

## 평면형 발진기 적용을 통한 국방 무기체계 품질 향상 방안 연구

이영민\*, 정민경, 이원영, 최은진  
국방기술품질원 첨단미래기술센터 AI·사이버팀

### A Study on the Quality Improvement Method of Defense Weapons System through the Application Planar type Oscillator

Yeong-Min Lee\*, Min-Kyung Jeong, Won-Young Lee, Eun-Jin Choi  
AI·Cyber Team, Advanced Technology Center, Defense Agency for Technology and Quality

**요약** 4차 산업 혁명으로 인한 첨단기술 발전과 함께 국방 분야 또한 국방혁신 4.0을 추진하며 과학기술 기반의 첨단 전력 확보를 추진하고 있는 실정이다. 특히, AI 기반 무인 체계를 효율적으로 전력화하기 위해 네트워크 연동·표준, 드론 통합 관제체계 구축, 필요 주파수 확보 및 활용 기술 개발 등 기반 체계 구축을 계획하고 있다. 대표적 기반 체계로 무선 통신 시스템이 있으며 이는 AI, 무인화, 자율주행 등 첨단기술의 실제 전력화 연계에 필수적이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 무선 통신 시스템의 핵심 부품인 발진기의 특성, 구조, 종류를 소개하고 대표적 발진기인 유전체 공진 발진기의 제작 및 양산, 품질 관점에서의 취약점을 제시하였다. 이러한 취약점을 대체하기 위한 평면형 구조의 발진기를 제시하고 이로 인해 발생하는 품질 및 경제적 효과도 분석 및 제시하였다. 본 논문에서 제시된 구조의 발진기를 국방 분야 무선통신 시스템에 적용한다면 경제성, 개발 용이성, 품질 완전성 향상이 가능할 것으로 사료된다.

**Abstract** With the development of advanced technologies in the Fourth Industrial Revolution, the defense sector is pushing for "defense innovation 4.0" to secure an advanced force based on science and technology. In particular, to efficiently secure an unmanned system based on artificial intelligence (AI), the defense sector is preparing to establish an infrastructure system with features such as a network linkages and standards, an integrated drone control system, necessary frequencies, and utilization technologies. A representative infrastructure system is a wireless communication system, which is essential for the integration of advanced technologies such as AI, unmanned vehicles, and autonomous driving. In this paper, we discuss the characteristics, structure, and types of oscillators, which are key components of wireless communication systems. We also present vulnerabilities in terms of manufacturing, mass production, and quality of dielectric resonance oscillators. The use of a planar oscillator is proposed to address these vulnerabilities. The quality and economic effects generated by using this oscillator were analyzed. Applying this oscillator to wireless communication systems in defense could improve economic feasibility, ease of development, and quality.

**Keywords** : Oscillator, RF, Wireless-Communication, Quality Management, Planar Type Oscillator

---

\*Corresponding Author : Yeong-Min Lee(DTaQ)

email: ymlee@dtaq.re.kr

Received June 7, 2023

Accepted August 10, 2023

Revised July 7, 2023

Published August 31, 2023

## 1. 서론

최근 4차산업으로 인한 첨단기술의 발전으로 IoT, 자율주행, 5G 통신 등 다양한 무선통신 시스템의 변화가 발생하고 있다. 이러한 발전과 더불어 군수, 위성, 의료 등 다양한 분야에서 초고주파를 이용한 무선 통신 기기 및 RF(Radio Frequency) 센서 또한 지속적인 수요가 발생하고 있는 실정이다. 따라서, 고주파수의 전원을 안정적으로 공급할 수 있는 발진기(Oscillator)의 설계 및 양산이 중요하며 관련 연구 또한 진행되고 있는 상황이다.

발진기는 민간 뿐만아니라 군수 분야에서 레이더, 동작 감지센서(Motion detector) 등 다양하게 활용 및 운용되고 있다. 국방 분야에서 발진기를 활용하는 센서 연구도 진행되어 왔는데, 대표적으로 장갑 표적 감지센서 설계 관련 연구이다. 효율적인 표적 탐지를 위하여 전압 조정발진기를 활용한 감지센서 설계 연구가 진행되었다 [1].

발진기의 여러 가지 주요 특성 중 위상 잡음 특성은 마이크로웨이브 발진기에서 가장 중요한 특성 중 하나라고 할 수 있다[2]. 레이더, 통신기기, 위성 통신 등 다양한 무기체계를 위한 장비로 저위상잡음 국부발진기가 필수적이라고 할 수 있다. 기존 국방분야에서는 저위상잡음 국부발진기를 해외에서 구매, 도입하여 적용하였으나, 고가의 구매비용, 부품 확보 및 수리 부속 공급 문제가 발생하여 국산화 개발을 추진하였다. 이러한 저위상잡음 국부발진기의 경우 일반적으로 유전체 공진 발진기(Dielectric Resonance Oscillator)가 주로 사용되었는데 양산 간 진동에 취약점, 공정의 어려움(본딩) 등의 단점이 있다. 이러한 단점을 극복가능하며 소형, 경량화 등의 장점을 보유한 대체 형태의 발진기를 본론에서 소개하고, 대체 적용 시 품질 향상, 경제 효과 등 분석 결과를 제시하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 발진기 정의 및 기본 동작 원리

발진기에서 정의되는 발진은 트랜지스터 (transistor) 와 같이 이득을 가지는 능동소자를 이용하여 설계하고자 하는 특정 주파수의 신호를 증폭시켜, 저주파의 입력 신호를 고주파의 신호원으로 사용하는 것을 의미한다. 발진기 동작의 기본적인 원리인 주파수 피드백 블록 다이어그램을 Fig. 1에 제시하였다.

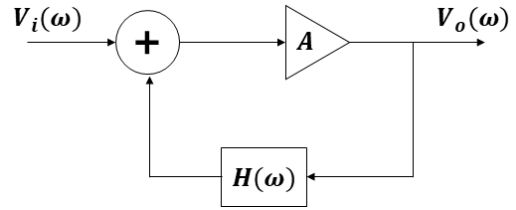


Fig. 1. Frequency Feedback Block Diagram of Oscillator

$$V_o(\omega) = \frac{A}{1 - AH(\omega)} V_i(\omega) \quad (1)$$

전압 이득 A를 가지는 증폭기의 출력 전압 Vo는 주파수 증속 전달 함수 H(w)를 가진 피드백 회로를 지나면서 회로의 입력 Vi에 더해진다[3]. 이를 출력 전압 관점에서 수식으로 표현하면 Eq. (1)과 같이 표현할 수 있다. 이 수식에서 전압이득과 주파수 증속 전달함수의 곱  $A \times H(\omega)$ 가 1이되어 분모가 0이 되는 것이 발진의 기본 조건이며 이를 바크하우젠(Barkhausen) 판별 기준이라 한다[4,5]. 이러한 발진 조건을 기본으로 다양한 형태의 발진기 설계가 진행이 가능하며, 대표적인 발진기 형태를 다음 절에서 소개하고자 한다.

### 2.2 유전체 공진 발진기

발진기의 공진기 부분으로 사용되는 가장 대표적인 공진기는 유전체 공진기(Dielectric Resonator)이다. 유전체 공진기는 품질 계수(Q factor)가 높아 주파수 선택성이 높고, 온도에 따른 공진 주파수 변화가 적어, 이를 이용한 발진기는 다른 발진기에 비해 위상 잡음 특성이 우수하고 발진주파수의 온도에 따른 변화가 적어 RF 통신시스템에 빈번하게 적용되어 왔다[6].

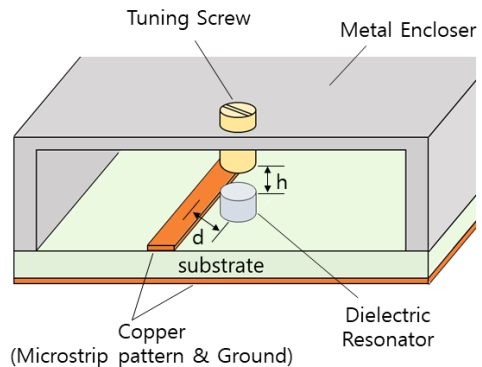


Fig. 2. Structure of Dielectric Resonator

대표적인 형태의 유전체 공진기 구조를 Fig. 2에 제시하였다.

Fig. 2와 같이 유전체 공진기는 마이크로스트립 선로에 일정 거리  $d$  만큼 떨어진 위치에 유전체 공진기가 위치하고 있으며, 기판 외곽은 방사 손실을 최소화 하고 Q 값을 증가시키기 위한 금속 공동체로 차폐되어있다. 유전체 공진기 상단에는 금속 공동체를 관통하는 형태의 튜닝 스크류(Tuning Screw)가 존재하는데, 이 나사를 이용하여 공진 주파수의 세밀한 조정이 가능하다. 또한 앞서 언급한 온도, 위상 잡음에서의 강점 뿐만 아니라 넓은 주파수 범위를 커버할 수 있다는 장점을 보유하고 있다.

하지만 이러한 유전체 공진 발진기의 경우 장점만 존재하는 것은 아니다. 제작 및 양산, 품질 관점에서는 취약점을 보유하고 있다.

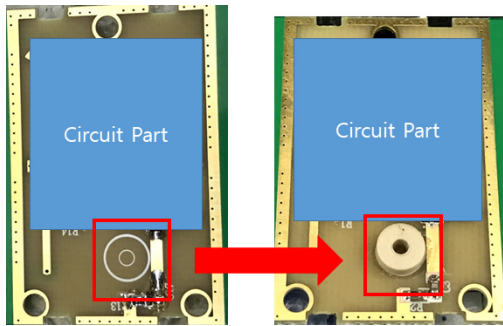


Fig. 3. Comparison before and after dielectric resonator bonding

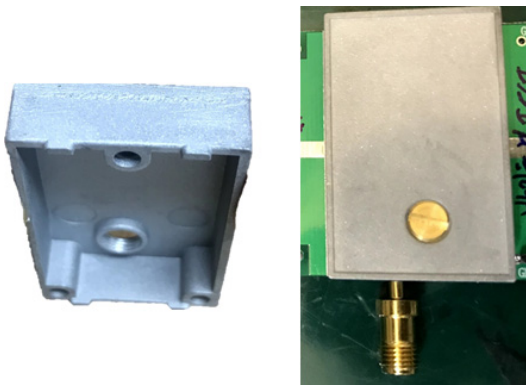


Fig. 4. Metal Enclosure inside (left) and Metal Enclosure with tuning screw engaged (right)

취약점을 보다 쉽게 설명하기 위하여 유전체 발진기 회로부에 유전체 공진기의 삽입(본딩) 전·후 그림 비교 자료와 메탈 엔클루저 및 튜닝스크류 체결 사진을 Fig. 3과 4에 각각 제시하였다.

첫 번째 취약점은 Fig. 3과 같이 설계 완료 후 mock-up (Mock-up) 제작 단계에서부터 수공정으로 유전체 공진기를 고정시키다 보니 개발의 완성도 관점에서의 품질이 떨어지게 된다. 본딩을 위한 본드의 양이 미세하게 달라져도, 유전체 공진기의 위치 또한 미세하게 변화하게 된다. 즉, 유전체 공진기와 마이크로스트립 선로의 거리에 따른 주파수, 발진 출력의 편차가 발생하기 때문에 양산(생산)으로의 이관 단계에서 규격화에 대한 명확한 정의가 어렵다.

Fig. 3에 제시되었던 유전체 공진기의 위치에 따른 문제점과 유사하게 메탈 엔클루저, 튜닝 스크류와 같은 설치 상의 편차가 발생할 수 있다. 특히 Fig. 4와 같이 공진 주파수의 미세한 보정을 위한 튜닝 스크류의 경우 야전 운용 시 진동에 따른 나사의 회전이 발생하여 발진 주파수가 변동될 가능성이 있다. 도플러 레이더 원리가 사용되는 민수 분야의 대표적인 제품(자동차문, 실내외 모션 감지 센서 등)에 사용되는 발진기의 경우 무선 설비 기술 기준 법령에 X-band 대역에서 10.5~10.55GHz로 제시되어 있다[7]. 따라서 그 중심 주파수인 10.525GHz로 최초 세팅을 진행하게되는데, 이 또한 본딩이나 납땜 작업 등을 통해 별도의 고정을 시키지 않게 되면 스크류가 미세하게 회전하여 유전체 공진기와의 거리가 달라지게 된다. 이에 따라 공진 주파수가 미세하게 변화하는 상황이 발생할 수 있는데, 만약 이 편차가 더욱 커지게 되면 운용 상황에서 발진기 후단인 믹서(Mixer)에서 IF(Intermediate Frequency) 변환 시 수치적인 오차가 발생할 수 있으며, 증폭기를 거치면서 모듈 전체의 품질 저하가 발생할 수도 있다.

셋째, 가격적인 측면에서의 취약점이다. 대량 생산하는 물품의 경우 유전체 공진기, 메탈 엔클루저, 튜닝 스크류 등과 같은 금속 재료와 세라믹 재료가 추가됨에 따라 추가 금액이 발생하게 된다. 이러한 재료비 추가 뿐만 아니라 공정 과정 또한 수공정이 이뤄져야하므로 인력에 대한 비용과 공정 단계의 추가로 인한 비용이 발생하게 되므로 가격적인 측면에서도 단점이라고 할 수 있다.

위에서 언급한 취약점들은 주파수 대역 범위 내에서의 미세한 변동이 발생할 경우에는 이상이 없다고 판단되어질 수도 있지만, 민수분야가 아닌 군이라는 특수한 환경에서 사용된다면 정밀성이 더욱 요구되어야 한다고 판단된다.

따라서 다음 절에서 이러한 단점을 보완하여 군 운용 환경과 양산, 설계, 가격 측면에서 장점을 보유한 평면 형태의 발진기를 소개하고, 이러한 구조의 발진기로 대체하였을 때의 기대효과를 제시하고자 한다.

### 2.3 평면형 발진기 소개 및 대체 기대효과

본 절에서는 기존 발진기의 단점을 보완할 수 있는 평면 형태의 발진기 구조와 이론에 대하여 설명하고자 한다.

앞서 제시된 유전체 공진기와 같은 3차원 구조가 아닌 마이크로 스트립 패턴으로 구현이 가능한 평면 형태의 공진 구조를 Fig. 5에 제시하였다.



Fig. 5. Typical planar resonator structure (left: hairpin, right: ring)

대표적으로 헤어핀(Hair-pin) 구조와 링(Ring) 구조가 유전체 공진기를 대체할 수 있는 평면 구조라고 할 수 있다. 헤어핀 공진기의 가장 기본적인 형태는 설계하고자 하는 공진주파수의 파장 대비 반파장( $\frac{\lambda}{2}$ ) 길이로 설계가 되며, 부가적으로 집중소자 또는 결합선로를 이용한 형태로 설계가 가능하며 유사한 공진기로는 스파이럴(Spiral) 공진기 등이 있다.

기존 스트립 선로와 별도의 구조체(유전체 공진기)나 선로 구조(헤어핀 패턴, 스파이럴 패턴 등)와의 커플링 결합을 통해 공진을 발생하는 형태가 아닌 기존 스트립 선로에 슬롯이라 불리는 형태의 홈을 파서 원하는 공진을 발생시키는 구조도 존재하고 있다. 대표적인 형태의 공진 구조를 Fig. 6에 제시하였다.

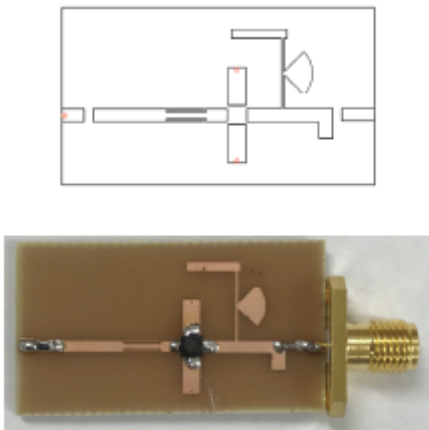


Fig. 6. Slot-type planar resonator structure and specimen

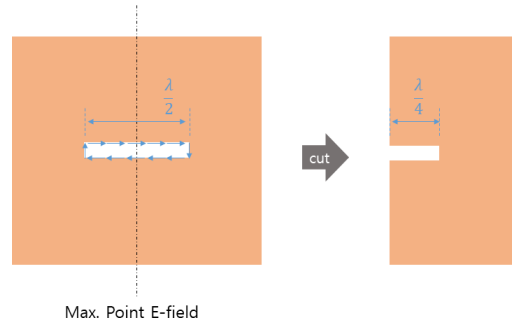


Fig. 7. Open-Ended Slot Structure Fundamentals

이 공진 구조는  $1/4$  파장( $\frac{\lambda}{4}$ ) 개방 종단 슬롯 구조로 반파장 길이의 슬롯 구조로부터 고안된 구조이다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 전류가 반파장 길이의 슬롯을 따라 흐르면서 특정 주파수의 공진이 발생하게 되는데 전계가 최대가 되는 반파장 중심부(전기적 개방지점, 전계가 최대가 되는 지점)을 자계벽(Magnetic Wall)으로 간주·절단하여 다이폴(Di-pole) 구조에서 모노폴(Mono-pole) 형태로 소형화 한 구조이다[2].

이러한 평면 형태의 공진부를 가진 발진기를 사용하였을 때 앞 절에서 제시한 유전체 공진 발진기의 품질 및 가격적인 취약점을 보완할 수 있다. 대표적인 국방 및 민수분야의 발진기 종류, 적용분야(기술), 대체 기대효과를 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Fields of applications and expected effects by type of oscillator

Oscillator type	Fields of application(technology)	Alternative expected effect
DRO	Doppler radar, motion detector, etc	Securing mass production quality, lightening weight, rapid product development and mass production, mitigating parts discontinuation, etc
VCO	communications equipment, radar, etc	
OCXO	Circuit card assembly, etc	
Rubidium Oscillator	Communication devices for 4G/LTE/Wimax bands, etc	
Solid Laser Oscillator	High Energy Laser Weapon System[8], etc	

Table 1에 제시된 5종의 발진기들은 국방 및 민수 분야에서 다양한 기술에 적용이 가능한 발진기들이다. 이외에도 매우 많은 형태의 발진기가 존재한다. 유전체 공진 발진기(DRO)의 구성과 동작 원리 경우 앞 절에서 구체적으로 설명하였고, 대표적으로 도플러 레이더 원리를

이용한 모션 감지 센서 등에 적용이 가능하다.

통신장치, 레이더 수신용 국부 발진기 등으로 사용이 되는 전압 제어 발진기 VCO(Voltage Control Oscillator) 또한 DRO와 마찬가지로 대체가 가능할 것으로 사료되며, DRO와 VCO의 평면형 발진기 대체 시 양산 단계에서의 품질 향상, 경량화, 제품 개발 및 조립의 신속성 등을 기대할 수 있다.

특히 국방 분야에서도 루비덤 발진기, 회로카드 조립체의 OCXO(Oven Controlled Crystal Oscillator) 발진기, 고에너지 고체레이저 발진기, 군 위성통신용 저위상잡음 국부발진기 등 다양한 형태의 발진기가 도입되어 사용되어 왔다. 국방 분야에서 대표적으로 발생하는 문제점이 부품 단종과 관련된 문제인데 평면형 발진기로의 대체 적용이 가능한 발진기라고 가정하였을 때, 사용되는 부품 수를 줄이는 것 자체로 부품 단종을 대비할 수 있는 하나의 방법이라고 사료된다. 대표적인 국방 분야 발진기 단종 사례로 OO OOO 하위 조립체 중 OOOOO의 구성품 내 루비덤 발진기 단종 사례가 있다.

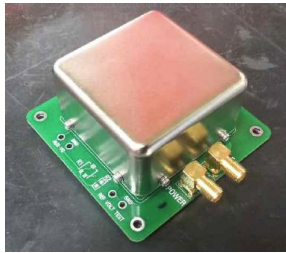


Fig. 8. OCXO(Oven Controlled Crystal Oscillator) Shape

회로카드 조립체에 업컨버터 등의 용도로 대표적으로 사용되는 발진기인 OCXO를 Fig. 8에 제시하였다. OCXO 또한 회로기판 위에 오븐 형태의 메탈과 크리스탈 등이 포함된 3차원 구조가 올라가 있는 구조이다. OCXO의 출력, 주파수 등 특성이 호환 가능하다는 전제 조건에서 OXCO를 평면 형태의 발진기로 대체한다면 소형·경량화, 경제성 등의 장점을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

마지막으로 유전체 공진 발진기가 평면형 발진기로 대체 되었을 때의 경제성 분석을 진행하였다. 단가 조사를 통해 양산 수량 1000개를 전제로 계산하여 Table 2에 제시하였다. 유전체 공진기의 경우 인터넷 쇼핑몰 알리바바 기준 1000개 3000US 달러 금액으로 환율 변동에 따라 차이가 있을 것으로 생각되나 '23년 3월 시점 (1USD = 1,290원)에서는 약 3870원 정도이다. 메탈 엔

클루저의 경우도 일반 소형 알루미늄 금형 제작 기준 세트당 1US 달러, 즉 1,290원이다. 튜닝 스크류도 별도 제작이 필요한 부품이라 정확한 단가 계산은 어려우므로 시증의 1차 나사 기준으로 제시하였다.

Table 2. Price Calculation of Dielectric Resonant Oscillator component [9-11]

Dielectric resonance oscillator component	Price (won) [based on quantity of 1000 units]	Price per unit (won)
Dielectric resonance	3,870,000	3,870
Metal enclosure	1,290,000	1,290
Tuning screw	645,000	645
PCB fabrication	1,954,000 (100*50 mm2)	1,954
Other parts mounting	2,142,000 (SMD part 10EA, Pin 4)	2,142

유전체 공진 발진기를 평면 형태의 발진기로 대체하였을 때, Table 2 하위의 PCB 제작, 기타 부품 실장을 제외한 유전체 공진기, 메탈 엔클루저, 튜닝 스크류가 불필요하게 되며 그 금액은 1000개 기준 5,805,000원이다. 경제적인 금액 절약 비율은 기존 유전체 공진 발진기 9,901,000원에서 평면형 발진기 4,096,000원으로 기존 대비 41.36%로 약 58%의 절감율을 보이고 있다. 물론 상기 표의 경우 일반 상용 부품 단가와 특정 PCB, SMD로 단순 계산한 결과이므로 수치적인 변동 가능성은 있으나, 경제적인 효과는 분명히 있다고 판단된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 민수, 국방 분야 RF 시스템에 필수적으로 사용되는 발진기 시스템적인 구성과 동작 원리를 제시하였다. 실제 국방 분야에서 발생되었거나 발생할 수 있는 문제인 단종, 양산 불량 등을 제시하고 이를 해결하기 위한 대안을 제시하였다. 구체적인 사례로 유전체 공진 발진기를 평면 형태의 공진기로 대체하게 될 경우의 경제적인 효과 분석을 수행하여 국방 분야 적용 가능성을 제시하였다.

현재 부품 국산화, 현존 전력 극대화 사업 등 국방 분야에서 기존에 사용되어온 체계 또는 부품 등을 새롭게 개발하거나 대체하여 성능을 개량하는 사업이 진행되고 있는데, 유사 발진기 항목이 있다면 본문에서 제시한 경제성, 품질의 완전성, 개발 용이성 등의 측면에서 평면형 발진기 적용을 논의할 필요가 있을 것으로 생각된다.



## References

- [1] J. E. Roh, J. H. Choi, J. W. Li, and B. C. Ahn, "A Design Method of the 94GHz(W-Band) Waveguide Harmonic Voltage Controlled Oscillator for the Armor Sensor", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.8, No.3, pp.264-72, 2005.
- [2] Y. M. Lee and Y. S. Lee, "Design of transistor oscillator for X-band application using a pair of L-shaped monopole slot resonator", *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol.21, No.1, pp.107-114, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.1.107>
- [3] D. G. Shin, "Design of a X-band Doppler Radar Sensor Using Dielectric Resonator", Master's thesis, Kumoh national Institute of Technology, pp. 8.
- [4] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd ed, Wiley, 2009.
- [5] Guillermo González, *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- [6] D. Kajfez, P. Guillon, *Dielectric Resonators*, Norwood, MA, Artech House, Inc., 1986
- [7] Ministry of Science and ICT, Technical requirements for unlicensed wireless device.  
[\[https://www.msit.go.kr\]](https://www.msit.go.kr)
- [8] M. W. Shin, "A Study on the Development of High Energy Laser(HEL) Weapon System", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.5, pp.141-150, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.5.141>
- [9] <https://korean.alibaba.com>
- [10] <https://www.hsdgt.com/order/price.html>
- [11] <https://www.junint.co/calprice-beta>

이 영 민(Yeong-Min Lee) [정회원]



- 2016년 8월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 국방기술품 직원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

국방품질경영, RF 회로 설계, 안테나 설계 및 해석

정 민 경(Min-Kyung Jeong) [정회원]



- 2020년 2월 : 부산대학교 나노메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 직원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 전자회로, 반도체 공정기술

이 원 영(Won-Young Lee) [정회원]



- 2019년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 (공학사)
- 2021년 2월 : 홍익대학교 전자전산공학과 (공학석사)
- 2020년 11월 ~ 21년 12월 : 국방기술진흥연구소(KRIT) 연구원
- 2022년 1월 ~ 현재 : 국방기술품 직원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 소프트웨어 설계검증, K-RMF

최 은 진(Eun-Jin Choi) [정회원]



- 2019년 2월 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2021년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2022년 7월 ~ 현재 : 국방기술품 직원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 사이버보안, RMF(Risk Management Framework) 등