

레이더장비에 적용되는 통신 IC 소비전력 개선을 통한 회로카드조립체 품질 향상에 관한 연구

조희진^{1*}, 곽혜림²

¹국방기술품질원 탄약3팀, ²국방기술품질원 탄약4팀

A Study on the Quality Improvement of PCB by Improving Power Consumption for Radar

Hee-Jin Jo^{1*}, Hye-Rim Gwak²

¹The 3rd Team of Ammunition Center, Defense Agency for Technology and Quality

²The 4th Team of Ammunition Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 논문은 레이더 장비에 적용되는 통신 IC 소비 전력 개선을 통한 회로카드조립체 품질 향상에 관한 연구이다. 본 논문에서 언급하는 레이더는 현재 양산이 진행중이며, 군에서 사용중인 장비이다. 군에서 레이더 운용중 DC 28V를 입력으로 받아 DC 5V로 변환시키는 회로카드조립체에서 유독 반복적 고장이 지속적으로 발생했다. 따라서 해당 회로카드조립체 고장에 대한 원인분석을 수행하였다. 그 결과 특정 통신 IC에서 소비되는 전력이 매우 높음을 발견하였으며, 그에 따라 발생된 열에 의해 주위 부품이 소손됨을 알 수 있었다. 따라서 레이더 체계 규격을 모두 만족하는 개선된 부품으로 변경하였다. 변경된 부품에 대하여 체계 영향성 확인을 위한 체계 부착시험을 수행하여 검증하였으며, 환경시험(고온저장 및 운용시험, 저온저장 및 운용시험, 습도시험, 진동시험, EMI 시험)을 통해 레이더 체계에서 요구하는 성능요구조건을 모두 만족함을 확인하였다. 이번 개선을 통해 현재까지 절연 회로카드조립체에서 발생한 고장은 없으므로 해당 회로카드조립체의 품질이 향상됨을 확인하였다.

Abstract This study examined the quality improvement of printed circuit boards (PCBs) in relation to the power consumption for radar. The radar examined is currently in production and being used by the military. The PCB converts 28 V DC to 5 V DC but frequently malfunctions. Therefore, cause analysis was carried out. As a result, the power consumed by a certain communication IC was very high, and the heat generated by the high power consumption caused damage to the surrounding parts. Accordingly, it was changed to an improved communication IC that meets all the radar system specifications. System tests were carried out for the changed communication IC to check the impact on the system, and environmental tests were performed, which proved that the performance required by the radar system is satisfactory. As a result of this improvement, there has been no history of failure in this PCB so far. Therefore, the quality of this PCB has been improved.

Keywords : Air Conditioner Unit, Communication IC, Power Consumption, Quality Improvement, Radar

1. 서론

유도무기체계의 주요 구성품 중 레이더 시스템은 표

적 요격을 위한 교전을 위해 표적 탐지, 추적 및 유도무기를 유도하는 기능을 가진 최첨단 핵심장비이다.

본 논문에서 설명할 레이더의 구성은 안테나군, 송신

*Corresponding Author : Hee-Jin Jo(Defense Agency for Technology and Quality.)

Tel: +82-54-469-6513 email: hjjo@dtqa.re.kr

Received September 20, 2018

Accepted December 7, 2018

Revised (1st October 11, 2018, 2nd October 22, 2018)

Published December 31, 2018

세트, 제어기군으로 구성된다. 그 중 제어기군은 상위체 계로부터의 표적 및 위협구역 정보 수신, 안테나군으로부터 받은 신호의 수신 및 처리, 교전영역의 탐색빔 운용, 표적 및 재밍 신호 탐지, 표적 추적 등 레이더 운용 및 제어를 위한 각종 처리를 담당한다. 제어기군의 내부는 Fig. 1과 같이 전원분배장비, 레이더통제기, 신호장비 등으로 구성되어 있다. 제어기군의 외부는 Fig. 2와 같이 외부 하우징인 셸터와 레이더의 온도도 관리용 장비인 공기조절기로 구성되어 있다.

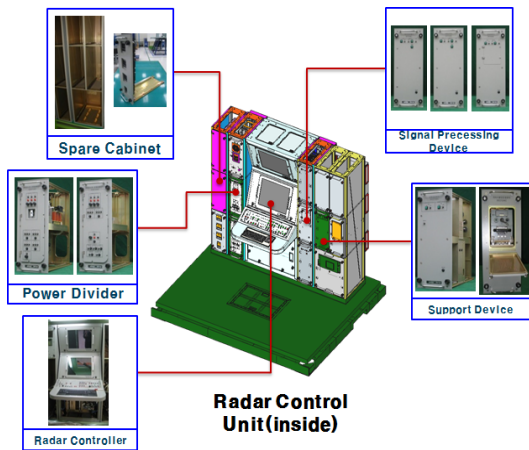


Fig. 1. The figuration and composition of Radar Control Unit(inside)

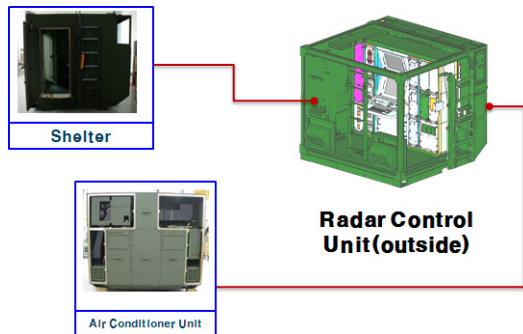


Fig. 2. The figuration and composition of Radar Control Unit(outside)

본 논문에서 소개할 품질개선 품목인 회로카드조립체는 제어기군 외부에 탑재된 공기조절기 내부에 장착되어 있다. 공기조절기는 장비용과 승무원용 2개로 구성되어 있다. 장비용은 레이더 장비의 적정한 운용 환경(온도, 습도) 유지를 위해 사용되는 장비이며, 승무원용은 레이

더 운용을 위한 승무원의 쾌적한 운용 환경 유지를 위해 온도도 제어를 담당한다. 운용개념은 승무원실 및 장비 내부 공기를 순환/냉방/난방을 통해 일정한 온도 유지 및 제습을 수행한다. 회로카드조립체의 역할은 외부로부터 DC 28V를 입력받아 전원회로를 거치면서 최종적으로 DC 5V로 변환되어 통신 IC로 전원을 공급하는 역할이다[1].

본 논문은 레이더장비에 적용되는 통신 IC 소비전력 개선을 통한 회로카드조립체 품질 향상에 관한 연구이다. 본 논문에서 언급하는 레이더는 현재 양산이 진행중이며, 군에서도 운용중인 장비이다. 군에서 레이더 운용 중 논문에서 소개할 회로카드조립체에 대하여 반복적 고장이 여러 포대에서 지속적으로 발생함을 확인했다. 그러므로 해당 회로카드조립체 고장에 대한 원인분석을 수행하였다. 그 결과 회로카드조립체에 실장된 특정 통신 IC에서 소비되는 전력이 매우 높음을 발견하였으며, 그에 따라 발생된 열에 의해 주위 부품이 소손됨을 알 수 있었다. 따라서 레이더 체계 규격을 모두 만족하는 개선된 부품으로 변경하였으며, 변경 후 체계영향성 확인을 위해 체계 부착시험을 수행하여 성능에 대한 검증을 하였으며, 환경시험(고온저장 및 운용시험, 저온저장 및 운용시험, 습도시험, 진동시험, EMI 시험)을 통해 레이더 체계에서 요구하는 성능요구조건을 모두 만족함을 확인하였다. 결과론적으로 이번 연구를 통한 개선을 통해 현재까지 회로카드조립체에서 발생한 고장이 없음을 확인하였다. 따라서 회로카드조립체의 품질이 향상됨을 확인하였다.

2. 원인분석

반복적 고장이 발생한 회로카드조립체의 역할은 외부로부터 DC 28V를 입력받아 DC regulator(7815)를 거쳐 DC 15V를 만들고 그다음 Transformer를 거치면서 DC 7~8V가 만들어진다. 이 전압은 다시 DC regulator(7805)를 거치면서 최종적으로 DC 5V까지 변환시켜 부하역할을 수행하는 통신IC(DS75176BTM)로 전원으로 공급한다. 회로카드조립체의 역할 흐름도는 Fig. 3과 같다.

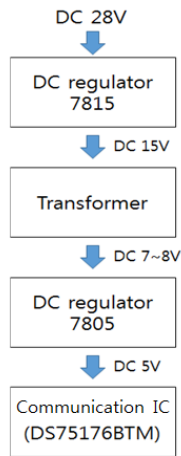


Fig. 3. The flowchart of the role on PCB

위 흐름도에 따라 작동하는 회로카드조립체에 대하여 단별로 구분하여 원인분석을 수행한 결과 최초 외부에서 들어오는 DC 28V를 DC regulator(7815)를 거치면서 DC 15V로 변환 시 많은 열이 발생함을 알 수 있었다. 열이 많이 발생하는 원인을 분석하기 위하여 Figure 4와 같이 회로카드조립체의 회로도 중 DC 28V를 DC 15V로 변환하는 부분을 간략하게 표현하였다.

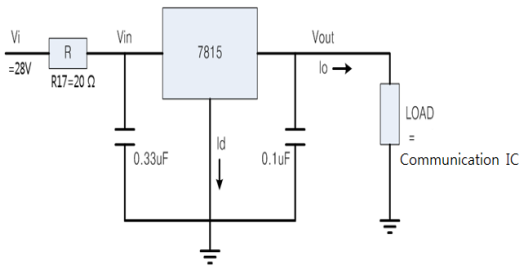


Fig. 4. The circuit of PCB

열과 관련된 부분은 전력이므로 아래 수식 (1)과 (2)와 같이 R에서 발생하는 전력 P_r 과 DC regulator(7815)에서 발생하는 전력 P_a 를 계산할 수 있다.

$$P_r = (V_i - V_{in}) \times I_o \quad (1)$$

$$P_a = (V_{in} - V_{out}) \times I_o \quad (2)$$

위 수식에서 V_{out} 은 DC regulator(7815)를 통해 출

력되는 전압 DC 15V가 되며, I_o 은 측정값을 통해 알 수 있는 소모전류이다. 해당 전류값을 측정결과 약 0.32A로 알 수 있었다. 위 전력값을 계산하기 위해서는 V_{in} 값이 필요한데 V_{in} 값은 아래 수식 (3)과 (4)를 이용하여 계산할 수 있다. 수식 (3)과 (4)에 사용된 변수 I_d 는 DC regulator(7815) Datasheet에서 제공하는 값이며 그 값은 8mA이다. 수식 (4)는 수식(3)에서 V_{in} 을 계산하기 위해 이항하여 전개한 수식이다.

$$R = \frac{V_i(\min) - V_{in}}{I_o(\max) + I_d(\max)} \quad (3)$$

$$V_{in} = V_i - R \times (I_o + I_d) \quad (4)$$

위 수식들을 이용하여 전력값을 계산하면 P_r 과 P_a 둘다 약 2W 정도의 전력이 소모됨을 알 수 있다. Regulator 특성상 전압 강하에 소모되는 에너지를 열에너지로 전환하여 소모시키는 소자이므로, regulator에 발생하는 열을 줄이기 위해 앞단에 저항(R17)을 추가하였다. 그럼에도 불구하고 해당 소자의 온도를 측정된 결과 약 102℃로 매우 높은 열이 발생함을 알 수 있다. 이렇게 발생한 열에 의해 소손된 회로카드조립체는 Fig. 5와 Fig. 6과 같다.

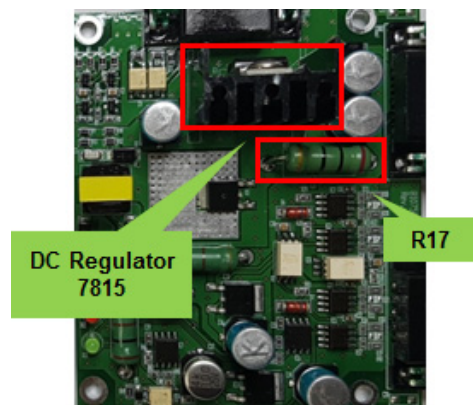


Fig. 5. The figuration of PCB(front side)

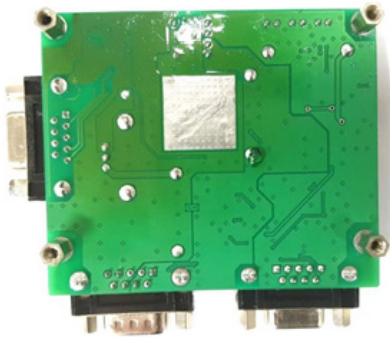


Fig. 6. The figuration of PCB(back side)

Fig. 5는 회로카드조립체의 전면이며 Fig. 6은 후면이다. Fig. 6을 보면 저항 및 regulator에서 발생한 열에 의해 회로카드조립체가 변색됨을 알 수 있다. Fig. 5 회로카드조립체 전면부의 DC regulator 좌측 상단부를 확인하면 열에 의해 소자가 소손된 것 또한 확인할 수 있다.

3. 개선방안

2장에서 원인분석한 내용을 바탕으로 회로카드조립체에 발생하는 열로 인해 소손되는 현상을 개선하기 위해서는 회로카드조립체에서 발생하는 열을 줄여야 하며, 열을 줄이기 위해서는 주요 부하인 통신IC(DS75176BTM)를 저전력 통신IC로 교체하여 소모전류를 감소하도록 하여야 한다고 판단했다.

아래 Fig. 7은 고열이 발생되었던 통신 IC DS75176BTM의 데이터시트이다[2].

Fig. 7. The datasheet of DS75176BTM

소자의 세부 스펙중 발열량에 영향을 미치는 요소는 많으나 가장 큰 영향을 미치는 부분은 Supply Current이다. Fig. 7 하단부에 보면 Supply Current가 Driver Outputs Enabled 상태에서는 55mA, Driver Outputs Disabled 상태에서는 35mA임을 확인 할 수 있다.

Fig. 8은 개선을 위해 기존 통신IC를 대체할 품목인 MAX1487EESA에 대한 데이터시트이다.

±15kV ESD-Protected, Slew-Rate-Limited,
Low-Power, RS-485/RS-422 Transceivers

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)
(V_{CC} = 5V ±0%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted) (Notes 1, 2)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|-------------------|--|-----|-----|-----|-------|
| No-Load Supply Current (Note 3) | I _{CC} | MAX485E/MAX487E, DE, D _{RE} = 0V or V _{CC} | 120 | 250 | | μA |
| | | MAX485E/MAX487E, DE, D _{RE} = 0V or V _{CC} | 300 | 500 | | |
| | | MAX487E/MAX487E, DE = V _{CC} | 500 | 900 | | |
| | | MAX487E, DE = 0V or V _{CC} | 300 | 500 | | |
| | | MAX487E, DE = 0V or V _{CC} | 300 | 500 | | |
| | | MAX487E, DE = 0V or V _{CC} | 250 | 400 | | |
| Supply Current in Shutdown | I _{SHDN} | MAX487E/487E/487E, DE = 0V or V _{CC} | 0.5 | 10 | | μA |
| | | MAX487E/487E/487E, DE = 0V or V _{CC} | 35 | 250 | | mA |
| Driver Short-Circuit Current, V _O = High | I _{OSD1} | -7V ≤ V _O ≤ 12V (Note 4) | 35 | 250 | | mA |
| Driver Short-Circuit Current, V _O = Low | I _{OSD2} | -7V ≤ V _O ≤ 12V (Note 4) | 35 | 250 | | mA |
| Receiver Short-Circuit Current | I _{OSR} | 0V ≤ V _O ≤ V _{CC} | 7 | 9 | 3 | mA |
| ESD Protection | | A, B, Y and Z pins, tested using Human Body Model | ±15 | | | kV |

Fig. 8. The datasheet of MAX1487EESA

Fig. 8 상단부에 보면 조건에 따라서 Supply current가 250uA에서 900uA로 다양하게 표시되어 있다. 변경 전 소자와 비교해보면 최저값 기준 약 140배 차이가 나며, 최고값 기준 약 61배 정도 차이가 남을 알 수 있다[3].

Table 1. The Comparison Table of Performance

| Parameter | DS75176BTM | MAX1487EESA | |
|-------------------------------|------------------|-------------------|--------|
| V _{cc} (max) | ~7V | ~12V | better |
| V _{cc} (Recommended) | 4.75V~5.25V | 4.75V~5.25V | same |
| Power Dissipation | 6.1mW/°C at 70°C | 5.88mW/°C at 70°C | better |
| Operating Temperature | -40~85°C | -40~85°C | same |
| Storage Temperature | -65~150°C | -65~160°C | better |
| Differential Driver Output | 5V | 5V | same |
| IC Package | 8-SOIC | 8-SOIC | same |
| Datarate | - | 2.5Mbps | - |

방산품목은 특정 소자에 대한 부품 변경을 할 시 모든 스펙에 대하여 동등이상임을 증명하고 체계영향성이 없다고 판단될 시 최종적으로 정부의 승인을 받아 기술변경을 통해 도면 수정(부품명 변경)이 가능하다. 따라서 수정 전/후의 주요 성능특성을 비교를 하여 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 볼 수 있듯이 모든 주요 파라미터에 대한 비교값이 변경전 소자 대비 변경후 소자가 동등 이상임을 알 수 있다. 제일 마지막 파라미터인 Datarate의 경우 DS75176BTM의 데이터시트에는 별도로 명시되어 있지 않으나, 공기조절기 통신 Datarate는 57600bps로 대체품인 MAX1487EESA는 2.5Mbps 까지 지원하므로, 기존 상용품을 대체하는데 문제가 없다고 판단하였다.

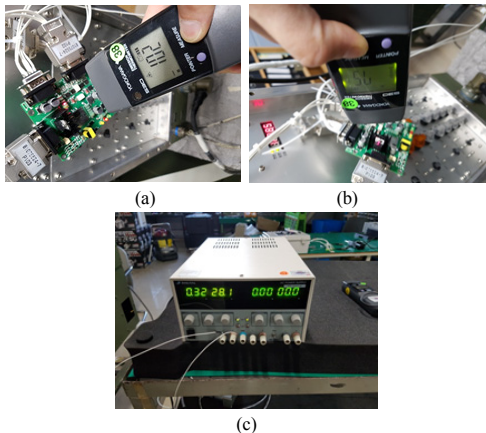


Fig. 9. The temperature of R17(a), ambient temperature(b) and consumption current(c) on DS75176BTM

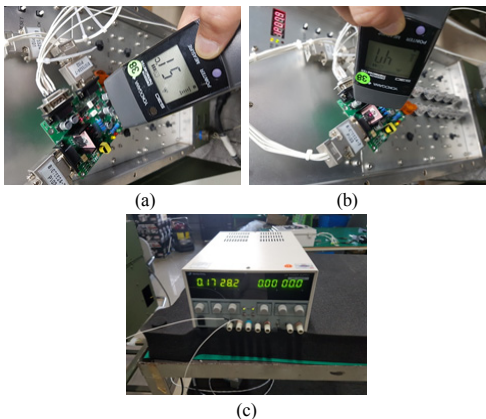


Fig. 10. The temperature of R17(a), ambient temperature(b) and consumption current(c) on MAX1487EESA

Fig. 9와 10은 변경 전/후의 소자에 대하여 R17의 온도, 주위 부품의 온도 그리고 소모전류를 측정 한 그림이다. Fig. 9, 10 및 Table 2에서 보는데와 같이 변경 전 소자 DS75176BTM의 경우 R17의 온도는 102℃, 주변소자의 표면온도는 75℃, 소모전류는 0.32A로 측정 되었다. 변경 후 소자 MAX1487EESA의 경우 R17의 온도는 51℃, 주변소자의 표면온도는 47℃ 그리고 소모전류는 0.17A로 측정되었다. 이 결과로 인해 R17에서 발생하는 열이 약 절반가량 줄었음을 알 수 있으며, 소모전류 또한 약 절반가량 줄었음을 확인 할 수 있다.

Table 2. The Temperature and consumption current before and after change

| Parameter | Before | After | |
|---------------------|--------|-------|--------|
| Temperature at R17 | 102℃ | 51℃ | better |
| Ambient temperature | 75℃ | 47℃ | better |
| Consumption current | 0.32A | 0.17A | better |

해당 소자변경에 따라서 상위체계(공기조절기) 영향성 검토를 위해 공기조절기 규격서에 명시된 성능시험과 환경시험을 수행하였다. 성능시험에는 장비 전원조건에 따른 운용가능 여부 확인시험, 송풍량 시험, 냉/난방 능력 시험, 장비 내부 습도제어 시험, 셀터 내부 온도제어 시험, 온도별 동작모드 시험 등 으로 구성되어 있으며, 환경시험의 경우 고온저장 및 운용시험, 저온저장 및 운용시험, 습도시험, 진동시험, EMI 시험으로 구성되어 있다. 각각의 시험 규격의 경우 해당품목의 국방규격에 명시되어 있는 시험방법 및 시험프로파일로 수행하였다. 성능시험 및 환경시험 수행 결과 모든 시험이 이상없이 정상으로 판단되었다.

이번 품질개선 활동을 통해 변경된 사항에 대하여 ILS 영향성 평가를 하였다. 평가는 크게 3가지 분류로 하였고 각각은 RAM 영향성, 기술교범 영향성, 지원장비, 창정비 및 훈련체계의 영향성이다.

먼저, RAM 영향성의 경우 신뢰도(Reliability)는 분석 기준(품목 카테고리)에 변동이 없으므로 영향성이 없음을 확인하였다. 정비도(Maintainability)의 경우 정비 대상 품목이 아니므로 영향성이 없으며, 가용도는 신뢰

도/정비도의 변경사항이 없으므로 영향성이 없음을 확인하였다.

두 번째로, 기술교범 영향성은 정비교범과 보급교범에 대하여 검토하였다. 결론적으로는 이번 개선사항은 정비대상 품목이 아니므로 교범에 대한 영향성은 없음을 확인하였다.

마지막으로, 지원장비, 창정비 및 훈련체계의 영향성 또한 정비대상 품목이 아닌 이유로 인해 영향성이 없음을 확인하였다.

4. 결론

열화에 의한 회로카드조립체 손상을 방지하기 위하여 저전력 통신IC로 대체 후 성능시험 및 환경시험을 수행한 결과 발열량 개선이 되었음을 확인하였고, 개선된 회로카드조립체는 현재 약 8개월간 운용중이며, 현재까지 고장발생이력이 한건도 없다. 따라서 이번 품질개선 활동을 통해 장비 품질이 향상되었음을 확인하였다.

본 논문에서 언급한 회로카드조립체는 높은 소비전력으로 인해 발생된 열에 의해 부품이 소손되었으며, 약 2년 동안 야전에서 동일 고장이 14회 발생하였다. 회로카드조립체 대당 가격이 약 1000만원이고, 해당 레이더 장비 운용기간이 최소 10년이상임을 고려하면 이번 개선을 통해 절감한 장비 운용비용은 약 10억원 이상임을 추정해 볼 수 있다.

향후 다른 무기체계에서 동일한 고장이 발생한 경우 이번 품질개선 활동의 결과를 참조하면, 원인분석 및 개선대책 수립에 도움이 될 것이라 생각한다.

추가적인 개선사항으로 회로카드조립체 단위의 ESS(Environmental Stress Screening) 시험 필요성에 대하여 검토중이며, 추후 ESS를 하게 될 경우 그에 따른 효과도에 대하여 추가적인 연구를 수행할 예정이다[4].

또한, 향후 수행될 레이더시스템 창정비 요소개발을 위해 회로카드조립체의 가속수명시험을 통한 수명예측이 필요할 경우 그에 따른 연구 또한 수행할 예정이다[5].

References

[1] Hee. Jin. Jo, "A Study on the Function Improvement of the Serge Protection Device for Radar Control Unit",

Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 17, No. 6 pp. 400-407, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.6.400>

- [2] Datasheet, "DS7517B/DS7517BT Multipoint RS-485/RS-422 Transceivers", Texas Instruments
- [3] Datasheet, "±15kV ESD-Protected, Slew-Rate-Limited, Low-Power, RS-485/RS-422 Transceivers", Maxim Integrated
- [4] Jong. Soo. Choi., and Chang. Woo. Lee., "A Study on ESS Process Modeling and Application for improving Reliability of Electronic Equipments", J. of the Korean society for quality management, Vol. 40, No. 3 pp. 286-294. 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7469/jksqm.2012.40.3.286>
- [5] Hee. Jin. Jo., Min. Woo. Kim., Hye. Rim. Gwak., "A Study on the Life-time Prediction for the Rubber O-ring applied to decoy through the Accelerated Life Test", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 17, No. 10 pp. 182-188, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/kais.2016.17.10.182>

조 희 진(Hee-Jin Jo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 포항공과대학교 전자과 (전자공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>
전자회로, 신호처리

곽 혜 림(Hye-Rim Gwak)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국과학기술대학교 (전자공학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>
신호처리, 수중감시