

헬리콥터 탑재 MTD 레이다용 도파관 슬롯배열 안테나

김 동 석, 한 인 희, *곽 영 길, **신 근 섭
MTG, *한국항공대학교, **엠텍(주)

전화 : 042-626-9590 / 핸드폰 : 011-9805-7620

Waveguide Slot Array Antenna for Heliborne MTD Radar

Dong-Seok Kim, In-Hee Han, *Young-Gil Gwak, **Keun-Sup Shin
MTG, *Kankuk Aviation University, **MteQ SYSTEMS Inc.
E-mail : dskim@mtginc.co.kr

Abstract

X-band Waveguide slot array antenna is developed for heliborne MTD radar applications. The antenna is composed of multi-layer waveguide structures. Each of them has it's own functions, such as, radiation, power/phase distribution, coupling, etc. Broad-wall offset slots are used for radiators, inclined slots on broad-wall for power distribution to radiating(branch) waveguide, some kind of coaxial probe structures for in-phase coupling and H-plane T-junction power dividers.

Antenna is realized by precision machining and careful assembly. It is tested and measured by 3m×1.7m planar near-field probe, which is set-up in MTG. Far-field calculations have good agreement in tolerable bounds. Special but necessary process such as brazing, will increase the accuracy and performance. Results show promising possibilities of future applications for real systems.

I. 서론

도파관 슬롯배열 안테나는 도파관 구조가 기본적으로 가지는 몇 가지 특징, 즉 편리한 급전구조를 가지

며 저 손실 특성으로 대전력 취급이 가능하고 정밀 기계가공을 이용한 고성능 안테나 구현이 가능하다는 이유로 레이다 안테나로서 널리 이용되어 왔다[1]. 특히 컴퓨터를 이용한 정확한 해석과 정밀 측정이 가능해진 7, 80년대 이후에는 다양한 종류의 슬롯배열 안테나가 개발되어 광범위하게 사용되며 S-Band 이상의 3차원 레이다나 미사일의 탐색기(Seeker) 안테나 및 헬리콥터 탑재 레이다 안테나는 거의 슬롯배열 안테나가 주종을 이루게 되었다.

본 논문은 헬리콥터(heliborne) 탑재 MTD(Moving Target Detection) 레이다용으로 사용되는 X-Band 도파관 슬롯배열(Waveguide Slot Array) 안테나의 구현에 관한 것으로 안테나의 구조 및 구현방법, 복사소자로 사용되는 넓은면 오프셋 슬롯(Broad Wall Offset Slot)의 상호결합(Mutual Coupling)을 포함한 특성 해석, 급전슬롯인 경사슬롯(Inclined Slot)의 특성 해석, 도파관 Transition, H-면 전력분배기 등에 대하여 기술한다. 또한 구현된 안테나의 근접전계 측정 및 분석을 통하여 타당성을 검토한다.

II. 다층 도파관구조의 슬롯배열 안테나 설계

2. 1 안테나 기본구조

본 안테나는 헬리콥터 탑재를 전제로 하므로 크기나 부피 면에서 매우 간결하게 밀집된 구조로 소형이어야 할 뿐만 아니라 최소의 무게로 구현되어야 한다. X-대

역에서 이러한 기본적인 요구조건을 만족시킬 수 있는 안테나의 형태는 공진형 배열구조의 도파관 슬롯배열 안테나이다.

그림 1.은 공진형 도파관 슬롯배열 안테나의 기본구조를 나타낸다. 몇 개의 도파관 층으로 이루어지며 각 층에는 각각 고유한 역할을 하는 구조가 구현된다. 가장 중요한 층은 복사소자(본 안테나에서는 넓은면 오프셀 슬롯)를 구성하는 Branch-Line 도파관 층과 결합슬롯(넓은면 경사슬롯)을 구성하는 Main-Line 도파관 층이다.

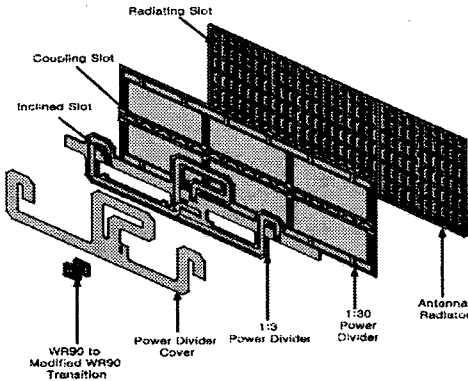


그림 1. 공진형 도파관 슬롯배열 안테나 기본 구조

안테나의 크기가 작은 경우에는 이 두 구조에 의해 구현되지만 크기가 커질수록 공진형 배열안테나 대역폭(Bandwidth) 문제를 극복하기 위해 여러 개의 구획으로 나누게 되고 각각의 구획에 적절한 크기와 위상의 전력을 공급하기 위한 도파관 층이 필요하게 되며 여기에 수반되는 다양한 결합구조와 전력분배기가 요구된다.

2.2 안테나 사양 및 기본설계

본 논문에서 기술하는 MTD 레이더용 안테나의 사양을 간단히 요약하면 X-Band에서 대역폭이 2%이고 이득은 32dB이다. 빔폭은 3°(AZ)×7°(EL)이고 부엽레벨(SLL)은 -30dB(AZ)×-25dB(EL)이다.

본 안테나는 그림 1에서 12개의 넓은 면 오프셀 슬롯이 수직방향으로 배열된 도파관 30개가 수평방향으로 배열되어 있는 구조로 구현된다. 각각의 도파관에 수직으로 배열된 12개의 슬롯이 고각방향의 빔을 결정한다. 수평방향으로 배열된 각각의 도파관은 급전도파관의 경사슬롯에 의하여 급전되고 이 30개의 급전슬롯 배열이 방위방향 빔을 결정한다. 고각방향 안테나 패턴은 Taylor, SLL=-28dB, n̄=4로 설계되고 방위방향 패턴은 Taylor, SLL=-35dB, n̄=5로

설계되었다.

실제의 구현에 있어서는 안테나의 대역특성을 고려하여 안테나 복사면이 수직방향으로 2개, 수평방향으로 3개로 나뉘어져 있으며 각각의 영역은 여러 종류의 결합구조를 이용하여 필요한 전력이 적절한 위상으로 급전된다. 본 안테나에 구현에 필요한 전력분배기나 결합구조 및 복사소자는 모두 도파관의 H-면에 구현되며 별도의 설계과정으로 통해 구현된다. 특히 복사소자인 오프셀 슬롯의 특성은 슬롯의 위치에 따른 상호결합을 고려하여 설계되며 결합슬롯의 인근에 위치하는 슬롯은 그 특성을 보상한다.

2.3 복사소자 특성 분석 및 안테나 구현

본 안테나는 구현에 있어 가장 중요한 부분은 안테나 복사면인 30×12개의 오프셀 슬롯으로 이루어지는 배열구조이다. 통상적으로 오프셀 슬롯의 공진형 배열 안테나에서는 안테나 전체를 하나의 해석구조로 보고 상호결합 등을 고려한 수학적 접근이 시도되지만[1, 2, 3] 본 안테나의 경우에는 구조가 커서 전체를 하나로 해석하는 수학적 방법이 어렵고 대역특성을 고려한 급전구조가 복잡하여 소형배열 안테나를 구현하는 방법과 대형안테나를 구현하는 방법을 복합적으로 적용하여 구현한다. 즉, 상호결합을 고려함에 있어 외곽 소자의 위치에 따른 개별특성과 중심부 소자의 평균적 특성을 동시에 고려하는 복합적방법이 사용된다.[4]

먼저 오프셀 슬롯의 가장 기본적인 특성인 슬롯의 중심에서의 오프셀에 따른 콘덕턴스와 공진주파수의 관계를 살펴보면 그림 2에서와 같이 콘덕턴스의 증가와 공진주파수의 이동을 알 수 있다.

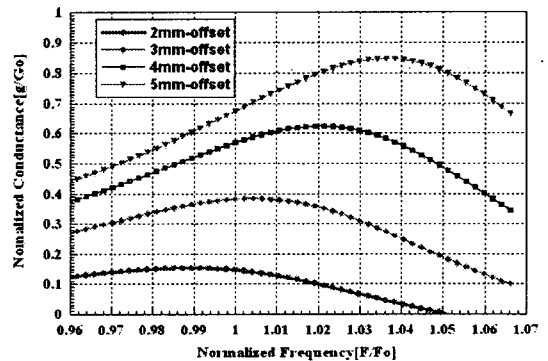


그림 2. 오프셀 슬롯의 오프셀에 따른 특성변화

이러한 기본적인 특성을 바탕으로 슬롯 상호간의 결합현상에 의한 슬롯특성의 변화를 알아야 한다. 그림 3은 이러한 특성변화를 분석하기 위한 여러 가지의 부배열 구조 중의 하나를 나타낸 것이다. 즉, H-면 방향

으로는 하나의 도파관 구조상에 동일한 오프셀을 가지는 슬롯이 직렬로 배열된 형태이고 이를 등가회로로 표현하면 그림 4와 같이 표현된다. 이러한 평균적인 접근방법은 그 정확한 값의 예측에 있어 충분히 많은 개수의 슬롯이 배열된 경우를 고려해야 유효하지만[6] 개략적인 경향은 예측할 수 있다. E-면 방향으로 이러한 도파관이 독립적으로 나란하게 놓여있는 구조이므로 위치에 따른 특성을 비교적 쉽게 예측할 수 있다. 그림 5와 6은 이러한 분석 중의 몇가지 결과이다.

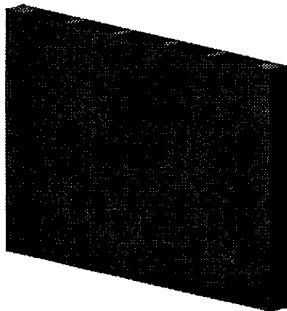


그림 3. 복사소자 특성 분석 구조

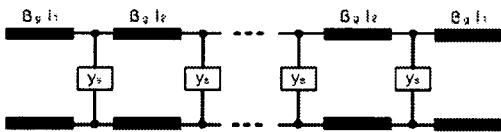


그림 4. 분석구조의 등가회로로 표현

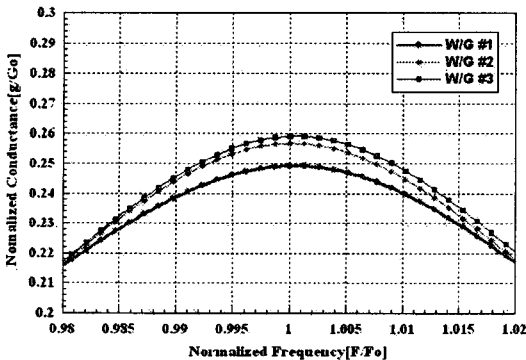


그림 5. 오프셀 슬롯의 E-면 결합에 따른 특성변화

Main-Line을 구성하는 넓은 면 경사슬롯은 그림 4와 유사한 등가회로를 통하여 해석될 수 있는데 단지 병렬회로가 직렬회로로 대체되는 차이가 있다. 기타 6개로 나뉘어진 안테나의 각 구획에 필요한 전력을 공급하기 위한 H-면 전력분배기[7], 전력분배기 층에서 Main-Line 층으로의 급전을 위한 각종 슬롯 구조 또

는 Coaxial Probe 구조 등이 구현되었다. 설계된 안테나는 다층구조로 밀링가공으로 제작되고 조립 시 접착면에 Silver Paste를 사용하였다.

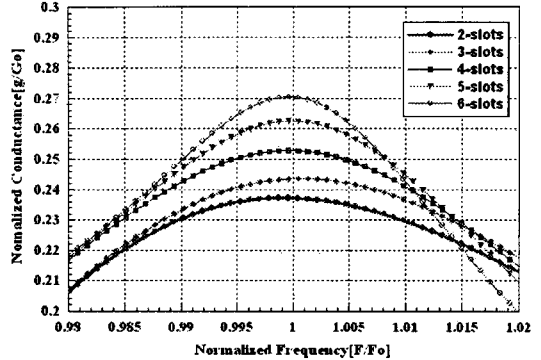


그림 6. 오프셀 슬롯의 H-면 결합에 따른 특성변화

III. 안테나 Near-Field 측정 및 분석

제작된 안테나는 그림 7과 같이 Near-Field Probe를 이용하여 측정한다. 여기에 사용된 Near-Field Probe는 MTG에 설치되어 있는 3m×1.7m 스캔영역을 가지는 정밀 평면/원통형 근접전계 측정장치이다.

그림 8과 9는 각각 측정된 Near-Field 크기와 위상을 나타낸다. 전체적으로 설계한 분포를 잘 따르고 있으나 도파관 간격의 Ripple이 보이는데 이는 제작 상 접합을 하지 않고 단순한 기계조립을 통해 구현된 안테나에서 도파관간의 누설과 결합으로 인해 보이는 전형적인 현상이다. 또한 안테나 위 부분의 위상오차는 가공 상의 오차로 보이는 현상이다.

그림 10은 그림 8, 9의 Near-Field를 이용하여 얻어진 Far-Field Pattern을 나타낸다. 안테나의 빔폭, 이득 등이 설계/예측된 범위의 값을 가지며 부엽레벨이 목표치를 달성하고 있다. 그러나 제작공정상 단순한 조립에 의하여 구현된 안테나로서 전문 접합공정에 의해 제작되면 이득의 증가와 부엽레벨 특성의 향상이 기대된다.

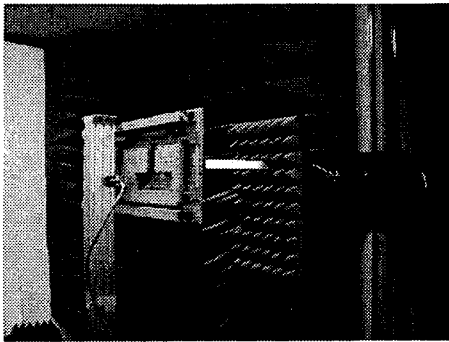


그림 7. 제작된 안테나의 Near-Field 측정

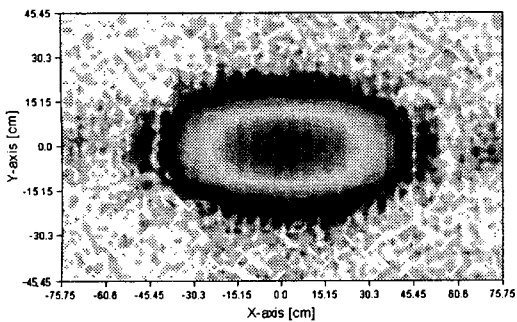


그림 8. 안테나의 Near-Field 크기분포

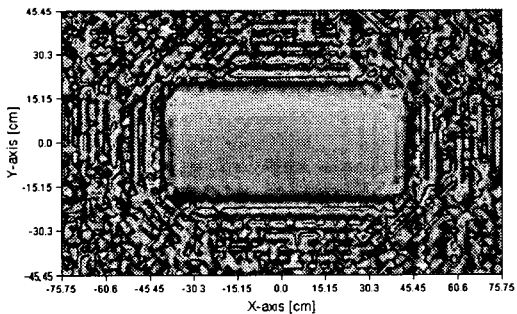


그림 9. 안테나의 Near-Field 위상분포

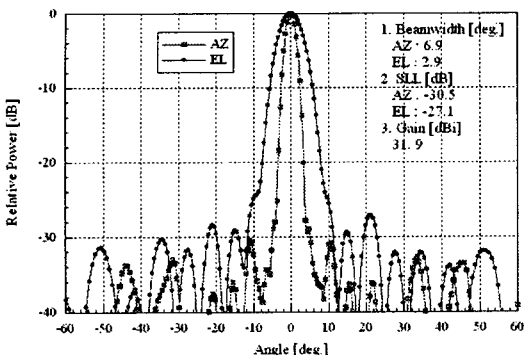


그림 10. 안테나의 Far-Field Pattern

IV. 결론

본 논문에서는 헬리콥터 탑재용으로 개발되는 MTD 레이더의 안테나로서 도파관 넓은면 오프셀 슬롯과 경사슬롯을 복사소자와 결합구조로 사용한 도파관 슬롯 배열 안테나의 구현에 대하여 기술하였다. 안테나 구현에 필요한 복사슬롯의 특성이 상호결합을 고려하여 해석되어 데이터가 확보되었으며, 각종 결합구조 및 도파관 Transition, H-면 전력분배기 등이 구현되었다. 구현된 안테나는 근접전계 측정으로 통해 결과를 분석하고 그 타당성을 입증하였다.

이러한 형태의 레이더 안테나는 국내에서는 처음으로 개발이 시도되었으나 본 개발을 통해 안테나 구현에 필요한 설계방법 및 설계 데이터가 충분히 확보되어 향후 정밀한 기계가공과 Brazing 등 정밀 접합공정을 적용하여 실전에 충분히 사용가능하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Richard C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, 3rd Edition, chap. 9, McGraw Hill, 1993.
- [2] Y. T. Lo and S. W. Lee, *Antenna Handbook*, chap. 12, Van Nostrand Reinhold, 1988.
- [3] Robert S. Elliott, "An Improved Design Procedure for Small Arrays of Shunt Slots," *IEEE Trans. Antenna Propagat.* vol AP-31, January 1983.
- [4] David. F. Kelly and Warren L. Stutzman, "Array Antenna Pattern Modeling Methods That Include Mutual Coupling Effencts," *IEEE Trans. Antennas Propagat*, vol. AP-41, pp. 1625-1632, December 1993.
- [5] Hanyang Wang and A. J. Sangster, "Analysis of Mutual Coupling in Slotted-Waveguide Arrays," *Proceedings of European Microwave Conference*, pp. 863-868.
- [6] John H. Hilburn, Ralph A. Kinney, R. W. Emmett and F. H. Prestwood, "Frequency-Scanned X-Band Waveguide Arry," *IEEE Trans. Antenna Propag.*, vol. AP-19, pp. 506-509, July 1972.
- [7] Joubert, J. and Rengarajan, S. R., "Design of unequal H-plane waveguide-power dividers for array applications," *AP-S Symposium Digest*, vol. 3, pp. 1636-1639, July 1996.