은 88.7 %이다. E-plane, H-plane에 따른 방사패턴은 그림 4의 (b)와 같으며, 분산곡선은 그림 4의 (c)와 같다. 또한, 안테나의 설계 파라미터는 표 1과 같다.

Ⅲ. MZR 배열 안테나의 격리도 향상 실험

3-1 MZR 배열 안테나

먼저 MZR 배열 안테나의 특성을 알아보기 위해서 설계된 MZR 안테나를 E-plane, H-plane으로 각각 배열시킨 후 물리적인 거리(gap)를 증가시켜 보며, 그 특성을 확인해 보았으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

모의실험 결과, 두 경우 모두 물리적인 거리가 증가함에 따라 격리도는 향상된다. 이격 거리에 따른 격리도 변화 폭은 H-plane 배열이 보다 민감하게 나타났는데, 이는 패치 안테나 배열과 같은 특성[7]이다. 또한, H-plane 배열의 경우, E-plane 배열에 비해 보다 큰 폭의 이득 향상을 보인다. E-plane 배열과 H-plane 배열에서 유전체를 통한 표면파 전파에 의한 coupling과 air-coupling 중 어떤 것이

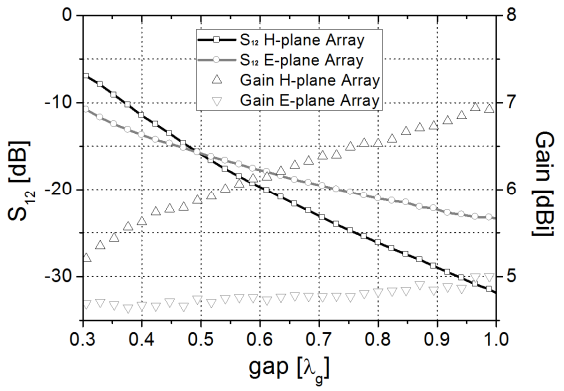
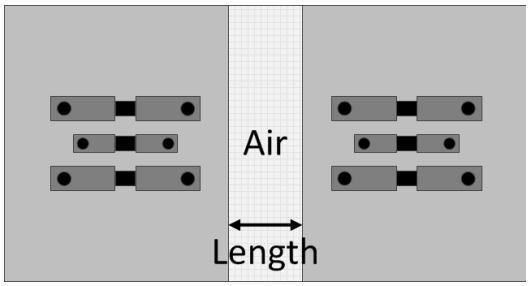
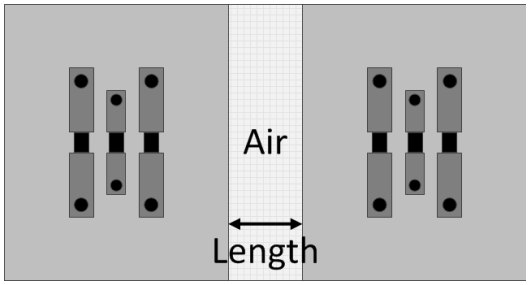


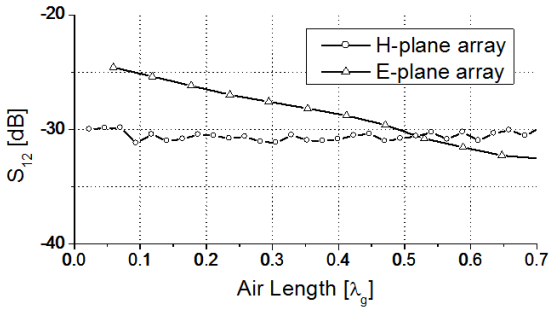
그림 5. 소자 간 이격거리 변화에 따른 배열의 특성
Fig. 5. Characteristics of the array with the distance variation between the elements.



(a) E-plane 배열 실험조건(GND 단절)
(a) Simulated condition of the E-plane array with cut GND



(b) H-plane 배열 실험조건(GND 단절)
(b) Simulated condition of the H-plane array with cut GND

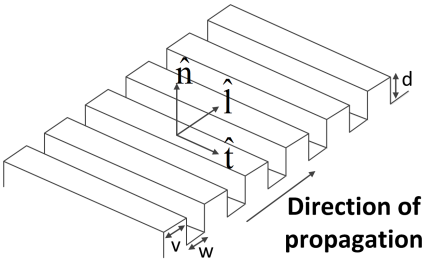


(c) GND의 단절면적에 따른 격리도
(c) Isolation with air-gap length

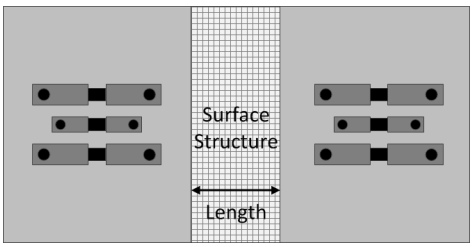
그림 6. 배열의 방향에 따른 실험조건 및 결과
Fig. 6. Simulated conditions and result with direction of the array.

보다 크게 작용하는지 확인해 보기 위해 접지면을 단절시키는 경우의 실험을 진행하였다.

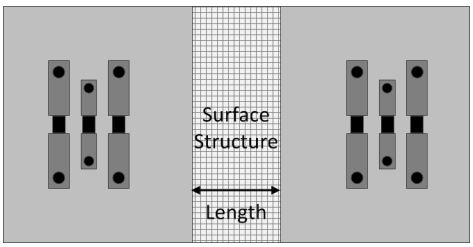
그림 6의 (a), (b)와 같이 두 단일소자 안테나 사이의 접지면을 단절시킨 후 단절된 면적을 넓혀가며 특성 변화를 알아보았다. 두 경우 모두 소자간 간격은 λ_g로 고정시킨 상태로 실험을 진행하였으며, 그 결과를 그림 6의 (c)에 나타내었다. E-plane의 경우, 단절된 면적이 증가함에



(a) SOFT-표면의 구조
(a) The structure of the SOFT-surface



(b) E-plane 배열 실험조건(구조체 삽입)
(b) Simulated condition of the E-plane array with other structure



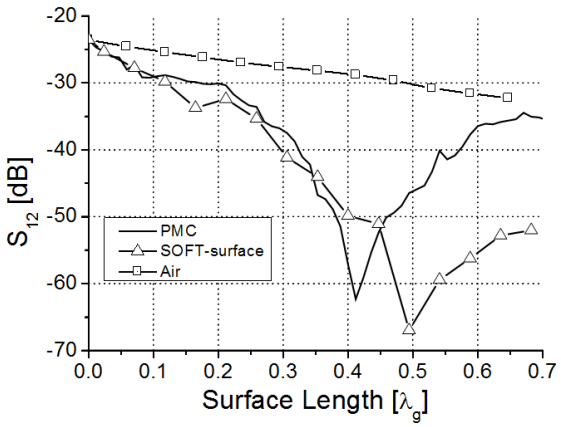
(c) H-plane 배열 실험조건(구조체 삽입)
(c) Simulated condition of the H-plane array with other structure

그림 7. SOFT-표면의 구조와 배열의 방향에 따른 실험 조건
Fig. 7. The structure of the SOFT-surface and simulatied conditions with direction of the array.

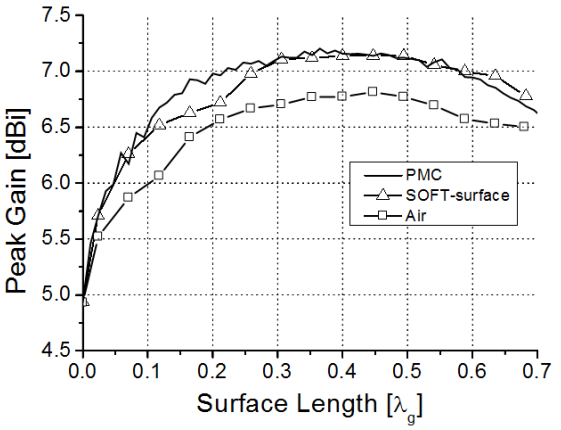
따라 격리도가 상승하는데 반해, H-plane의 경우 격리도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이 결과와 그림 5의 이득 변화 결과를 통해 H-plane 배열의 경우, 표면파 전파에 의한 coupling보다 air-coupling이 보다 크게 작용하는 것을 알 수 있다.

3-2 PMC 또는 SOFT-표면을 갖는 MZR 배열 안테나

접지면의 형태 변화에 따른 MZR 배열 안테나의 격리도 변화를 모의실험을 통해 알아보았다. 주기구조에서 발



(a) E-plane 배열의 격리도 변화
(a) Isolation of the E-plane array



(b) E-plane 배열의 이득 변화
(b) Gain of the E-plane array

그림 8. E-plane 배열의 PMC, SOFT-표면 삽입에 따른 격리도 및 이득 변화
Fig. 8. Isolation and gain according to the PMC and SOFT-surface insert on the E-plane array.

생하는 저지대역을 사용하는 고임피던스 표면에 대한 실험을 진행하기 위하여 이러한 구조를 대체할 수 있는 PMC와 SOFT 표면을 도입하였다.

그림 7의 (a)에는 실험에 사용된 SOFT-표면의 구조[8],[9]를 간단히 나타내었다. SOFT-표면은 물결 주름 구조를 사용한 표면이다. 각 주름의 폭은 충분히 작게 설정하며, 깊이는 $\lambda/4$로 설정한다. 깊이를 $\lambda/4$로 설정하게 되면 주름 아랫면(w 구간)의 short-boundary는 윗면에서 open-boundary로 보이게 되며, 이로 인해 PMC의 특성을 나타내게

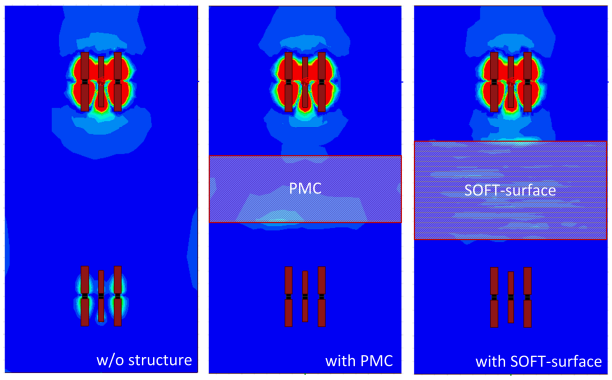


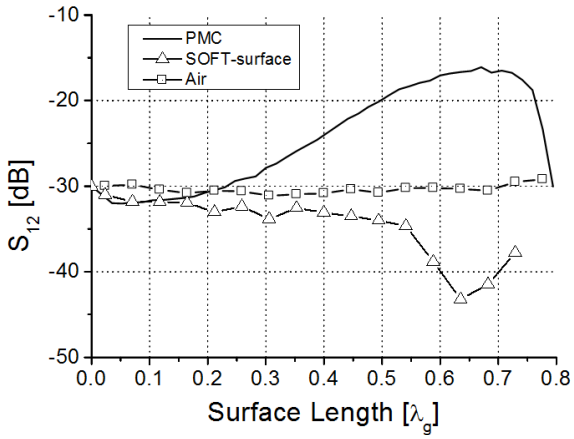
그림 9. E-plane 배열에서 삽입 구조체에 따른 E-field 변화(x-y 평면)

Fig. 9. E-field patterns according to the insertion structure on the E-plane array(x-y plane).

된다. 즉, 등가적으로 PMC와 PEC가 주기적으로 반복 배치되어 있는 구조와 동일한 형태를 나타내게 되며, PMC로 인해 TM-wave를 차단, PEC로 인해 TE-wave를 차단하게 된다. SOFT-표면은 참고문헌 [4]의 선행연구 결과를 바탕으로 깊이는 $\lambda/4$, 물결주름의 아랫면 너비 w는 4 mm (=0.032 λ), 물결주름의 윗면 너비 v는 2 mm(=0.016 λ)로 설정하였다.

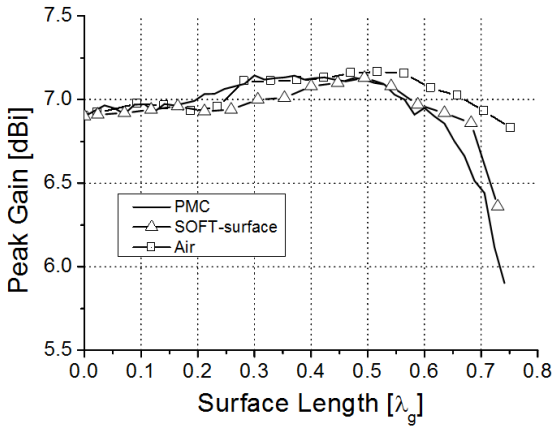
그림 7의 (b)와 (c)는 배열의 방향에 따른 실험조건을 보여준다. 두 단일소자 안테나의 이격거리를 λ_g로 고정시켜 논 후, 각 배열의 단일소자 사이 즉, 접지면 중앙부에 PMC 혹은 SOFT-표면이 존재하는 경우를 가정하였다. 또한, PMC와 SOFT-표면의 길이를 점차 늘려가며 격리도를 관찰함으로써 표면파 차단 정도를 확인하였으며, 이에 따른 이득의 변화도 알아보았다.

그림 8에 E-plane 배열의 모의실험 결과를 앞선 격리된 접지면을 가지는 경우와 비교하여 나타내었다. 그림 8 (a)의 격리도 결과를 통해 E-plane의 경우 접지면을 단절시켜 주는 것만으로도 어느 정도 격리도가 개선되지만 PMC와 SOFT-표면을 사용하는 경우 거의 완전한 차폐가 이루어지는 것을 확인하였다. PMC 혹은 SOFT-표면으로 인해 표면파가 효과적으로 차단 된 것으로 보인다. 또한, 그림 8 (b)의 결과를 통해 PMC나 SOFT-표면이 삽입되는 경우 아무런 구조가 없을 때에 비해 각각 2.26 dBi, 2.2 dBi의 큰 폭의 이득향상을 확인할 수 있으며, 단순히 GND를 단절시키는



(a) H-plane 배열의 격리도 변화

(a) Isolation of the H-plane array



(b) H-plane 배열의 이득 변화

(b) Gain of the H-plane array

그림 10. H-plane 배열의 PMC, SOFT-표면 삽입에 따른 격리도 및 이득 변화

Fig. 10. Isolation and gain according to the PMC and SOFT-surface insert on the H-plane array.

것에 비해 0.4 dBi의 이득향상을 보인다. 이는 표면파 차단으로 인한 격리도 개선의 효과뿐 아니라, 단일소자 안테나가 차지하는 GND 크기의 최적화에 의한 결과가 복합된 결과로 사료된다. 그림 9에 한쪽의 안테나에만 급전하는 경우, 삽입 구조체에 따른 field의 변화를 나타냈다.

그림 10에 H-plane 배열의 모의실험 결과를 앞선 격리된 접지면을 가지는 경우와 비교하여 나타내었다. 그림 10 (a)를 보면 SOFT-표면의 경우 E-plane 배열의 결과와 같이 격리도가 향상되는 것을 볼 수 있지만, PMC의 경우

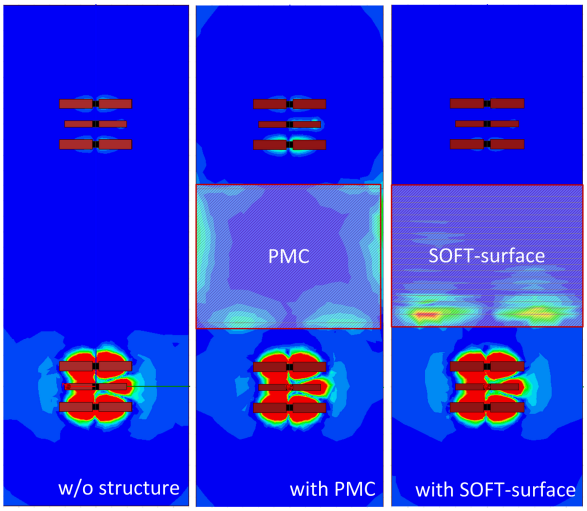


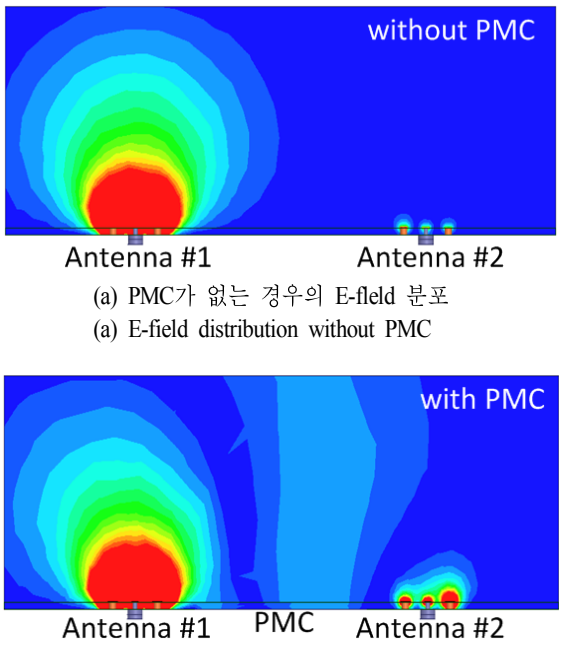
그림 11. H-plane 배열에서 삽입 구조체에 따른 E-field 변화(x-y 평면)

Fig. 11. E-field patterns according to the insertion structure on the H-plane array(x-y plane).

오히려 격리도 열화현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한, 그림 10 (b)의 결과에서 H-plane의 경우 접지면의 형태 변화에 관계없이 비슷한 수준의 이득을 가지는 것으로 나타났다. 그림 11에 한쪽의 안테나에만 급전하는 경우 삽입 구조체에 따른 field의 변화를 나타냈다.

H-plane 배열에서 PMC가 삽입되는 경우 격리도가 열화되는 현상을 보다 면밀히 분석하기 위해 PMC가 삽입된 경우와 아무 구조가 없는 경우의 y-z 평면 field 분포를 비교해 보았으며, 그림 12에 간단히 나타내었다. PMC 유무에 따른 H-plane의 E-field 분포를 나타냈으며, 그림 9, 그림 11과 마찬가지로 한쪽의 안테나에만 급전하는 경우로 가정하였다.

두 단일소자 사이에 일정크기 이상의 PMC가 삽입되면 안테나에서 방사되는 field와 PMC의 상호작용으로 인해 PMC 위쪽에 강한 E-field가 형성되고, 이러한 E-field가 반대편의 안테나까지 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이로 인해 PMC를 사용하는 경우, 격리도가 열화되는 것으로 나타났다. 반면, SOFT-표면의 경우, PMC와 달리 좁은 너비의 PMC와 PEC가 반복적으로 배치되어 있는 구조와 등가적으로 동일한 형태이므로 E-field가 형성되지 않은 것으로 보인다.



(a) PMC가 없는 경우의 E-fleld 분포

(a) E-field distribution without PMC

(b) PMC가 삽입된 경우의 E-field 분포

(b) E-field distribution with PMC

그림 12. PMC 유무에 따른 H-plane 배열의 E-field 분포 (y-z 평면)

Fig. 12. E-Field distribution of the H-plane array with the PMC presence(y-z plane).

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 격리도 개선을 통한 배열안테나의 성능 개선을 모의실험을 통해 알아보았다. MZR 안테나의 배열 특성을 먼저 확인해 본 후, 표면파를 효과적으로 차단하기 위해 PMC와 SOFT-표면을 도입하여 모의실험을 진행하였다. MNG 안테나의 배열특성 실험 결과, E-plane 배열의 경우 표면파 전파에 의한 coupling이, H-plane 배열의 경우 air-coupling이 강하게 작용하는 것으로 나타났다.

PMC와 SOFT-표면을 도입하여 실험한 결과, E-plane 배열의 경우 표면파가 차단됨으로 인해 격리도는 상승하며, 이득 또한 큰 폭으로 향상되는 것으로 나타났다. 반면, H-plane 배열의 경우, PMC와 SOFT-표면의 결과가 상반되게 나타났다. H-plane 배열에 일정크기 이상의 PMC가 삽입되면 안테나와 PMC간의 상호작용이 일어나 PMC 위에 강한 E-field가 형성되고, 이러한 E-field가 반대편의

안테나에 영향을 미쳐 오히려 격리도가 열화되는 것으로 나타났다. 그러나 SOFT-표면의 경우, 좁은 너비의 PMC와 PEC가 반복적으로 배치되어 있는 구조와 등가적으로 동일한 형태이므로 E-field가 형성되지 않아 격리도가 개선되는 것으로 나타났다.

실험결과를 토대로 종합해 보면 E-plane 배열의 경우, PMC, SOFT-표면 모두 격리도를 향상시켜 주며, 이에 따라 이득역시 개선시켜 주는 것을 확인하였다. 그러나 H-plane 배열의 경우, PMC보다 SOFT-표면이 격리도 향상에 보다 효과적인 것으로 나타났다. 추후 실제 배열안테나 제작 시 본 논문의 결과를 활용한다면 보다 개선된 성능의 배열 안테나를 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things: A survey", *Computer Networks*, vol. 54, Isssue. 15, 2010.

[2] W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.,*, vol. MTT-32, no. 9. pp. 1230-1242, Sep. 1984.

[3] 최원상, 이홍민, "독립된 접지면을 갖는 EBG 구조를 이용한 이중 대역 마이크로스트립 패치 안테나 사이의 격리도 향상", 한국전자파학회논문지, 23(3), pp. 306-313, 2012년 3월.

[4] 박민서, 이정해, "다양한 접지면 형태에 따른 표면파 전파에 관한 기초연구", 한국전자파학회논문지, 26 (10), pp. 869-875, 2015년 10월.

[5] Jae-Hyun Park, Young-Ho Ryu, and Jeong-Hae Lee, "Mu-zero resonance antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 6, pp. 1865-1875, Jun. 2010.

[6] Seung-Wook Lee, Jeong-Hae Lee, "Electrically small MNG ZOR antenna with multi-layered conductor", *IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters*, vol. 9, pp. 724-727, Jul. 2010

[7] C. A. Balanis, *Antenna Theory*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Interscience, 2005.

[8] P. -S. Kildal, "Artificially soft and hard surface in electromagnetics", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 38, no. 10, pp. 1537-1544, Oct. 1990.

[9] P. -S. Kildal, "Artificially soft and hard surfaces in electromagnetics and their application to antenna design", in *Proc. 23rd Eur. Microw. Conf.*, pp. 30-33, 1993.

박 민 서

2014년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)

2014년 3월～현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정

[주 관심분야] 배열 안테나, Metamaterial 안테나

이 재 곤

1999년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)

2001년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학석사)

2007년 2월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학박사)

2007년 3월～2015년 8월: LG전자 MC연구소 책임연구원

2015년 9월～현재: 홍익대학교 메타물질전자소자센터 연구교수

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로 설계, Meta Material 안테나 및 RF 소자, 모바일 안테나

이 정 해

1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1996년 3월: UCLA 전기공학과 (공학박사)
1993년 3월～1996년 2월: General Atomics 교환연구원
1996년 3월～1996년 8월: UCLA 전기공학과 Postdoctor
1996년 9월～현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 소자, 안테나, Meta-Material RF 소자, 무선전력전송