

박격포탄용 다중선택식신관 폭발 고도 개선에 관한 연구

안대희^{1*}, 배성수²

¹국방기술품질원, ²한화에어로스페이스(주) 보은사업장

Research on Improvement of Height of Burst for Multi-Option Fuze for Motar Shell

Dae-Hee An^{1*}, Seong-Soo Bae²

¹Defense Agency for Technology and Quality

²Hanwha Aerospace Boeun Plant

요약 본 연구는 규격 하한치에 근접한 신관 근접기능의 폭발 고도 개선에 관한 연구내용이다. 최근 수행한 신관의 수락시험 결과 0호 장약과 저온(-32 °C)에서 근접기능의 평균 폭발 고도(height of burst)가 규격 하한치에 근접하는(규격 하한치와 1.33 % 차이) 결과가 반복되었고, 작은 변수에도 규격 불일치가 발생할 수 있어 개선이 필요하였다. 원인분석을 통해 신관 부품인 전자부조립체와 풍력 발전기 조립체의 문제를 확인하였고, 각 부품을 개선하여 문제를 해결하고자 하였다. 전자부조립체는 노이즈 발생과 적분커패시터의 충전효율 저하가 원인으로 회로에 Bypass Capacitor를 추가하였고 경제성을 고려해 용량은 100 μ F를 적용하였다. 풍력 발전기 조립체는 상온(21 °C) 대비 저온에서 전압이 부족한 것이 원인으로, 발전기에 사용되는 코일의 지름을 증가하여 전원공급능력을 향상하였다. 각 부품 개선 후 실제 사격환경에서의 성능을 확인하기 위해 수락시험을 하였다. 결과는 규격 하한치와 차이가 1.33 %에서 개선 후 22 %로 증가하여 성능개선을 확인하였다.

Abstract This study focused on improving the height of burst (HOB) for the proximity function of a fuze, which is close to the lower limit of the standard. Recent acceptance tests of this fuze showed that the average HOB in the proximity function, using charge 0 at a low temperature of -32 °C, repeatedly approached the lower limit of the standard (with a difference of 1.33%). This indicated potential non-compliance with standards, even for minor variables, necessitating improvements. A root-cause analysis identified issues in the electronic monitor and turbine/alternator assemblies. In response, targeted improvements were implemented for each of these components. The electronic monitor assembly was modified by adding a bypass capacitor to the circuit, addressing the issues of noise generation and reduced charging efficiency of the integration capacitor. The capacity was determined to be 100 μ F, considering cost-effectiveness. Regarding the turbine/alternator assembly, the issue of insufficient voltage at low temperatures compared to ordinary temperature (21 °C) was resolved by increasing the coil diameter, thus enhancing the power supply capability. After these component improvements, acceptance tests were conducted in real firing conditions to verify the performance. The results revealed an increase from a 1.33% difference with respect to the lower limit of the standard to 22% after improvements, confirming the enhanced performance.

Keywords : Multi-Option Fuze, Height of Burst, Proximity, Bypass Capacitor, RSA

*Corresponding Author : Dae-Hee An(Defense Agency for Technology and Quality.)

email: mirae4@dtaq.re.kr

Received January 29, 2024

Accepted April 5, 2024

Revised February 20, 2024

Published April 30, 2024

1. 서론

신관(fuze)은 충격을 받거나 목표 시점에 포탄(shell)을 폭발시키는 기능을 수행하도록 설계된 장치다[1,2]. 과거의 신관은 정밀한 부품으로 구성된 기계 장치의 구동을 통한 기계식 신관이 주로 사용되었으나, 기술의 발전으로 회로 제어를 통해 기능을 수행하는 전자식 신관으로 대체되고 있다[3,4].

박격포탄용 다중선택식신관은 전자식 신관으로 목적에 따라 근접, 초근접, 충격, 지연 기능으로 사용할 수 있다. 여기서 근접, 초근접, 충격 기능은 신관에서 방출한 신호가 목표물에 반사되어 오는 신호를 감지하여 고도를 판단하고 설정된 높이에서 폭발하여 살상효과를 낸다. 지표면에서 포탄이 폭발하는 경우 공중폭발 대비 50 % 이상의 에너지가 손실되는 것으로 알려져 있으며[5], 따라서 공중폭발을 위한 근접, 초근접 기능이 신관의 주요 기능이다. 기능의 중요성으로 인해 국방규격에서는 근접, 초근접 기능의 성능 확인을 위해 각 탄의 폭발 고도(근접, 초근접) 및 평균 폭발 고도(근접) 요구조건이 있으며, 수락시험을 통해 규격을 만족하는지 확인한다.

최근 수행한 신관의 수락시험 결과 0호 장약과 저온(-32 ℃)에서 근접기능의 평균 폭발 고도가 규격 하한치에 근접한 결과가(규격 하한치와 1.33 % 차이, 국방규격 요구조건에 대한 세부내용은 보안상 비공개) 반복되는 것을 확인하였다. 비록 현재 수락시험 결과는 규격을 만족하지만, 규격이 하한치에 근접해 있는 만큼 작은 변수에도 규격 불일치가 발생할 수 있어 사전에 예방할 필요가 있다.

본 논문은 0호 장약과 저온에서 폭발 고도 저하가 발생하는 원인을 분석하고 해결방안에 관한 연구사례를 소개한다.

논문의 구성 및 연구방법은 Table 1과 같다. 문제점을 분석하고 그 결과에 따라 개선방안을 적용하였으며, 수락시험을 통해 성능개선 여부를 확인하였다. 발생할 수 있는 문제를 예방해 신관의 신뢰성을 확보하고 나아가 문제 발생 시 수반되는 불필요한 행정력 및 비용 절감의 효과를 기대한다.

2. 신관의 구성 및 원인분석

2.1 신관의 구조

신관의 구조를 간략하게 표현하면 Fig. 1과 같다. 신관의 작동원리를 간단하게 설명하면 우선 신관 기능을 선택하고 사격한다. 사격 시 발생하는 후진 관성력에 의해 S/A의 잠금이 해제되며, 신관 앞부분의 구멍으로 흡입된 공기가 TA의 터빈을 돌려 2차 잠금 해제 및 신관의 전원을 공급한다. 이후 전원을 공급받은 전자부는 신관의 기능에 따라 설정된 조건에서 booster를 점화하여 탄을 기폭시킨다.

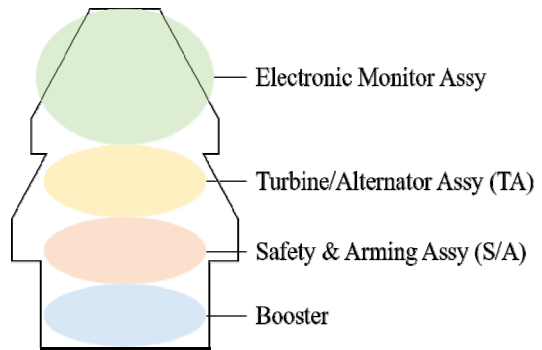


Fig. 1. The structure of fuze

2.2 전자부조립체

전자부조립체는 발전기에서 공급된 전원으로 작동되며 신관의 기능을 수행하는 전자회로로 구성되어 있다. 전자부조립체가 기능을 수행하는 메커니즘은 Fig. 2와 같다. RF 센서부의 안테나가 신호를 송신하고 목표물에 반사되어 돌아오는 신호를 수신하여 도플러 신호를 검출한다. 이를 신호 처리부에서 신호를 증폭, 검출, 적분, 판단하여 현재 탄약의 고도를 판단한다. 이후 탄약이 목표물에 근접하면 사격 전 선택된 기능(근접, 초근접, 충격)에 따라 설정된 높이에서 기폭신호가 발생해 탄약을 기폭시킨다.

Table 1. A procedure about the study

2. Structure of fuze and cause analysis (Analyzing the mechanism of the fuze and identifying potential problems)
↓
3. Improvement and test results (Analyze the cause, derive a solution and verification)
↓
4. Conclusion (Summary of research contents and expected effects)

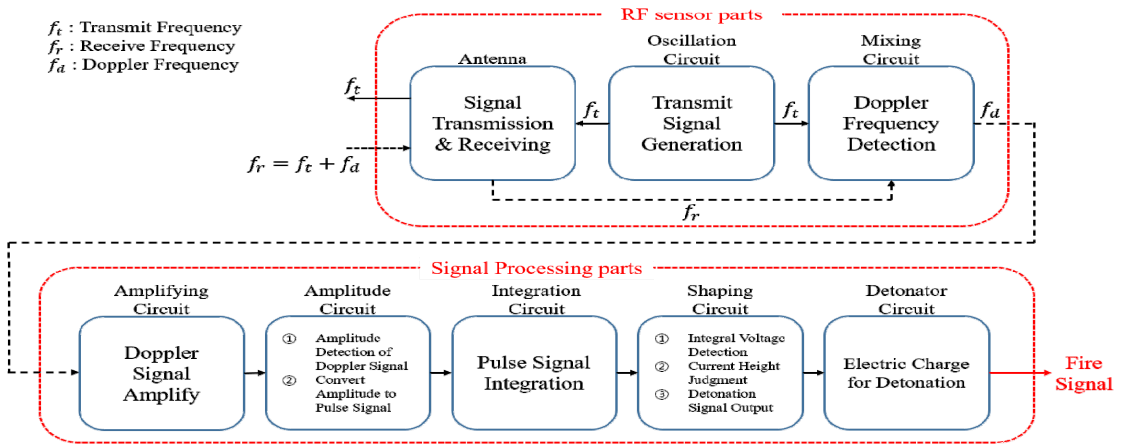


Fig. 2. Fuze operation block diagram

2.3 풍력 발전기 조립체

전자식 신관이 작동하기 위해서는 전원공급이 필요하다. 전자식 신관의 전원 공급원으로는 납전지 혹은 리튬 전지를 사용하거나[6], 풍력을 통해 전원을 생성하여[7] 신관에 전원을 공급하는 방법이 있다. 해당 신관은 이 중 풍력을 이용한다. 비행 중 유입된 공기가 터빈 날개를 돌리면 연결된 교류 발전기의 회전자가 회전하면서 전원을 발생시켜 전자부에 전원을 공급한다.

2.4 폭발 고도 저하 원인분석

신관의 폭발 고도 저하는 특정한 조건(0호 장약, 저온)에서만 발생하는 것으로 확인되어 해당 조건을 재현하여 원인을 분석하였다.

2.4.1 전자부조립체

원인분석을 위해 전자부조립체를 분석하였고, 그 구성품인 증폭기 조립체에서 문제가 있음을 확인하였다. 증폭기 조립체는 목표물에 반사되어 수신된 신호를 증폭하는 역할을 한다. 증폭기 조립체에 0호 장약일 때 수신되는 신호를 인가하였을 때 나타나는 파형은 Fig. 3과 같다. 기폭신호 출력 전 SCR 게이트에서 노이즈가 8회 발생하며 적분 커패시터의 충전속도가 저하되는 현상을 확인하였다. 이는 기폭신호 발생 전 고도 판단을 위해 다수의 논리회로가 동시에 동작하면서 순간적인 전력 소모가 증가하는데 이때 회로 내 전원공급 과정에서 노이즈 발생과 적분 커패시터의 충전효율이 저하된 것으로 판단하였다.

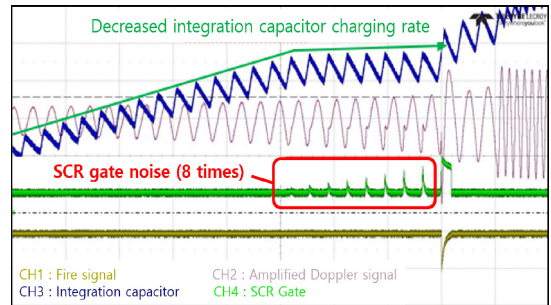


Fig. 3. Electronic Monitor Assembly Waveform Analysis

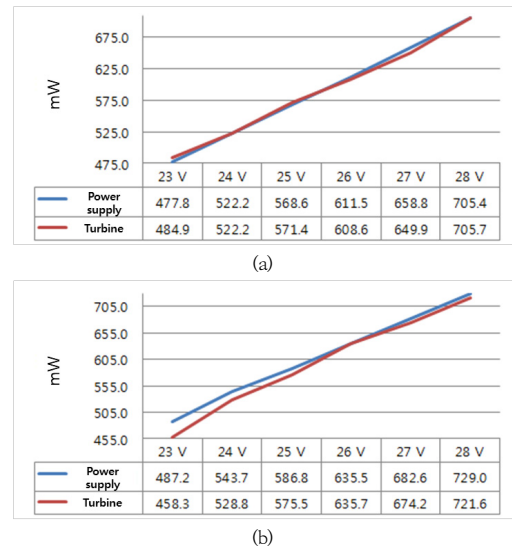


Fig. 4. Power Supply, Turbine Comparison
(a) Ordinary temperature (b) Low temperature

2.4.2 풍력 발전기 조립체

발전기 조립체는 저온에서의 폭발 고도 저하와 관련이 있었다. Fig. 4는 전원공급 방식에 따른 특성을 시험한 결과다. 전원공급기와 발전기 조립체를 통해서 전원을 공급하고 상온(21 ℃)과 저온에서 전력량을 비교하였다. 시험결과 상온에서는 전원공급기와 발전기 조립체를 통해서 전원을 공급하였을 때 공급되는 전력량은 큰 차이가 없었다. 그러나 저온에서는 발전기 조립체의 전력량이 전원공급기 대비 떨어지는 현상을 확인하였다.

Fig. 5는 사격 시 관측한 RSA(Real Spectrum Analyzer) 파형이다. 발사 후 발전기 조립체에 의해 신관 전자부에 전원이 공급되며 공급되는 전압에 따라 신관의 발진주파수가 변화된다. Fig. 5의 파형을 살펴보면 발사 직후 주파수가 높아지다 탄이 정점을 향해 갈수록 주파수가 낮아진다. 이후 탄이 정점일 때를 기점으로 다시 하강하게 되면 이때부터 다시 주파수가 높아진다.

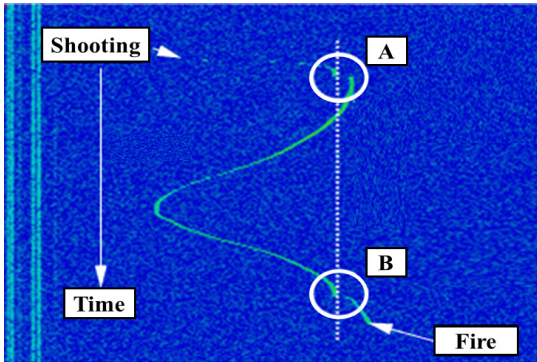


Fig. 5. RSA Waveform during shooting

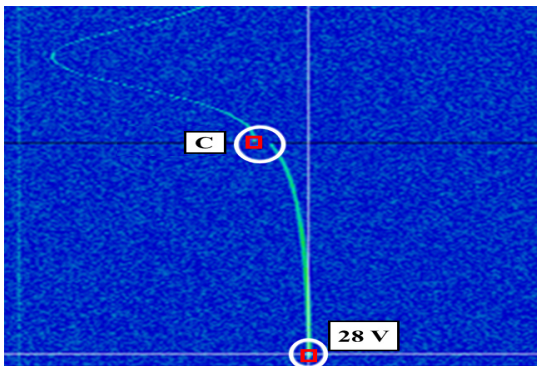


Fig. 6. RSA Waveform(ordinary temp.) during shooting

Table 2. Ordinary and Low temp. RSA Analysis Summary

Type	Frequency difference between Event and Fire [MHz]
0 Charge, 21 ℃	0.78
0 Charge, -32 ℃	0.57

Table 3. Frequency Variation with Voltage

Voltage [V]	Frequency [MHz]	Frequency difference from 19 V [MHz]
24	864.867	0.964
23	864.747	0.884
22	864.607	0.704
21	864.407	0.504
20	864.203	0.3
19	863.903	0

Fig. 5에서 A, B 지점을 살펴보면 동일한 지점에서 주파수가 급격하게 변하는 현상을 확인할 수 있다. RSA 분석을 통해 유추할 수 있는 상황은 A, B 지점에서 발생하는 현상은 특정 전압에서 발생하는 이벤트이고 B에서 기폭까지의 비행시간이 상온과 저온에서 차이 나는 만큼 폭발 고도의 차이가 발생할 수 있다고 판단하였다.

Fig. 6은 상온에서 사격할 때 측정된 RSA 파형이다. 기폭 시 전압은 28 V로 C 지점에서 기폭까지의 주파수 차이는 1.2 MHz로 측정되었다. 이를 전압으로 환산하면 C 지점의 전압은 약 19~20 V로 추정할 수 있다. 회로 설계상 19~20 V의 전압이 인가되면 내부 회로의 Gate들이 장전 모드로 전환되는데 이때 순간적으로 주파수가 급격히 변한다고 판단하였다. Table 2는 0호 장약 상온, 저온에서 RSA 파형 분석결과로 이벤트로부터 기폭까지의 주파수 차이를 나타낸 것으로 저온과 상온의 주파수는 약 0.21 MHz의 차이가 난다. 주파수의 차이는 전압의 차이이며 저온일 때 상온대비 전압이 부족하여 장전이 늦어지며 그만큼 폭발 고도가 낮아진 것으로 판단하였다. Table 3은 전압에 따른 발진주파수 측정값을 정리한 내용이다. 이벤트 발생 시점의 전압을 19 V로 가정했을 때 19 V를 기준으로 0.704 MHz와 0.504 MHz의 차이가 나는 지점은 대략 22 V, 21 V이다. 이를 Table 2의 측정결과에 대입하면 대략적으로 상온일 때 22 V, 저온일 때 21 V로 유추할 수 있으며, 발전기 조립체가 저온일 때 상온대비 1 V의 공급전압이 부족해 상온대비 상대적으로 느리게 충전되어 장전이 늦어지는 만큼 폭발 고도가 저하된다고 판단하였다.

3. 성능개선 및 시험결과

앞서 2절에서 분석된 원인분석 결과를 바탕으로 전자부조립체, 풍력 발전기 조립체의 개선방안을 도출하였고 개선내용 및 시험결과는 아래와 같다.

3.1 전자부조립체

전자부조립체의 충전 효율 저하 및 노이즈 제거를 위해 전원부에 Bypass Capacitor를 추가하였다. Bypass Capacitor는 전원부의 임피던스를 낮게 유지하여 노이즈를 GND로 제거하기 위해 사용되며, 주로 10 μF 또는 이상의 용량을 사용한다[8]. 또한, 전력을 저장하고 공급하는 역할에 의해 부족한 전력으로 인한 충전 효율 저하를 예방하고자 하였다.

Table 4는 Capacitor 용량에 따른 충전부터 기폭까지의 시간과 노이즈 발생 횟수를 정리하였다. 10 μF 이상의 Capacitor를 추가하였을 때 Capacitor가 없을 때보다 충전 효율이 개선되어 충전 시간이 단축되고 노이즈가 감소하였다. 100 μF 이상인 경우 용량증가에 따른 효과성이 크지 않아서 경제성을 고려하여 100 μF 의 Capacitor를 적용하기로 하였다.

Table 4. Noise According to Capacitor Capacity

Capacitor Capacity [μF]	Result	
	Time between charge and fire [ms]	Noise
None	157.6	8 times
10	152.0	6 times
47	133.5	3 times
100	127.8	1 time
150	127.3	1 time

3.2 풍력 발전기 조립체

풍력 발전기 조립체는 발전기 조립체의 전력 증가를 위해 발전기 조립체에 사용되는 코일의 지름을 \varnothing 0.13에서 \varnothing 0.14로 증가시켜 전원공급능력을 향상하고자 하였다. 코일은 자재 수급성, 조립 호환성 등을 고려하여 KS C 3107의 2종을 적용하였다. 변경 후 제품의 성능을 확인하기 위해 100 EA의 제품을 대상으로 기능검사를 하였고 그 결과는 Table 5와 같다. 검사결과 개선품이 기존품 대비 1 V의 전압이 상승함을 확인하여 앞서 문제가 되었던 저온에서의 전압부족 현상을 개선하였다.

Table 5. Voltage Comparison Before and After Improvement

Temperature	Voltage [V]		
	Before Improvement	After Improvement	
Ordinary Temperature (21 $^{\circ}\text{C}$)	21	22	avg : 22.0 max : 22.5 min : 21.7
High Temperature (63 $^{\circ}\text{C}$)	21	22	avg : 22.1 max : 22.4 min : 21.8
Low Temperature (-45 $^{\circ}\text{C}$)	20	21	avg : 21.3 max : 21.6 min : 20.9

3.3 완성탄 수락시험

완성 신관의 실제 사격환경에서 성능개선 확인을 위해 수락시험을 수행하였다. 수락시험은 국방기술품질원 서화시험장 및 국방과학연구소 다락대시험장에서 수행하였다. 탄약 사격 조건은 Table 6과 같으며 수락시험 중 근접기능을 중심으로 시험하였다.

Table 6. Acceptance Test

Charge	Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	Mode	Test area
A	21	Proximity	ADD Darakdae
A	-32	Proximity	
B	21	Proximity	
C	52	Proximity	DTaQ Seohwa
D	21	Proximity	
D	21	Proximity	

수락시험 결과 기존에 문제가 발생하였던 0호 장약과 저온 조건에서 규격 하한치와의 차이가 약 22 %로 벌어져 기존의 1.33 % 대비 폭발 고도가 상승하였음을 확인하였다. 또한, 0호 장약과 저온 조건 이외에 조건에서의 근접기능을 확인하였으며 전량 정상작동하여 다른 조건에서의 근접 성능도 이상 없음을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 신관 수락시험 중 식별된 0호 장약과 저온 조건에서의 근접기능 성능 저하를 개선하기 위해 연구를 수행하였다.

원인분석을 통해 폭발 고도 저하의 원인이 전자부조립체, 풍력 발전기 조립체에 의해 발생함을 확인하였고 개

선을 수행하였다. 전자부조립체는 구성품인 증폭기 조립체에서 발생하는 노이즈와 충전효율 저하로 인해 문제가 발생하였고 Bypass Capacitor 를 추가하여 노이즈 제거 및 충전 효율을 높였다. 풍력 발전기 조립체는 저온에서의 발전효율 저하와 연관이 있어 코일의 지름을 $\varnothing 0.13$ 에서 $\varnothing 0.14$ 로 변경하여 전원공급능력을 향상시켰다. 이후 근접기능 성능 확인을 위해 개선된 부품을 적용하여 수락시험을 수행하였다. 문제가 발생한 0호 장약과 저온에서의 근접기능 폭발 고도가 규격 하한치와 1.33 % 차이에서 22 %로 증가하여 기존의 신관 대비 폭발 고도가 상승하여 성능이 개선되었다. 앞으로도 양산 수락 시험 데이터를 지속해서 관찰하여 동일현상 재발 여부를 확인하고, 품목을 확대해 본 연구사례와 같이 규격 한계에 인접하는 경우 사전 품질 확보를 위한 연구를 수행할 예정이다.

한편, 본 연구결과를 통해 근접기능을 가진 전자식 신관에서 발생할 수 있는 문제점에 대하여 원인분석 및 해결방안을 제시하여 유사문제 발생 시 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] R. Bowyer, Dictionary of Military Terms : Over 6,000 Words Clearly Defined, p.282, Bloomsbury Information, 2007, pp.104.
- [2] S. Bull, Encyclopedia of Military Technology and Innovation, pp.327, Greenwood, 2004, pp.98-99.
- [3] S. Y. Jo, "A Study on the Impact Sensing Device for Improving the Firing Function Reliability of ESAF", *Journal of the KIMST*, Vol.18, No.5, pp.525-531, Oct. 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2015.18.5.525>
- [4] K. J. Soh, M. K. Kim, D. H. Lee, "Numerical Investigation for Multi-layer Shock Absorber to Improve Survivability of Fuze at High Impact", *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, Vol.33, No.4, pp.255-261, Aug. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2020.33.4.255>
- [5] A. Nasser, Fathy M. Ahmed, K. H. Moustafa, Ayman Elshabrawy, "Recent Advancements in Proximity Fuzes Technology", *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol.4, No.4, pp.1233-1238, Apr. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.17577/IJERTV4IS041400>
- [6] H. C. Jung, J. H. Seo, K. R. Kim, M. H. Kim, J. C. Koo, "A Research on transmission energy and data using induced electromotive force of coil", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol.17, No.7, pp.607-615, Jul. 2016.

DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.607>

- [7] Y. S. Jeong, "Development Direction of Artillery Ammunition Fuze", *Korea Defense Industry Association*, Vol.12, No.238, pp.80-87, Dec. 1998.
- [8] F. Jacob, *Handbook of Modern Sensors : Physics, Designs, and Applications*, pp.758, Springer, 2016, pp.255-256.

안 대 희(Dae-Hee An)

[정회원]



- 2019년 2월 : 창원대학교 산업시스템공학과 (공학사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

품질, 신뢰성

배 성 수(Seong-Soo Bae)

[정회원]



- 2010년 2월 : 경북대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 2011년 7월 ~ 현재 : 한화에어로스페이스㈜ 과장

<관심분야>

전기전자, 품질