Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 21, No. 10 pp. 379-385, 2020

https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.10.379
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

전투차량용 온수히터 냉각수 누수방지 설계에 관한 연구

박동민[1*], 곽대환[1], 장종완[2]
[1]국방기술품질원 기동화력센터, [2]한화디펜스 체계기술1팀

A Study on the Coolant leaks Prevention Design of Heaters for Combat Vehicles

Dong Min Park[1*], Daehwan Kwak[1], Jongwan Jang[2]
[1]Land Systems Center, Defence Agency for Technology and Quality
[2]System Engineering Team 1, Hanwha Defense

요 약 본 논문은 전투차량에 장착되는 온수히터의 코어부위 냉각수 누수방지를 위한 설계에 관한 것이다. 온수히터는 가온된 냉각수를 승무원실의 히터 코어에 흘려 난방하는 장치로, 전투차량 운용 시 온수히터 코어 부위의 냉각수 누수현상이 발생하는 문제점이 확인되었다. 이 문제점은 주로 코어의 탱크와 튜브 부위의 접합부에서 발생하였는데, 이 부위가 취약하여 고압을 가압하였을 때 누수가 발생한 것으로 추정하였다. 이 문제를 개선하기 위하여 용접방식을 개선하고 온수히터 코어 말단 부위를 높은 압력에서 견딜 수 있는 구조로 변경하였다. 기존 코어와 개선 코어에 대하여 순차적으로 압력을 가하였을 때 기존 코어는 7.0 kgf/cm^{2}에서 누수가 발생하였으며 개선 코어는 17.0 kgf/cm^{2}까지 견고하게 구조를 유지하여 개선이 되었음을 입증하였다. 마지막으로 개선한 구조의 체계 적합성을 입증하기 위하여 성능시험 및 환경시험을 실시하였다. 본 논문의 연구결과를 바탕으로 제작된 개선 온수히터는 전투차량에 적용될 예정이며, 신뢰성 확보를 통한 방위력 향상과 유사 장비의 설계 및 고장분석에도 참고자료가 될 것으로 기대된다.

Abstract This paper presents a design for preventing coolant leaks in the core part of a heater mounted in a combat vehicle. The heater is a device that makes heated coolant flow through the heater core in the crew room. A problem with coolant leaks in the heater core area during the operation of a combat vehicle was identified. This problem is caused mainly by high pressure at the junction of the tank and tube due to the vulnerability of this area. To solve this problem, an improved core was made by improving the welding method and changing the end region of the heater core to a structure that can withstand high pressure. When pressure was applied sequentially to the existing core and improved core, a leak occurred at 7.0 kgf/cm² in the existing core while the improved core maintained its structure up to 17.0 kgf/cm², highlighting the improvement. Finally, performance tests and environment tests were conducted to demonstrate the suitability of the improved structure. The improved heater will be applied to combat vehicles. This paper is expected to serve as a reference for improving defense capabilities by securing reliability as well as the design and analysis of failures of similar equipment.nse capabilities through securing reliability as well as the design and analysis of failures of similar equipment.

Keywords : Heater, Combat Vehicle, Coolant Leaks, Heater Core, Quality Improvement

*Corresponding Author : Dong Min Park(Defence Agency for Technology and Quality)
email: dmpark0624@dtaq.re.kr
Received August 19, 2020 Revised September 15, 2020
Accepted October 5, 2020 Published October 31, 2020

1. 서론

무기체계의 발전에 따라 작전개념 역시 변화하여 현대의 전투차량은 운용범위에 따라 산악전투, 시가지전투, 도하작전 등 다양한 전투 및 작전에 투입된다[1]. 이렇듯 다양한 환경에서의 전투수행을 위하여 무기체계의 성능을 향상시키는 것에서 나아가 승무원의 편의성을 증진시키는 장비들이 개발되고 있다. 그 중 하나인 온수히터는 전투차량의 동절기 작전운용 간 차량 운전자 및 탑승자에게 쾌적한 환경을 제공하는 난방장비이다. 온수히터는 열교환을 위하여 엔진에서 가온된 냉각수가 이송되는 히터 코어와 송풍을 위한 팬모터로 구성되며, 승무원실의 온도를 상승시켜 동절기 작전운용 간 차량 운전자 및 탑승자의 편의성을 향상시키며, 보다 효율적인 난방을 위한 연구가 국방분야 및 민간분야에서 이루어지고 있다[2,3].

최근 전투차량 온수히터 코어 부위에서는 Fig. 1과 같이 파손으로 인한 냉각수 누수 현상이 발생하여 승무원 편의성과 전투차량 장비운용성이 저하되었다. 본 연구에서는 온수히터 코어 부위에서 발생한 냉각수 누수 현상의 개선을 위하여 원인을 검토하고 이에 따른 대책을 마련하였다.

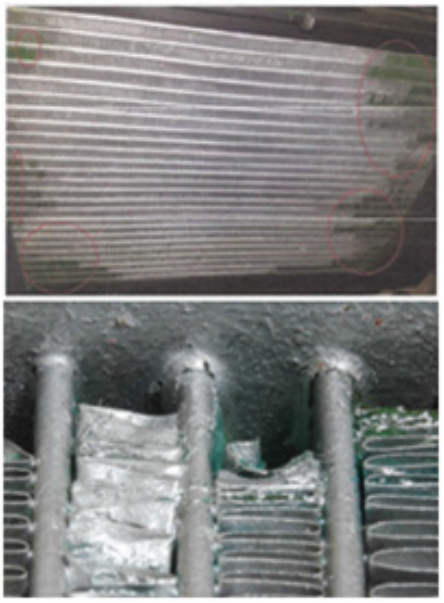

Fig. 1. Leakage of the heater core

본 논문에서는 Fig. 2와 같은 과정을 거쳐 개선점을 도출한다. 먼저 식별된 고장현상에 대한 문제의 원인을 파악하여, 그 결과를 바탕으로 개선점을 도출하고 제작한다. 온수히터 규격상의 일반성능을 먼저 시험한 후 개선여부를 확인한다. 개선이 입증되었을 경우 온수히터를 고온, 저온, 충격, 진동 등 가혹한 환경에 노출시키는 환경시험과, 실제 운용중인 전투차량에 적용하는 야전입증시험을 모두 만족하였을 경우에 한하여 온수히터의 개선이 적용되는 것이다.

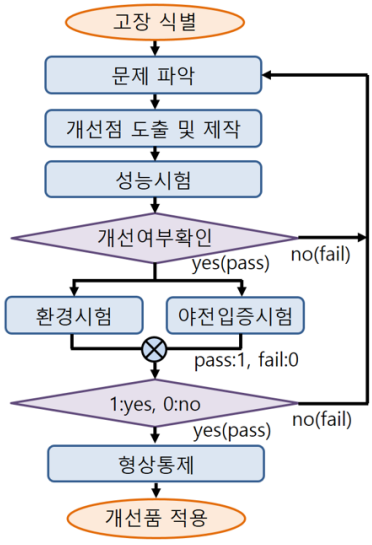

Fig. 2. Flow chart of a quality improvement of heater core

2. 온수히터 냉각수 누수현상 원인분석

온수히터 냉각수 누수현상을 야기하는 코어의 파손 원인은 다양하게 발생할 수 있다. 온수히터 제조설비 관리 미흡이나 주요 작업공정 누락 등의 제조결함, 부식 발생으로 인한 파손[4], 설계값 이상의 내압 발생 등을 고려할 수 있다. 냉각수 누수가 발생한 코어의 외관을 확인한 결과 주로 온수히터 코어의 탱크와 튜브의 접합부위에서 누수가 발생함을 확인할 수 있었으며, 이에 대한 고장원인 분석을 Fig. 3과 같이 Fish Bone 기법을 통해 실시하였다[5].

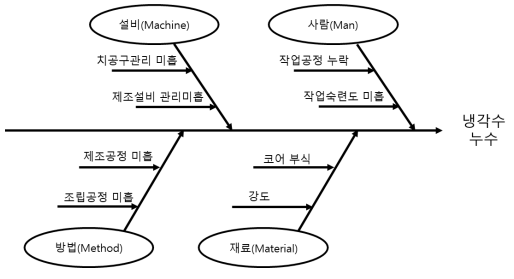

Fig. 3. Fish bone diagram for failure analysis

전투차량에 적용되는 온수히터의 코어는 유사 장비에 적용된 온수히터 코어를 개량한 것으로, 내압이 2.0 kgf/cm^2 이하로 설계된 유사 장비 온수히터 코어 외부를 보강하여 내압 5.0~5.5 kgf/cm^2 에서 사용할 수 있도록 하였다. 해당 제품의 경우 가압하여야 하는 압력의 수준은 정해져 있으나, 내구도에 관한 정보는 확인할 수 없었다. 출고 시 규격에 명시된 항목은 모두 확인하므로 해당 제품은 출고 당시 단시간 특정 수준의 압력은 견딜 수 있으나 제품 자체의 내구도가 부족한 것으로 추정하였다.

누수가 발생한 부위는 온수히터 코어의 튜브 말단 부위이며, 온수히터가 전투차량에 적용되면서 제품에 작용하는 내압이 상승하였으나 해당 부위에 대한 별도의 개선을 적용하지 않은 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 온수히터 코어의 탱크와 튜브의 접합부위에 대하여 고압에도 파손이 발생하지 않는 구조에 관한 설계개선을 수행하였다.

3. 온수히터 설계 개선

온수히터의 튜브 단면은 슬롯형으로 되어있으며, 튜브의 말단은 온수히터 코어부 탱크와 브레이징 용접을 통해 접합된다. 브레이징은 모재의 틈새에 용융된 납재를 모세관 현상을 통해 침투시켜 접합하는 용접방식으로 이종금속 간 접합이 가능하며 한번에 여러 곳을 접합할 수 있어 대량생산이 용이한 장점이 있다[6,7]. 그러나 브레이징 용접을 적용한 기존 제품은 접합강도가 용접에 비해 약하다는 단점이 있고, 제조업체에서 코어 생산 시 수율이 떨어지는 문제점이 있었다. 이와 같은 품질문제를 해소하기 위하여 Table 1과 같이 개선을 적용하였다.

Table 1. Comparison of existing and improved heater core

	기존품	개선품
코어 튜브 단면	슬롯형	사각형
튜브 벽면 두께	0.00 mm	기존대비 약 2배 증대
코어 측면 외벽두께	0.00 mm	기존대비 약 1.2배 증대
튜브 변형방지 구조물	없음	사각바 부착
코어 말단부 변형방지 구조물	없음	브라켓 부착

3.1 코어 튜브 및 외벽 강도 증가

코어 튜브의 형상을 기존 슬롯형 구조에서 사각형 구조로 변경하였으며 튜브 벽면 두께를 2배 이상 증대시켰다. 코어 측면 외벽의 두께 또한 1.2배 이상 증대시켰으며, 튜브 양 끝 부분에 사각 바를 부착하여 구조를 강화하였다. Fig. 4에 기존품 및 개선품 온수히터 코어의 단면을 보인다.

(a) (b)

Fig. 4. Cross section of (a) existing and (b) improved heater core

3.2 코어 말단 구조 개선

온수히터 코어에 고압의 내압이 작용할 때 코어의 변형 발생 시 파손이 발생할 수 있으므로, 이를 방지하기 위해 코어 말단의 구조를 Fig. 5와 같이 개선하였으며 튜브 말단부 팽창 방지를 위해 브라켓을 추가 부착하였다.

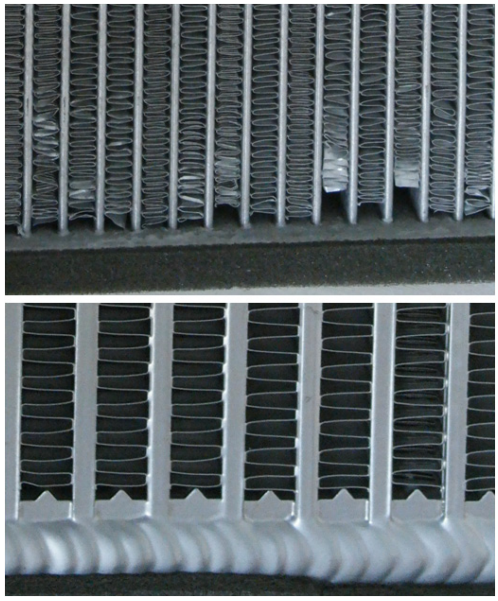

Fig. 5. The end region of existing / improved heater core

3.3 접합강도 증대

접합강도를 증대시키기 위해 코어와 탱크의 접합부에 불활성 가스인 아르곤 가스를 활용하는 TIG용접을 추가하였다. TIG용접은 용접물을 안정적으로 접합시킬 수 있으며 용접품질 및 신뢰성이 높은 특성을 갖는다. TIG용접을 적용하여 온수히터 코어의 파손부위의 접합강도와 내구성을 증대시켰다.

4. 설계 검증

본 논문에서 온수히터 코어의 설계검증 과정은 Fig. 6과 같다. 온수히터 냉각수 누수발생은 제품 자체의 내구도 부족으로 브레이징 용접으로 접합된 부위의 파손이 발생하는 것으로 추정하였으며, 개선품 온수히터 코어의 내구성 증대 및 온수히터 성능 충족여부를 확인하였다. 내구성 증대 검증을 위해 가속수명시험 방식을 간소화하여 적용하였다.

또한 온수히터 규격에 명시된 내용을 바탕으로 환경시험을 실시하였으며, 야전입증시험을 통해 실제 운용중인 전투차량 적용 시 이상유무를 확인하였다.

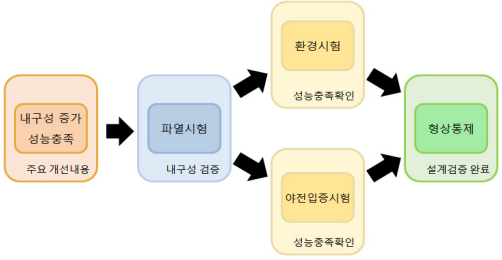

Fig. 6. Task flow of an improvement of heater core

4.1 파열시험

온수히터 코어의 내구성 개선입증을 위한 파열시험을 실시하였다. 일반적으로, 내구성 개선 입증이나 제품 수명에 대한 예측에는 가속수명시험(ALT: Accelerated Life Test, 이하 ALT)을 적용한다[8]. 단, 본 논문에서는 가속수명시험을 적용할 시간적 여유가 충분치 않았기 때문에 압력 가속모형을 적용한 보정가속수명시험(CALT: Calibrated Accelerated Life Test, 이하 CALT) 방식을 간소화하여 적용하는 방식을 채택하였으며[9], 기존 온수히터 코어 대비 개선품 온수히터 코어의 예상수명 증대 여부를 확인하였다.

온수히터 코어 파열시험은 코어에 초기압력 4.0 kgf/cm2 를 200초 간 가압한 후 100초 간 해압하면서 온수히터 코어의 파손 및 냉각수 누수현상 발생여부를 확인하였다. 확인결과 이상 없을 시 압력을 0.5 kgf/cm2 씩 증가시켜 동일한 방법으로 가압 및 해압을 실시하였다. 온수히터 코어를 해압하고 나서, Fig. 7과 같이 코어의 가로 및 세로 길이를 측정하여 온수히터 코어의 팽창 정도를 확인하였다. 마지막으로 압력을 가해 온수히터 코어가 파열될 때의 압력을 측정하였다. 기존품 코어와 개선품 코어의 내압 및 팽창 변형을 비교하여 개선품의 내구성 증대를 확인하였다.

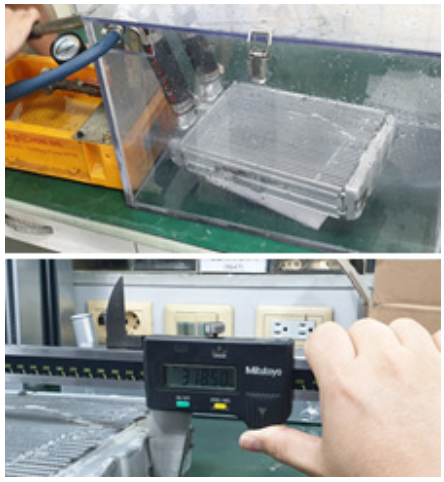

Fig. 7. Measurement of heater core

4.1.1 기존품과 개선품 내압 비교

먼저 기존품 온수히터를 초기압력을 200초 간 가압하고, 100초 간 해압하는 방식으로 파열시험을 수행하였다. 기존품 파열시험 시료 #A1~#A3의 파열압력은 Table 2와 같으며, 개선품 파열시료 #B3~#B5은 Table 3과 같이 파열시험용 지그가 이탈할 때 까지 코어의 파열 및 냉각수 누수는 발생하지 않았다.

Table 2. Leakage pressure of existing heater core

	#A1	#A2	#A3
누수압력 ($kgf/cm^{2)}$	12.0	10.0	7.0

Table 3. Test jig leave pressure of improved heater core

	#B3	#B4	#B5
*압력 ($kgf/cm^{2)}$	16.0	17.0	17.0

* 파열시험용 지그 이탈 압력(코어 누수 없음)

기존품의 누수가 발생한 압력의 편차가 있었는데, 이는 제조업체의 불안정한 코어 품질이 영향을 미친 것으로 추정된다. 누수 발생 부위는 Fig. 8과 같이 코어의 말단부에서 발생하였다.

Fig. 8. Leakage point of existing heater core

개선품 온수히터는 기존품의 파손이 발생한 고압에서도 견고하게 구조를 유지하였으며, Fig. 9와 같이 16.0~17.0 kgf/cm2 압력에서 파열시험용 지그가 이탈하여 추가 가압시험은 실시하지 않았다.

Fig. 9. Test jig leave of improved heater core

4.1.2 기존품과 개선품 변형 비교

가압시험 간 기존품과 개선품의 팽창 등 변형을 비교 측정하였다. 코어에 압력을 가하기 전 후의 길이 및 폭 치수를 측정 및 기록하였다. 기존품 코어 냉각수 누수 발생 시점 압력에서의 코어 길이,폭의 치수 및 변형량을 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Dimensional change of existing heater core

	#A1	#A2	#A3
누수 시 길이 (mm)	334.40	335.90	324.99
길이변형량 (mm)	15.90	16.55	4.16
누수 시 폭 (mm)	196.88	197.05	195.64
폭변형량 (mm)	0.73	0.69	0.28

코어의 길이 변형은 압력 10.0 kgf/cm2에서 최대 16.55 mm만큼 변형되었으며, 폭 변형은 압력 12.0 kgf/cm2에서 0.73 mm만큼 변형하였다. 압력에 따른 기존품의 길이 변형 추이는 Fig. 10과 같다.

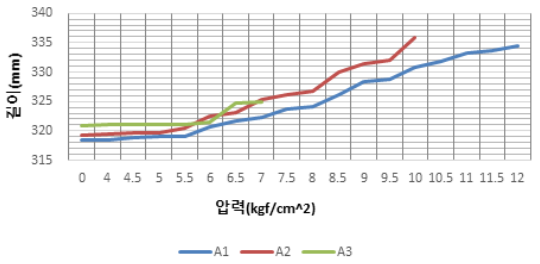

Fig. 10. Length Dimensional change curve of existing heater core

개선품 코어는 파열시험용 지그가 이탈할 때 까지 냉각수 누수가 미발생하였으며, 지그 이탈 시점에서의 코어 길이, 폭의 치수 및 변형량을 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Dimensional change of improved heater core

	#B3	#B4	#B5
지그 이탈 시 길이 (mm)	325.11	325.26	325.26
길이변형량 (mm)	0	0.01	0.01
지그 이탈 시 폭 (mm)	195.81	195.76	195.83
폭변형량 (mm)	-0.02	-0.02	0.01

* 파열시험용 지그 이탈 시 코어 길이 및 폭 측정 (코어 누수 없음)

파열시험용 지그가 이탈한 17.0 kgf/cm2의 고압에서도 개선품 온수히터 코어는 길이 및 폭의 치수 변형량은 최대 0.02 mm임을 확인하였다. 기존품과 개선품 간의 길이 변형량 비교는 Fig. 11과 같다.

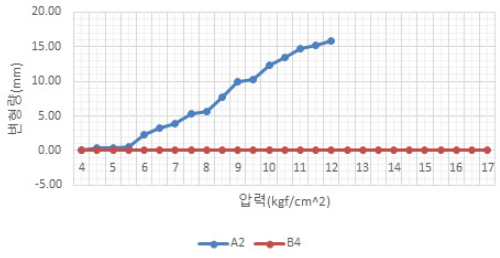

Fig. 11. Length dimensional change curve comparison of existing and improved heater core

4.2 환경시험 및 야전입증시험

극한의 환경에 노출되는 경우가 많은 군수품의 경우 환경시험에 대한 규격충족은 필수적이다[10]. 따라서 온수히터 코어의 기술자료에 따라 60℃에서 4시간씩 2일간 방치시킨 후 누설여부를 확인하는 고온저장시험, -35℃에서 72시간 유지시킨 후 구조적 손상이나 냉각재의 누설여부를 확인하는 저온저장시험, 동적충격응력에 견딜 수 있는지 확인하는 충격시험, 그리고 동적진동응력에 견딜 수 있는지 확인하는 진동시험을 수행하였다. 그 결과 제품 규격을 충족하였으며, 시험 후 성능도 정상임을 확인하였다. 실제 운용중인 전투차량에 적용한 야전입증시험 또한 온수히터 성능을 충족하였다.

5. 결론

본 연구는 전투차량에 적용되는 온수히터 코어의 누수현상의 개선에 관한 것이다. 고장원인분석 결과를 바탕으로 접합 강도 증대, 말단구조 개선, 튜브 및 외벽 강화 등의 개선점을 찾아 적용하였다. 파열시험에서 기존품은 7.0 kgf/cm2 에서 누수가 발생하는 것에 반하여 개선품은 17.0 kgf/cm2 까지 누수가 발생하지 않아, 누수현상에 대한 개선을 확인할 수 있었으며 개선품에 대한 체계적합성 또한 확인하였다. 본 논문에서 다룬 원인분석과 개선방법은 향후 유사 장비에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] T.W. Kang, H.Y. Shin, J.M. Ryu, K.C. Park and H.K. Lee, "A Study on the Improvement of the Separation Phenomenon of Coolant Hose in the Tracked Combat Vehicle", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers,* Vol.17, No.3, pp.59-46, Jun. 2018.
DOI: https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.3.059

[2] K.Y. Jeon, B.H. Lee and D.H. Lee. "Optimized Design of Air Controlling System in Air Defense Gun Systems of Wheeled Vehicle", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers* - Vol.37, No.11, pp1047-1051, Nov. 2013.

[3] D.E. Kim, W. B. Suh, "A Study on Metamodel-based Optimization to Improve the Performance of a Heater Core and an Evaporator for Passenger Car", *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology,* Vol.22, No.3 pp.429-435, 2020.
DOI: https://doi.org/10.17958/ksmt.22.3.202006.429

[4] Y.T. Kho, Y.K. Kim, "Corrosion Failure of Copper Tubes of Space Heater", *Corrosion Science and Technology,* Vol.26, No.1 pp.50-53, 1997.

[5] N. S. Ahn, "Suggestion for Change in Risk Management Based Government Quality Assurance Activities of Military Supplies", *Journal of the Kerea Academia-Industrial cooperation Society,* Vol.16, No.9 pp.5914-5923, 2015.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.9.5914

[6] S.C. Hong, J.K. Park, J.H. Oh, J.H. Lee, W.J. Kim and J.P. Jung, "Brazing Process of Stainless Steel", *Journal of Welding and Joining,* Vol.29, No.6, pp.40-44, 2011.

[7] J.P. Jung, C.S. Kang, Y.J. Park and S.H. Hang, "Brazing Technology and Trend in Japan", *Journal of welding and joining,* Vol.12, No.4 pp50-62, 1994

[8] G.C. Lee, H.E. Kim, Y.H. Cho and J.H. Kim, "A Study

of Life Characteristic of Hydraulic Hose Assembly by Adopting Complex Accelerated Model with Acceleration Factors of Pressure and Temperature", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol34, No11, pp.1697-1703, 2010.

[9] J.G. Kim, C.S. Kim, S.W. Choi, H.M. Kim, C.G. Song and W.T. Kang, "Development of RCM Process for Reliability of HALT Equipment", *The Korean Reliability Society*, pp.141-151, 2014

[10] Y.R. Kim, S.R. Jeong, Y.W. Hong and D.G. Kim, "A study on the environmental test guideline for an aircraft attachment and dropping materiel", *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, Vol29, No5, pp.1189-1199, 2018.

박 동 민(Dong Min Park) [정회원]

- 2015년 2월 : 창원대학교 기계공학전공 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 2016년 9월 : Sulzer Pump Korea 설계팀 엔지니어
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉
국방, 기계/재료, 열역학

곽 대 환(Daehwan Kwak) [정회원]

- 2012년 2월 : 강원대학교 전기전자공학전공 (공학사)
- 2017년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 에너지변환공학전공 (공학박사)
- 2017년 4월 ~ 2017년 12월 : 한국전기연구원 연구원
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉
국방, 전기전자, 펄스전원

장 종 완(Jongwan Jang) [정회원]

- 2005년 2월 : 아주대학교 기계공학 전공(공학사)
- 2005년 3월 ~ 2015년 4월 : LG 전자 에어컨연구소 선임연구원
- 2015년 5월 ~ 현재 : 한화디펜스 체계기술1팀 과장

〈관심분야〉
국방, 기계/재료, 유체역학