

송수신 안테나 간 광대역 격리도 향상을 위한 비균일 깊이 코러게이션 구조 설계

Design of a Non-Uniform Depth Corrugation Structure for Enhanced Broadband Isolation Between Transmit and Receive Antennas

송영진* · 김도현** · 문효상*** · 이창용*** · 이상화*** · 김진기*** · 홍순기*,**

Youngjin Song* · Dohyeon Kim** · Hyosang Moon*** · Changyong Rhee*** · Sanghwa Lee*** ·
Jinki Kim*** · Sun K. Hong***

요 약

안테나 송수신 시스템에서 안정적인 동작을 위해 안테나 간 충분한 격리도를 확보해야 한다. 특히, 두 안테나가 금속 접지면으로 연결된 경우, 전자기파의 비의도적인 결합으로 인해 격리도가 크게 저하될 수 있다. 이를 억제하기 위해, 구조가 단순하면서도 효과적으로 결합을 차단할 수 있는 코러게이션(corrugation) 구조가 활용되어 왔으나, 균일 깊이가 기반 설계는 특정 주파수에 최적화되어 있어 광대역 환경에서는 성능 확보에 한계가 있다. 본 논문에서는 이러한 한계를 극복하고, X-Ku 대역 전반에 걸쳐 격리도를 향상시키기 위해, 슬롯 깊이를 단계적으로 변화시킨 비균일 깊이 기반 코러게이션 구조를 제안하였다. 시뮬레이션 및 측정을 통해 성능을 검증하였으며, 실험 결과, 삽입된 구조가 방사 패턴 상의 널(null)을 형성함으로써 상호 결합을 효과적으로 억제함을 확인하였다. 이로 인해, 금속 접지면에 비해 제안된 구조를 적용하였을 때, X-Ku 대역 전반에 걸쳐 평균 17.9 dB의 격리도 향상이 확인되었다.

Abstract

It is essential to ensure sufficient isolation between antennas in transmission and reception systems for stable operation. When two antennas are connected by a metallic ground plane, unintended electromagnetic coupling can significantly degrade isolation. While corrugation has been widely used as a simple yet effective means of reducing mutual coupling, uniform-depth designs are optimized for specific frequencies and thus limited in wideband applications. To address this limitation, a non-uniform depth corrugation structure with stepwise variation in slot depth is proposed, designed to enhance isolation across the entire X-Ku band. Its performance is validated through simulation and measurement results confirm that the inserted structure generates a radiation null, effectively suppressing mutual coupling. Accordingly, an average isolation improvement of 17.9 dB is obtained over the entire X-Ku band when compared to a conventional metallic ground plane, demonstrating the effectiveness of the proposed structure.

Key words: Isolation, Metallic Ground Plane, Corrugation, Mutual Coupling, Non-Uniform Depth

「이 연구는 LIG NEX1 산학협력과제 지원으로 연구되었음.」

*송실대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Soongsil University)

**송실대학교 지능형반도체학과(Department of Intelligent Semiconductors, Soongsil University)

***LIG넥스원(주) (LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received April 17, 2025 ; Revised April 30, 2025 ; Accepted May 12, 2025. (ID No. 20250417-041)

· Corresponding Author: Sun K. Hong (e-mail: shong215@ssu.ac.kr)

I. 서 론

안테나 송수신 시스템에서 안테나 간의 불충분한 격리도는 신호 간섭 및 시스템 안정성 저하로 이어질 수 있다^[1]. 이로 인해, 안테나 간의 전자기적 간섭을 최소화하고 안정적인 시스템 동작을 보장하기 위한 격리도의 확보가 중요한 설계 요소로 부각되고 있다. 격리도는 안테나 간의 거리, 배치 구조, 주변 환경 등 다양한 요소에 의해 저하될 수 있다. 이러한 현상은 특히, 두 안테나 사이에 금속 접지면이 존재할 경우 두드러지며, 금속 접지면을 통한 전자기파의 비의도적 결합은 고주파 환경에서 안정적인 격리도 확보를 어렵게 만든다^{[2], [3]}. 이러한 문제를 해결하고 시스템의 성능을 최적화하기 위해서 상호 결합을 효과적으로 억제할 수 있는 추가적인 구조의 도입이 요구된다.

이러한 현상을 해결하기 위해 다양한 구조적 접근이 제안되어 왔으며, 안테나 간 결합을 억제하기 위한 방법으로는 대표적으로 DGS(defected ground structure)^{[4],[5]}, EBG(electromagnetic band-gap) 구조 등이 널리 활용되어 왔으며^{[6]-[7]}, 메타표면을 활용한 방식도 제안된 바 있다^{[8],[9]}. 그러나 이들 기법은 일반적으로 특정 대역에 최적화되어 있어 광대역 환경에서의 성능이 제한되며, 주기 구조 설계의 복잡성이나 정밀한 제작 공정이 요구된다는 점에서 실용적인 제약도 따른다. 따라서 이러한 기존 방식의 한계를 극복하여 구조적 단순성과 광대역 격리 성능을 동시에 확보할 수 있는 새로운 접근이 필요하다.

안테나 간 접지면에 코러게이션(corrugation)을 삽입하면 여기되는 안테나로부터 다른 안테나로 전파되는 전기장을 효과적으로 억제할 수 있어 격리도를 향상시킬 수 있다^{[2],[7],[8],[10]-[13]}. 구조의 단순성으로 인해 부피 증가나 제작 공정의 복잡성이 크지 않아, 공간적 또는 구현 측면에서 제약이 있는 시스템에도 효율적으로 적용될 수 있으며, 마이크로스트립 기반 구조로도 손쉽게 구현할 수 있다^[13]. 또한, EBG 구조나 메타표면과의 융합도 가능하며^{[7],[8]}, 복합 구조 설계가 요구되는 환경에서도 높은 적용 유연성을 제공한다. 코러게이션 구조는 이러한 장점으로 인해 널리 활용되고 있지만, 일반적으로 사용하는 균일 깊이 구조는 특정 주파수 대역에서의 격리도 향상에 최적화되어 있기 때문에, 구조적으로 주파수 의존성을 내포

하고 있다. 따라서, 하나의 깊이만을 사용하는 경우, 해당 깊이에 대응하는 주파수 범위에서는 우수한 격리 성능을 기대할 수 있으나, 그 외의 대역에서는 깊이가 공진 조건을 만족하지 못하게 되어 격리도 개선 효과가 제한된다^[2].

본 연구에서는 X-Ku 대역 전반에 걸친 광대역 격리도 향상을 위해 비균일한 깊이 분포를 갖는 코러게이션 배열 구조를 설계하였다. 기존의 균일 깊이 기반 코러게이션과 달리, 제안된 구조에서는 광대역에서 높은 격리도를 확보할 수 있도록 깊이를 단계적으로 변형한 구조를 구현하였다. 설계된 구조는 시뮬레이션 및 측정을 통해 성능을 검증하였으며, 이때 X 대역과 Ku 대역 각각에서 동작하는 두 종류의 안테나를 활용하여 실험을 진행하였다. 제안된 구조를 활용하였을 때, 기존의 금속 접지면 대비, X/Ku- 대역 전반에 걸쳐 평균 17.9 dB의 격리도 향상을 확인하였다.

II. 비균일 깊이 코러게이션 구조

그림 1은 금속 접지면과 코러게이션 구조의 전파 특성을 비교한 것이다. 경계 조건에 따라 전기장은 금속 표면에 수평 방향으로 전파될 수 없다. 이로 인해, 그림 1과 같이 전자기파가 x축 방향으로 진행하는 경우, TE_z 모드는 금속 표면에서 전파될 수 없다. 반면, TM_z 모드는 전기장이 금속 표면에 수직인 z축 방향으로 존재하므로 전파가 가능하다. 하지만 접지면에 코러게이션 구조를 삽입하면, 주기적으로 나타나는 코러게이션의 옆면이 추가적인 경계 조건을 형성하게 되어, TM_z 모드 역시 효과적으로 억제할 수 있다.

일반적으로 두 안테나 간 상호 결합을 약화를 목적으

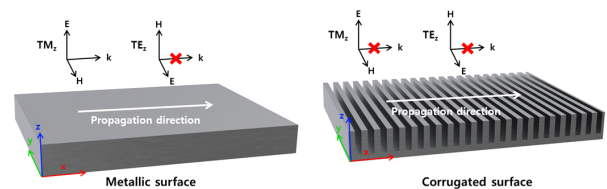


그림 1. 금속 표면과 코로게이션 구조에서의 전파 특성
Fig. 1. Wave propagation of metallic surface and corrugated surface.

로 코러게이션을 활용하는 경우, 격리 성능은 슬롯의 너비와 간격보다 깊이에 의존한다^[12]. 코러게이션 슬롯의 깊이 d 는 격리도 향상을 목표로 하는 주파수 범위가 $f_1 \sim f_2$ 일 때, 다음 식과 같은 조건을 만족해야 안정적인 전기장 차단 효과를 기대할 수 있다^{[10][11]}.

$$\lambda_{f_1}/4 \leq d \leq \lambda_{f_2}/2. \quad (1)$$

이때, λ_f 은 f 에서의 자유공간 파장을 의미한다. 깊이 d 가 상기 조건 범위보다 짧을 경우, 저주파 대역에서 격리도 향상이 제한되며, 반대로, 깊이 d 가 길어질 경우에는 고주파 대역에서 격리 성능이 제한될 수 있다. 따라서, X-대역(8~12 GHz)의 격리 특성을 확보하기 위해서는 깊이 d 가 9.375 mm ($\lambda_{8\text{GHz}}/4$)에서 12.5 mm ($\lambda_{12\text{GHz}}/2$) 사이에 위치해야 하며, Ku-대역(12~18 GHz)의 격리 특성을 확보하기 위해서는 6.25 mm($\lambda_{12\text{GHz}}/4$)에서 8.3 mm ($\lambda_{18\text{GHz}}/2$) 사이의 깊이를 만족해야 한다. 이러한 조건을 고려할 때, 단일한 깊이로는 두 대역에서 모두 안정적인 격리 성능을 확보하기 어렵다^[2].

이러한 단일 깊이 구조의 주파수 의존성 한계를 보완하기 위해, 본 연구에서는 코러게이션의 깊이를 단계적으로 변화시켜 비균일한 깊이 배열을 형성하였다. 그림 2는 제안된 구조의 단면을 나타내며, 깊이 d 를 6.2 mm에서 9.4 mm까지 0.8 mm 간격으로 점진적으로 증가시킨 후, 다시 9.4 mm에서 6.2 mm까지 같은 간격으로 감소시키는 방식으로 구성되며, 총 10개의 코러게이션으로 하나의 패턴 단위를 형성한다. 즉, 깊이 변화는 6.2, 7.0, 7.8, 8.6, 9.4 mm 순으로 감소한 뒤, 다시 9.4, 8.6, 7.8, 7.0, 6.2 mm 순으로 감소하는 형태로 반복된다. 깊이와 범위의 간격은 X-

대역과 Ku-대역의 시작 주파수인 8 GHz와 12 GHz의 $\lambda/4$ 에 해당하는 9.4 mm와 6.25 mm를 기준으로 설정하였으며, 슬롯 간 깊이 차와 반복 배열 수를 조절하여 두 대역에 대한 전기장 억제 조건이 균일하게 분포되도록 최적화하였다. 이때, 코러게이션 깊이의 범위는 X-대역 중심주파수 10 GHz에서의 자유공간 파장을 기준으로 약 $0.21\lambda_{10\text{GHz}} - 0.31\lambda_{10\text{GHz}}$ 에 해당하며, Ku-대역 중심주파수 15 GHz에서의 자유공간 파장을 기준으로 약 $0.31\lambda_{12\text{GHz}} - 0.47\lambda_{12\text{GHz}}$ 에 해당한다. 패턴에 포함되는 깊이들은 각각 식 (1) 조건을 만족하는 특정 주파수 대역에서 전기장 억제를 유도하며, 구체적으로 6.2 mm는 약 12.1~24.2 GHz, 7.0 mm는 10.7~21.4 GHz, 7.8 mm는 9.6~19.2 GHz, 8.6 mm는 8.7~17.4 GHz, 9.4 mm는 8.0~16.0 GHz에서 조건을 만족한다. 각 깊이에 대응되는 주파수 대역은 서로 일부 중첩되도록 구성되어 있으며, 이를 통해 개별 깊이들이 유도하는 전기장 억제 효과가 구조 전반에 걸쳐 연속적으로 분포된다. 이는 단일 깊이를 활용한 특정 주파수 대역에 의존하는 구조와 달리, 복수의 공진 조건이 구조 내부에 분산되어 존재함으로써, 특정 주파수에 국한되지 않고 광대역에서 일관된 전기장 억제와 격리 성능 확보가 가능하도록 한다. 결과적으로, 단일 깊이 구조에서 나타나는 주파수 의존성을 완화하고, X-Ku 대역 전반에 걸쳐 안정적인 격리 성능을 확보할 수 있는 구조적 기반을 제공한다.

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

제안된 구조의 안테나 간 격리 성능을 검증하기 위해, X-대역과 Ku-대역에서 각각 동작하는 혼 안테나를 사용하여 실험을 수행하였으며, 사용된 안테나의 반사계수는 그림 3과 같다. 각 안테나는 동작 대역에서 -10 dB 이하의 반사계수를 나타내며, 측정 결과에 포함된 리플은 측정 시스템 내 커넥터 및 전송선에서 발생한 반사에 따른 현상으로 보인다. 그림 4는 실험에 사용된 제안된 구조 및 비교 구조 모델 형상과 제작된 프로토타입을 나타낸다. 안테나 간 거리는 0.3 m로 설정하였으며, 이는 X-대역과 Ku-대역 중심 주파수 10 GHz와 15 GHz를 기준으로 각각, $10\lambda_{10\text{GHz}}$ 그리고 $15\lambda_{15\text{GHz}}$ 에 해당한다. 안테나 간

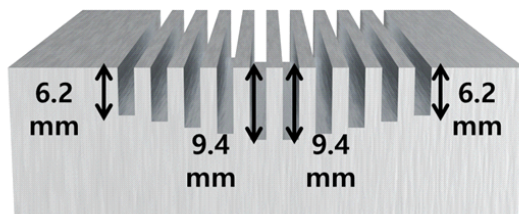


그림 2. 제안된 비균일 깊이 코러게이션 구조
Fig. 2. Configuration of the proposed non-uniform depth corrugation structure.

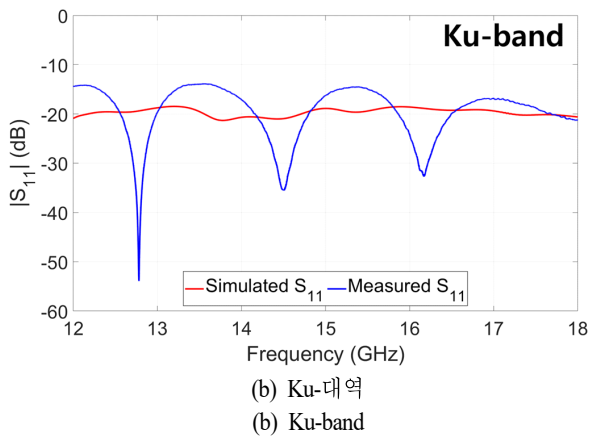
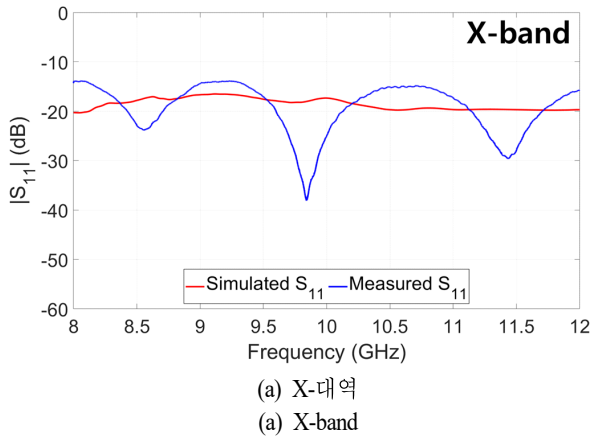
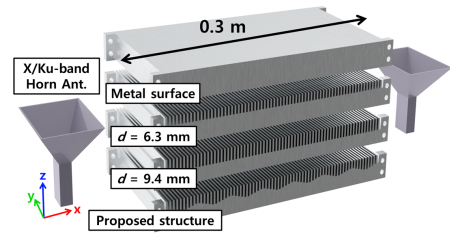


그림 3. 혼 안테나의 반사계수에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과 비교

Fig. 3. Comparison of simulated and measured reflection coefficients of the horn antenna.

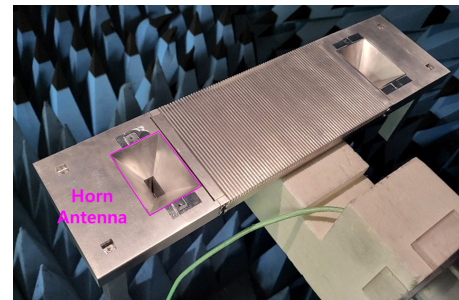
격리 성능을 검증하기 위해, 실험에서는 제안된 비균일 깊이 코러게이션 구조를 기준으로, 금속 접지면, 그리고 식 (1)의 조건을 만족하는 X-대역용 균일 깊이 9.4 mm 구조 및 Ku-대역용 균일 깊이 6.3 mm 구조와 비교를 수행하였다. 각 코러게이션 구조에서 슬롯의 간격과 너비는 모두 1.6 mm로 설정하였으며, 총 70개의 코러게이션이 배치되었고, 제안된 구조의 경우 7개의 패턴 단위로 구성된다.

그림 5는 X-대역에서 동작하는 혼 안테나 1이 여기되었을 때, 10 GHz에서의 xy 평면 전기장 분포를 나타낸다. 금속 접지면, 균일 깊이 6.3 mm 및 9.4 mm 코러게이션 구조, 제안된 비균일 깊이 구조 간의 비교했을 때, 9.4 mm



(a) 실험에 사용된 제안된 구조 및 비교 구조를 포함한 전체 구성도

(a) Configuration including the proposed and comparison structures



(b) 제작된 프로토타입

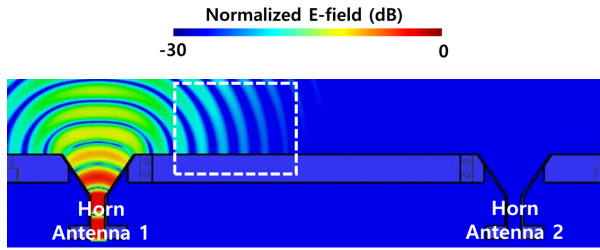
(b) Fabricated prototype

그림 4. 제안 구조 및 비교 구조 모델과 제작된 프로토타입

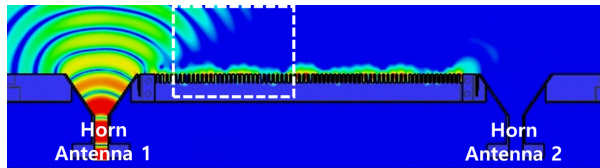
Fig. 4. Proposed and reference structures with fabricated prototype.

균일 깊이 구조와 제안된 구조는 전기장을 효과적으로 차단하고 있으며, 6.3 mm 깊이 구조는 일부 억제 효과를 보이긴 하나 상대적으로 제한적임을 알 수 있다. 그림 6은 Ku-대역에서 동작하는 혼 안테나 1이 여기되었을 때, 15 GHz에서의 xy 평면 전기장 분포를 나타낸다. 해당 경우에는 6.3 mm 깊이 구조와 제안된 구조 모두 우수한 전기장 억제 성능을 나타낸 반면, 9.4 mm 깊이 구조에서는 뚜렷한 차단 효과가 관찰할 수 없다. 이를 통해, 균일 깊이 구조만으로는 X/Ku-대역에서 동시에 효과적인 전기장 차단이 어려우며, 비균일 깊이 구조를 사용할 경우 두 대역 모두에서 전기장을 효과적으로 차단할 수 있음을 확인할 수 있다.

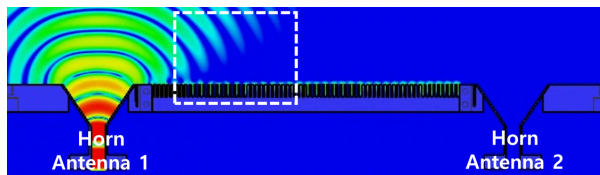
그림 7은 두 안테나가 금속 접지면으로 연결된 경우와, 6.3 mm 및 9.4 mm의 균일 깊이를 갖는 코러게이션 구조, 그리고 제안된 비균일 깊이 구조를 적용한 경우에 대해



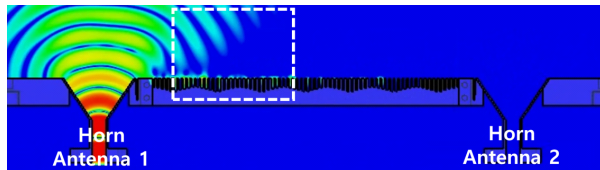
(a) 금속 접지면
(a) Metallic ground plane



(b) 균일 깊이 6.3 mm 코러게이션 표면
(b) Uniform-depth (6.3 mm) corrugated surface



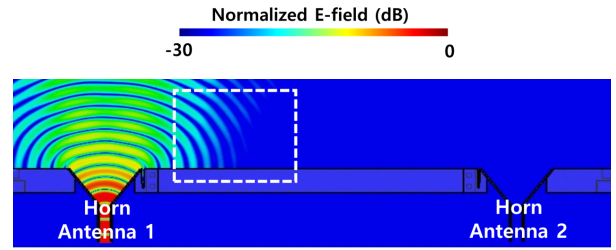
(c) 균일 깊이 9.4 mm 코러게이션 표면
(c) Uniform-depth (9.4 mm) corrugated surface



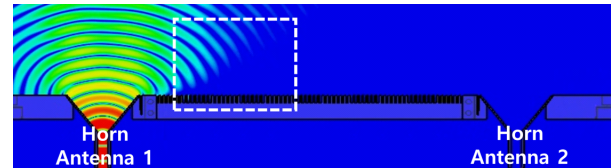
(d) 제안된 구조
(d) Proposed structure

그림 5. 10 GHz에서의 xy 평면 전기장 분포 비교
Fig. 5. Comparison of the E-field distribution on the xy-plane at 10 GHz.

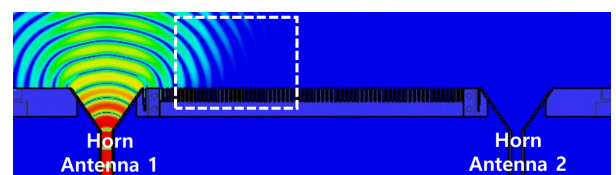
서 X-대역 및 Ku-대역에서의 격리도를 비교한 결과를 나타낸다. 시뮬레이션과 실험 결과는 평균 격리도 수준에서 유사하지만, 세부 주파수 응답에서의 차이는 제작 공차, 커넥터의 비이상성, 주변 반사 등으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 이 때, 표 1은 각 대역에서 구조물에 따른 평균 격리도를 나타내며, 표 2는 구조물에 의한 금속 접지면 대비 격리도 향상 정도를 나타낸다. X-대역에서는



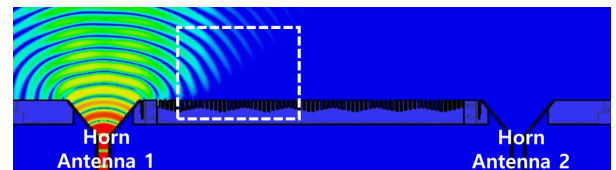
(a) 금속 접지면
(a) Metallic ground plane



(b) 균일 깊이 6.3 mm 코러게이션 표면
(b) Uniform-depth (6.3 mm) corrugated surface



(c) 균일 깊이 9.4 mm 코러게이션 표면
(c) Uniform-depth (9.4 mm) corrugated surface



(d) 제안된 구조
(d) Proposed structure

그림 6. 15 GHz에서의 xy 평면 전기장 분포 비교
Fig. 6. Comparison of the E-field distribution on the xy-plane at 15 GHz.

식 (1)에 따라 6.3 mm 깊이는 해당 대역에서 요구되는 조건보다 짧기 때문에 대역의 하위 주파수 영역에서 격리도 향상 효과가 나타나지 않으며, 결과적으로 금속 접지면보다도 낮은 평균 격리도를 보인다. 반면, 9.4 mm 균일 깊이 코러게이션 구조와 제안된 구조는 식 (1)의 조건을 만족하는 깊이를 포함하고 있어 약 66 dB 수준의 우수한 평균 격리도를 나타내며, 특히 제안된 구조는 금속 접지

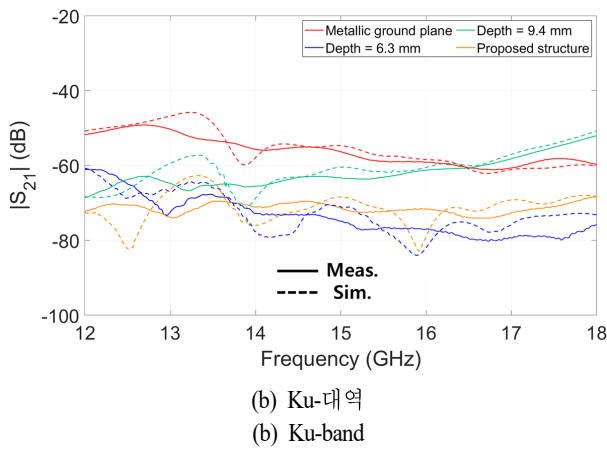
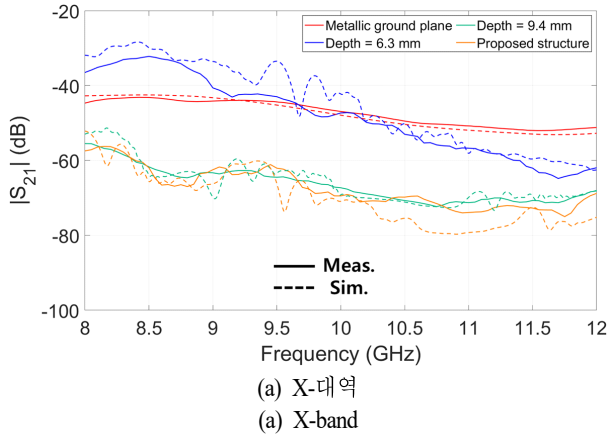


그림 7. 구조물에 따른 격리도 비교
Fig. 7. Comparison of isolation for structures.

표 1. 구조물에 따른 대역별 평균 격리도 비교
Table 1. Comparison of average isolation by structure and frequency bands.

Frequency band	Average isolation (dB)			
	Metallic ground plane	Corrugation (6.3 mm)	Corrugation (9.4 mm)	Proposed structure
X-band	46.7	43.3	65.8	66.4
Ku-band	55.3	72.6	61.3	71.5
X/Ku-band	50.8	50.2	62.6	68.7

면 대비 평균 19.7 dB 향상된 성능을 보였다. Ku-대역에서는 9.4 mm 깊이는 이 대역의 조건보다 길어, 대역의 상위 주파수 영역에서 격리도 향상 효과가 제한된다. 하지

표 2. 금속 접지면 대비 구조물에 따른 평균 격리도 향상 정도

Table 2. Average isolation improvement by structure compared to the metallic ground plane.

Frequency band	Improvement in average isolation (dB)		
	Corrugation (6.3 mm)	Corrugation (9.4 mm)	Proposed structure
X-band	-3.4	19.1	19.7
Ku-band	17.3	6.0	16.2
X/Ku-band	-0.6	11.8	17.9

만 6.3 mm 균일 깊이 코러게이션 구조와 제안된 구조는 Ku-대역의 식 (1) 조건을 만족하는 깊이를 포함하여 각각 72.6 dB 및 71.5 dB의 평균 격리도를 보였다. 제안된 구조는 균일 깊이 구조에 비해 1.1 dB 낮은 평균 격리도를 나타냈지만, 금속 접지면과 비교할 때 평균 16.2 dB 향상된 격리도를 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해, 제안된 구조는 각 주파수 대역에서 조건을 만족하는 균일 깊이를 적용한 구조와 유사한 수준의 격리도 향상을 단일 구조만으로 구현할 수 있음을 확인하였다. 즉, X-대역 및 Ku-대역에 최적화된 두 구조 각각의 성능을, 하나의 비균일 깊이 구조만으로도 달성 가능하다는 점에서 광대역 환경에서의 설계 유연성과 실용성이 크게 향상될 수 있다. 또한, 금속 접지면과 비교할 때, 제안된 구조는 X/Ku-대역 전체에 걸쳐 평균 17.9 dB의 격리도 향상을 달성하였다.

그림 8 및 그림 9는 각각 10 GHz(X-대역)과 15 GHz(Ku-대역)에서 두 안테나가 금속 접지면으로 연결된 경우와 제안된 구조가 적용된 경우에서 혼 안테나 1의 방사 패턴을 나타낸다. 이를 통해, E-평면에서 혼 안테나 2로의 방향($\theta = 90^\circ$)에서, 10 GHz에서는 20.8 dB, 15 GHz에서는 11.5 dB의 방사 null이 형성되며, 이를 통해 상호 결합이 효과적으로 억제되고 있음을 확인할 수 있다. 10 GHz에서의 최대 이득은 금속 접지면 대비 제안된 구조에서 E-평면 13.2 dBi / 13.1 dBi, H-평면 13.4 dBi / 13.3 dBi이며, 15 GHz에서는 E-평면 14.4 dBi / 14.2 dBi, H-평면 14.2 dBi / 14.3 dBi로 나타났다. 모든 경우에서 이득 차이는

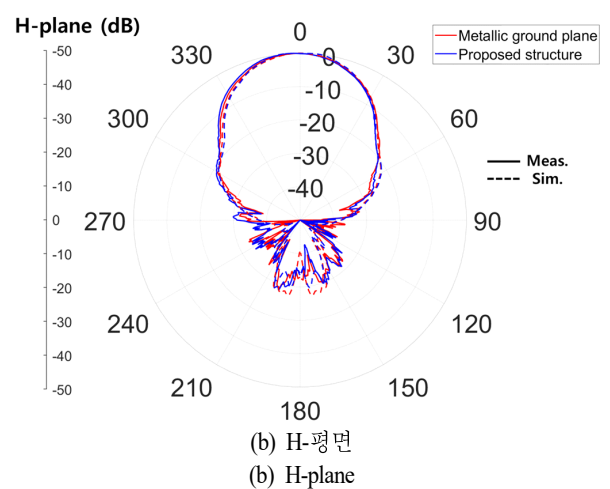
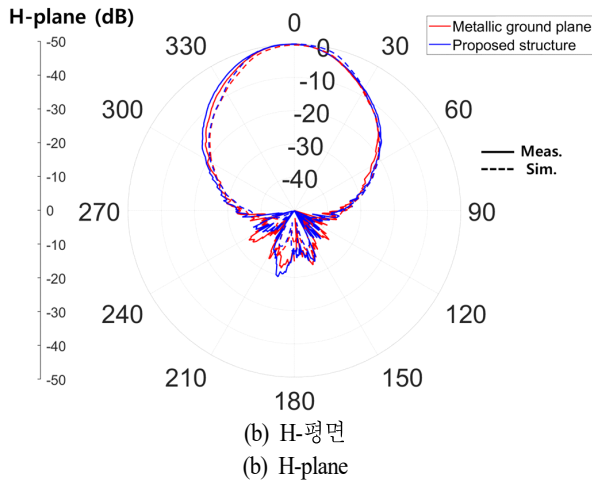
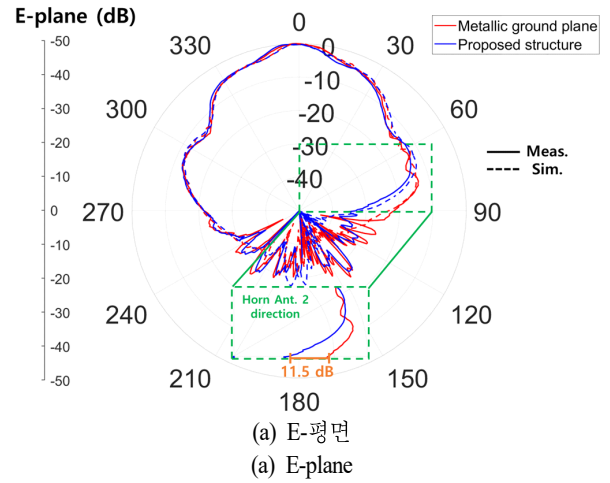
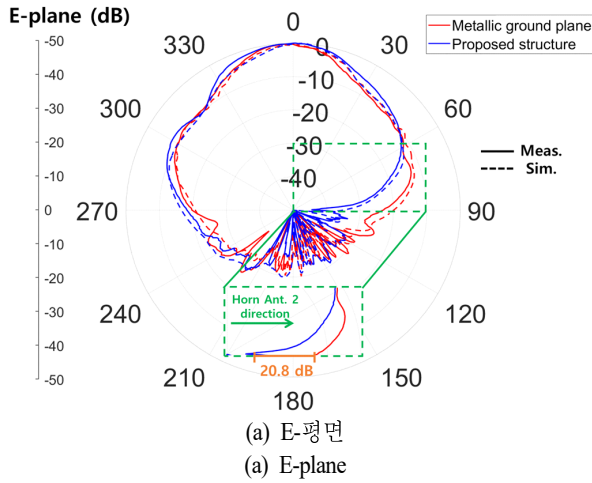


그림 8. 10 GHz에서의 방사 패턴 비교
Fig. 8. Comparison of radiation patterns at 10 GHz.

그림 9. 15 GHz에서의 방사 패턴 비교
Fig. 9. Comparison of radiation patterns at 15 GHz.

0.2 dB 이내로, 제안된 구조가 방사 성능에 미치는 영향은 미미한 수준임을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 X/Ku 대역에서 광대역 격리도 향상이 가능한 비균일 깊이 기반 코러게이션 구조를 제안하였다. 기존의 균일 깊이 구조는 특정 주파수 대역에 최적화되어 있어, 두 대역에서 동시에 안정적인 격리 성능을 확보하는 데 한계가 존재한다. 반면, 제안된 구조는 코러게이션의 깊이를 단계적으로 변화시켜, 다양한 주파수 대역에

서 전기장 억제 조건을 동시에 만족할 수 있도록 설계되었다. 혼 안테나가 각 대역에서 여기되었을 때의 전기장 분포 분석을 통해, 금속 평면과 비교하여 코러게이션 구조가 안테나 간 결합 경로를 억제하는 효과를 시각적으로 확인하였다. 특히, 제안된 구조는 송수신 안테나 사이에 방사 패턴 상의 널을 유도함으로써 전자기파의 직접적인 결합 경로를 효과적으로 차단하였다. 또한, 제안된 구조를 적용한 경우, 두 안테나가 금속 접지면으로 연결된 경우 대비 X/Ku-대역 전반에 걸쳐 평균 17.9 dB의 격리도 향상이 확인되었다.

References

- [1] F. Y. Kuo, R. B. Hwang, "High-isolation X-band marine radar antenna design," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 5, pp. 2331-2337, May 2014.
- [2] S. Manafi, M. A. Al-Tarifi, and D. S. Filipovic, "Isolation improvement techniques for wideband millimeter-wave repeaters," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 2, pp. 355-358, Feb. 2018.
- [3] P. V. Prasannakumar, M. A. Elmansouri, M. Ignatenko, and D. Filipovic, "Reduction of coupling between flush-mounted antennas," in *2018 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium(ACES)*, Denver, CO, Mar. 2018, pp. 1154-1155.
- [4] M. A. U. Haq, S. Koziel, "Ground plane alterations for design of high-isolation compact wideband MIMO antenna," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 48978-48983, Aug. 2018.
- [5] M. J. Kang, S. Park, K. G. Cho, and K. Y. Jung, "High-isolation 5G repeater antenna using a novel DGS and an EBG," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 3, pp. 275-282, May 2023.
- [6] L. Qiu, F. Zhao, K. Xiao, S. L. Chai, and J. J. Mao, "Transmit-receive isolation improvement of antenna arrays by using EBG structures," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 11, pp. 93-96, Jan. 2012.
- [7] Y. F. Lu, Y. C. Lin, "Electromagnetic band-gap based corrugated structures for reducing mutual coupling of compact 60 GHz cavity-backed antenna arrays in low temperature co-fired ceramics," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 7, no. 9, pp. 754-759, Jun. 2013.
- [8] S. Gupta, Z. Briqech, A. R. Sebak, and T. A. Denidni, "Mutual-coupling reduction using metasurface corrugations for 28 GHz MIMO applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2763-2766, Aug. 2017.
- [9] Z. Wang, C. Li, and Y. Yin, "A meta-surface antenna array decoupling(MAAD) design to improve the isolation performance in a MIMO system," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 61797-61805, Mar. 2020.
- [10] P. S. Kildal, "Artificially soft and hard surfaces in electromagnetics," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 38, no. 10, pp. 1537-1544, Oct. 1990.
- [11] F. Scire-Scappuzzo, S. N. Makarov, "A low-multipath wideband GPS antenna with cutoff or non-cutoff corrugated ground plane," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 1, pp. 33-46, Jan. 2009.
- [12] M. W. Niaz, R. A. Bhatti, "High-isolation antenna system for X-band synthetic aperture radar," *Wireless Personal Communications*, vol. 97, no. 2, pp. 2741-2750, Jun. 2017.
- [13] J. Lu, H. C. Zhang, P. H. He, L. P. Zhang, and T. J. Cui, "Design of miniaturized antenna using corrugated microstrip," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 68, no. 3, pp. 1918-1924, Mar. 2020.

송 영 진 [송실대학교/석·박사 통합과정]

<https://orcid.org/0009-0008-7330-8483>



2022년 2월: 송실대학교 전자공학과(공학사)

2022년 3월~현재: 송실대학교 전자공학과 석·박사 통합과정

[주 관심분야] 무선전력전송, 고출력 전자기파, 안테나

김 도 현 [송실대학교/석·박사 통합과정]

<https://orcid.org/0009-0001-9299-3868>



2018년 2월: 선문대학교 전자공학과(공학사)

2022년 3월~현재: 송실대학교 지능형반도체학과 석·박사 통합과정

[주 관심분야] 무선전력전송, 양자컴퓨팅, 고출력 전자기파, 안테나

문 호 상 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-1128-7249>



2006년 8월: 경희대학교 전파통신공학과 (공학사)
2008년 8월: 경희대학교 전파공학과 (공학석사)
2008년 7월~현재: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 전자전 시스템, 안테나, EM 시뮬레이션 등

김 진 기 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0009-0001-6820-5315>



2022년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2024년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2024년 1월~현재: LIG넥스원 연구원
[주 관심분야] 전자전 시스템, 안테나

이 창 용 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0296-858X>



2012년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
2014년 8월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2015년 1월~2022년 1월: 한화 선임연구원
2022년 2월~현재: LIG넥스원 선임연구원

[주 관심분야] 전자전 시스템, 안테나

홍 순 기 [숭실대학교/부교수]

<https://orcid.org/0000-0002-3794-3171>

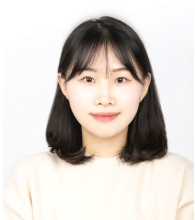


2005년 5월: 미국 University of Maryland, ECE (공학사)
2008년 12월: 미국 Virginia Tech, ECE (공학석사)
2012년 12월: 미국 Virginia Tech, ECE (공학박사)
2008년 5월~2015년 10월: 미국 해군연구소 (NRL) 연구원

2015년 11월~2017년 2월: 미국 Rose-Hulman 공대 ECE 조교수
2017년 3월~현재: 숭실대학교 전자정보공학부 부교수
[주 관심분야] 레이더 및 센서, 마이크로파/밀리미터파 시스템, 무선전력전송, 고출력 전자기파, 안테나

이 상 화 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0003-0348-1022>



2018년 2월: 국립공주대학교 전파공학과 (공학사)
2020년 2월: 국립공주대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2022년 2월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 전자전 시스템, 안테나