

탄약운반장갑차의 장약 파손 방지를 위한 최적설계에 관한 연구

노상완, 김성훈, 박영민, 김병현*
국방기술품질원 기동화력센터

A Study on the Optimum Design for Preventing Propelling Charge to Military Ammunition Vehicle

Sang Wan Noh, Sung Hoon Kim, Young Min Park, Byung Hyun Kim*
Land Systems Center, Defence Agency for Technology and Quality

요약 본 연구는 탄약운반장갑차의 장약이송 소프트웨어 최적 설계를 통해 장약이송 시 파손을 방지하는 것을 목표로 하고 있다. 탄약운반장갑차는 자동화된 장약이송시스템이 적용되어 있다. 군 운용 중 장약 적재 시 간헐적으로 장약이 파손되는 현상이 발생하여 다음과 같은 개선방법을 연구하였고, 입증시험을 실시하였다. 장약 이송기의 속도가 높을 경우 충격력이 증가하기 때문에 적재 속도를 기존보다 60% 감소 시켰고, 포스 게이지를 활용하여 충격력을 측정하였다. 충격력 측정 결과 평균 45% 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 적재관 내부의 간섭 등에 의한 이송기의 부하 발생 시 서보제어기의 최대전류 11A를 출력하면 장약이 파손 될 가능성이 있다. 또한, 최대전류가 낮을 경우 장약적재가 불가하기 때문에 적정 값을 찾아야 했고, 이는 시험을 통하여 최적의 최대전류 값 6.5A를 도출하였다. 최적설계 입증 시험에는 종이지관장약과 실제장약을 적용하여 시험 하였다. 종이지관 장약과 실제 장약으로 탄약운차에 장약 적재시험을 실시한 결과 장약의 파손이 발생하지 않았으며, 장약 적재가 정상적으로 이루어져 설계 개선이 타당한 것을 입증하였다.

Abstract The purpose of this study was to determine a method to prevent damage during the transfer of loading through optimal design of loading transfer software for an ammunition-carrying armored vehicle. Typically, an ammunition carrier armored car is equipped with an automated charge transfer system. The load is intermittently damaged during the loading of the cargo, and this needs to be improved. The following improvements and verification tests were carried out. As impact speed increased, the loading speed was reduced 60%, and a special fixture utilizing a force gauge was developed and tested. If the maximum current of 11A for the servo controller is output when the load of the conveyor is generated by interference inside the loading tube, there is a possibility of charge breakage. If the maximum current is low, the load cannot be loaded. In the loading test for the ammunition carrier armored car with the actual charge, the improved design was found to be valid, as the load was not damaged and occurred nominally.

Keywords : Optimum Design, Propelling Charge, Ammunition Vehicle, Software, Loading Force

1. 서론

K9 자주포는 대화력전을 수행하기 위해 운용되고 있다. 이러한 K9 자주포에 원활한 탄약공급 및 작전수행능

력 향상을 위해 기존에는 군용 트럭에 탄약/장약을 적재하여 자주포에 보급 하였으나, 탄약 보급의 신속성, 정확성이 요구 되어 탄약운반장갑차(이하 탄운차)를 개발하였다.

*Corresponding Author : Byung-Hyun Kim(Defence Agency for Technology and Quality)
email: tkdkim16@dtqa.re.kr

Received August 29, 2019

Accepted November 1, 2019

Revised October 1, 2019

Published November 30, 2019

탄운차는 탄 및 장약의 보급을 위해 기존 군용 트럭의 단점인 야지 기동성과 생존성을 향상시키고, 탄약/장약의 자동화된 탑재를 위한 군 전용 장비로서 K9자주포와 패키지화하여 군에 전력화를 하고 있다[1~2].

탄운차는 탄약운반자동화 시스템(Ammunition Transport Automation System, 이하 ATAS)을 통해 탄 및 장약의 적재/이송이 이루어 지는데 ATAS는 여러 단계의 많은 장치들로 복잡하게 구성되어 있다. 탄약의 고속 운반을 위해서는 이 장치들이 다축제어를 통해 순차적, 동시적으로 동작한다. 탄운차의 내부 공간 상 많은 장치들이 구조적으로 배열되어 있으므로 정밀제어가 필요하며, 각각의 동작들이 정밀하게 제어되지 않으면 탄/장약 이송기의 충돌로 파손이 발생할 수 있을 뿐만 아니라 탄/장약이 전달과정에서 파손 발생가능성이 있다. 이를 방지하기 위해 전류한계치 및 이송속도 등 다양한 제어방법이 적용되어 있다. 하지만, 전력화 이후 탄운차의 외부에서 장약을 차량 내부로 이송하는 과정에서 장약이 파손되는 현상이 발생하여 이에 대한 개선이 요구되었다[2~3].

따라서 본 연구의 주된 목적은 장약 적재 시 발생 가능한 장약 파손을 방지하기 위하여 장약이송기의 적재 속도감소 및 서보제어기 출력 최대전류를 감소시키는 방안을 고안하였다. 또한, 실제장약을 이용하여 적재시험을 실시하여 연구방안에 대한 효과성을 입증하였다.

2. 장약적재시스템 구조 및 문제점

2.1 장약적재시스템 구조 및 매커니즘

Fig. 1은 탄운차의 장약 보급/적재 방법을 나타낸다. 탄운차 외부를 통해 장약을 공급하면 외부컨베어를 통해서 내부로 진입한다. Fig. 2와 같이 탄운차 내부로 진입한 장약은 중간컨베어장치를 거쳐 장약 이송장치로 전달된다. 장약 이송장치는 좌우 각각 1개씩 장약을 적치할 수 있어 한번에 2개의 장약을 장약적치대에 적재할 수 있다.

외부컨베어, 중간컨베어장치, 장약 이송장치 모두 체인컨베어의 회전을 통하여 장약을 이송시킨다. 장약 이송 장치의 체인컨베어에는 밀대가 적용되어 있고, 해당 밀대가 장약을 장약적치대로 밀어주어 1개의 장약 적재 과정이 완료 된다.

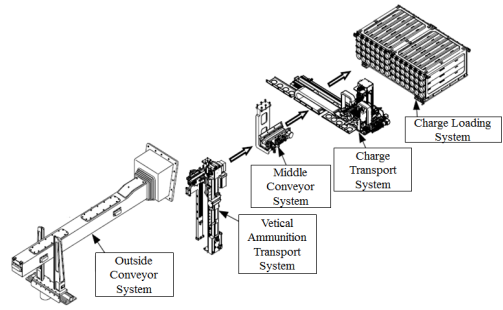


Fig. 1. Scheme of Charge Loading System

장약적치대의 적재관은 1열당 3발의 장약을 넣을 수 있게 설계되어 있어, 위와 같은 행동을 3회 반복하여 장약적재를 완료 한다.

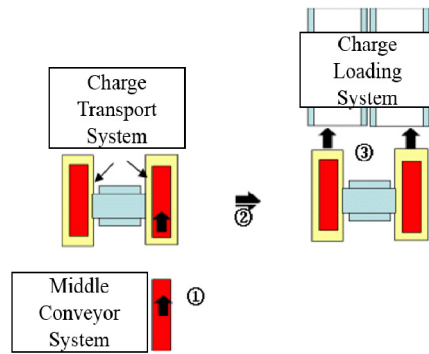


Fig. 2. Charge transfer mechanism

2.2 장약 파손현상

탄운차 내부 각각의 장약적재관에 3발째 장약을 적재 되는 과정에서 Fig. 3과 같이 장약 이송장치에 적용된 밀대가 왼쪽으로 휘었고, 장약이 적재되지 않고 파손(눌림, 찌힘 등)현상과 현상이 발생하였다.

3번째 장약이 적재되는 과정에서 앞에 2개의 장약을 넣을 때 보다 큰 힘이 작용하여 위와 같은 파손 및 고장 현상이 발생하였다. 이는 장약 이송을 제어하는 주제어기에 에러 메시지가 전시되는 것을 통하여 확인 할 수 있었다. 주제어기의 에러 메시지는 최대전류가 3초 이상 작용할 경우 발생되고, 이는 밀대가 장약을 밀어주는 힘이 최대치로 3초 이상 작용 한다는 것이다. 따라서 장약 및 밀대의 파손을 방지하기 위한 개선 필요성이 있어서 본 연구를 수행하게 되었다.

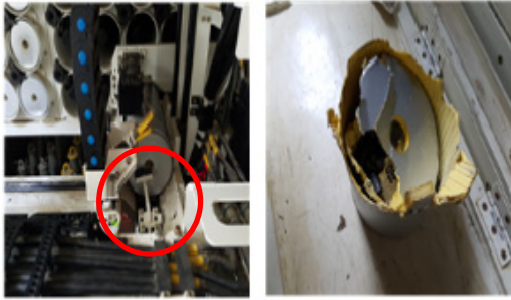


Fig. 3. Defect Phenomenon of Charge Loading System

3. 장약파손 방지 최적설계

3.1 이송기 적재속도 개선

3.1.1 개선방안

장약이 적재관으로 진입할 때 발생하는 힘은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\vec{F} = m\vec{a} = \frac{m(\vec{v} - \vec{v}_0)}{\Delta t} = \frac{p - p_0}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (1)$$

위 식(1)은

$$\Delta p = \vec{F} \times \Delta t \quad (2)$$

으로 표현할 수 있는데 밀대가 장약을 밀어주는 운동량이 동일하다고 가정하면 시간이 단축될수록 충격력은 증가한다. 이에 따라 저자는 밀대가 장약에 접촉하여 밀어주는 시간을 증가시켜 충격력을 감소시키는 방안을 고안하였다.

기존 알고리즘에서는 장약을 운반하는 체인컨베어의 속도를 동일하게 적용하였다. 1번째 장약은 저항이 없는 상황에서 적재를 하지만, 3번째 장약은 앞에 적재관 내부의 2발의 장약을 밀어주면서 동일 속도로 적재되어야 하여 더욱 큰 저항을 받게 된다. 따라서 Fig. 4와 같이 3번째 장약의 적재속도를 제어하기 위한 알고리즘을 추가하였다. 장약의 파손을 방지하기 위해 속도를 앞 2발 대비 60% 줄여 적재 시간을 늘려 충격력을 감소시켰다.

3.1.2 개선효과 검증

Fig. 5와 같이 다이얼 포스게이지를 내부에 장착하여 실제 장약과 동일한 무게와 크기의 모의치구를 개발하였다. 치구 외부에서 가해지는 힘을 게이지를 통해 확인할 수 있으며, 속도 개선 전 후 장약이 받는 충격력을 비교할 수 있다.

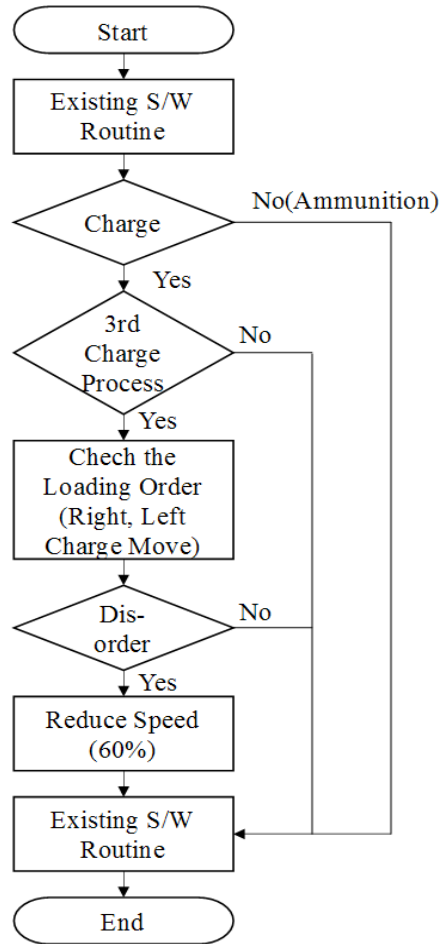


Fig. 4. Software improvement algorithm

검증방법은 실제장약과 동일한 크기의 모의장약을 활용하여 장약적재관에 적재를 한 이후 3번째에는 치구를 적재하여 시험을 실시하였다. 장약적재관은 Fig. 6과 같이 A~D 4개의 층과 14개의 열로 구성되어 있으며, 전체 적재관에 속도 개선 전 후에 대한 힘의 변화를 확인하였다.

시험결과 Table 1과 같이 총 4개 층에 대하여 각각 평균 충격력을 계산하여 결과를 도출하였다. 각 층별로 충격력의 차이는 일부 있지만 개선 전 속도를 적용하였을 때는 D층 적재관의 평균 충격력이 35.9kgf 이고, 모든 적재관의 평균 충격력은 34.7kgf 이다. 그 이후 속도를 60% 감소하여 시험을 진행한 결과 B층 적재관의 평균이 20.2kgf로 가장 높게 나타났으면, 전체 적재관 평균은 19.3kgf였다. 속도를 감소하였을 때 적재관 충격력 평균이 34.7kgf에서 19.3kgf로 약 45% 감소하여, 개선에 대한 효과가 있는 것으로 판단하였다.

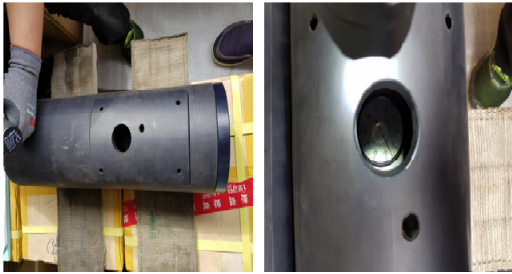


Fig. 5. Device of measuring impact force

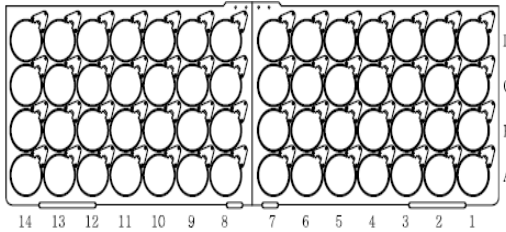


Fig. 6. Geometry of charge storage

Table 1. Maximum force due to the effect of speed

	Loading System Position	Before (kgf)	After (kgf)
A	A1 ~ A14	33.4	19.5
B	B1 ~ B14	34.6	20.2
C	C1 ~ C14	35.1	19.4
D	D1 ~ D14	35.9	18.1
Average		34.7	19.3

3.2 서보제어기 최적설계

3.2.1 최대 전류 검토

앞에서 언급한 바와 같이 장약을 적재하기 위해서는 체인컨베이어에 장착된 밀대가 장약을 적재관으로 진입을 시켜야 한다.

장약 적재 제어는 탄운차에 장착된 서보제어기를 통해 이루어진다. 서보제어기는 ATAS의 전반적인 기구장치 등을 제어한다. 장약 이송장치에 장착된 모터를 구동하여 장약 적재를 하던 중 파손이 발생하였다.

일반적인 구동조건에서는 약 2A의 전류를 출력하지만, 이상조건이 발생하는 경우 전류는 최대 11A 까지 작용 하고, 최대전류의 90% 이상 3초 초과로 작용 할 시 작업을 중지 하도록 설계되었다. 야전 운용 중 고장 및 장약 파손 현상으로 인하여 장약 정제 속도 조정 뿐만 아니라 이상조건에서도 기구장치 및 장약 파손이 발생하지

않게 최대 전류 값을 조정할 필요가 있다. 전류 값이 충분하지 않아서 밀대가 장약을 밀어주는 힘이 약하면 장약이 적재관으로 진입하지 못하는 문제가 발생할 수 있어 최적의 전류 값을 도출하여 설계에 반영할 필요성이 있다.

3.2.2 최적설계 방안

실제장약은 니트로셀룰로스, 디페닐아민, 수지 및 크라프트 섬유로 구성된 인화성물질의 종이 섬유로 되어 있다[5]. 따라서, 과도한 외력이 작용할 경우 눌림, 찌름, 파손과 같은 파손이 발생할 수 있다. 연구자료를 활용하여 87kgf의 힘이 가해질 경우 장약 파손이 시작된다는 결과를 확인하였다.

서보제어기의 전류에 따른 힘을 측정하기 위하여 Fig. 7과 같이 체인컨베이어에 적용된 밀대와 동일한 크기의 시험치구를 제작하여 한쪽 끝에서 밀어주었고, 반대쪽에는 포스게이지를 활용하여 시험을 실시하였다.

서보제어기와 이송기 모터 등 실제 장비에 적용 되는 부품(좌, 우)을 사용하였고, 전류에 따른 힘을 측정하였다. 시험방법은 서보제어기의 최대전류인 11.0A에서부터 각각 1.0A 단위의 변화에 따라 작용되는 힘을 확인하였다. 11.0A부터 5.0A까지 좌, 우측에 작용되는 힘을 측정한 결과 Table 2와 같이 61.2kgf~128.3kgf가 나타났다. 7.0A에서 좌, 우측 각각 충격력을 측정한 결과 장약 파손을 야기 할 수 있는 87.0kgf와 근접한 84.0kgf, 76.5kgf가 측정되었다. 따라서 7.0A와 근접한 전류를 적용하여 모의 적재 시험을 동시에 진행 한 결과 5.0A에서 간헐적으로 힘이 부족하여 장약 적재 불가한 현상이 발생되었다. 따라서 장약 파손 방지를 위하여 파손 시작점인 87.0kgf 보다 약 8% 낮은 힘이 측정 된 6.5A를 최대 전류로 적용 하였다.



Fig. 7. Force measurement according to the current value

Table 2. Maximum force due to the effect of current

Current(Amp)	Maximum Loading Force (kgf)	
	Left	Right
5.0	69.1	61.2
6.0	75.0	74.2
6.5	79.5	75.4
7.0	84.0	76.5
8.0	105.4	103.7
9.0	107.1	125.7
10.0	122.3	128.0
11.0	118.9	128.3

4. 설계개선 입증시험

4.1 시험방법 및 절차

반복적인 장약 적재/보급을 실시하면 장약 눌림 또는 파손 현상 발생가능성이 있다[5~6]. 장약의 파손을 방지하기 위하여 시험은 총 2종류의 시험을 진행하였다. 첫 번째로는 장약의 파손방지를 위하여 실제장약과 유사한 물리특성을 가지는 종이장약을 적용하여 모의시험을 먼저 진행 하였다. 두 번째로는 개선효과를 입증하기 위하여 실제장약을 이용한 시험을 진행하였다.

실제 군에서 사용하는 탄운차에서 해당 입증시험을 진행하였다. 장비의 장약 적재속도는 기존대비 60%로, 최대전류 값을 기존 11.0A에서 6.5A로 설정 하였다. 장약 적재 완료 후 적재 가능여부, 장약 파손여부를 확인하였다.

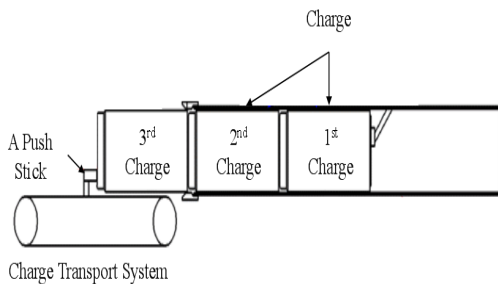


Fig. 8. Test method to prove design improvement

위에서 나타난 2가지 시험 모두 Fig.8과 같이 1,2번째 장약이 적재된 상황에서 파손현상이 발생하였던 3번째 장약에 적용하였고, 종이장약/실제장약 2가지를 사용하였다.

4.2 입증시험 결과

종이지관장약과 실제장약 2가지 장약에 대하여, 탄운차 1대당 모든 장약 적재함 위치(14개 열, 4개 행) 64곳에 위와 같은 시험을 진행하였다. 시험 결과 Table 3과 같이 64곳에서 장약 및 밀대에 파손현상 없이 정상 적재되었고, 모든 탄운차에서 Fig.9와 같이 종이장약과 실제장약에 눌림, 찌힘과 같은 손상이 발생하지 않았다. 또한, 모든 적재가 정상적으로 수행되었고, 설계 개선방안이 타당한 것을 확인하였다.



Fig. 9. Result of improvement test

Table 3. Result of improvement loading system test

	Loading System Position	Mock charge	Charge
A	A1 ~ A14	O	O
B	B1 ~ B14	O	O
C	C1 ~ C14	O	O
D	D1 ~ D14	O	O

5. 결론

본 논문은 탄운차에 장약을 적재하는 과정에서 발생하는 장약의 파손현상을 방지하기 위한 서보제어기 소프트웨어 설계변경 및 실제 차량에 적용하여 입증시험을 수행한 결론은 다음과 같다.

- (1) 장약 이송기의 속도가 높을 경우 충격력이 증가하기 때문에 적재 속도를 기존 보다 60% 감속하였다. 치구를 통하여 장약 적재시 충격력 측정결과 평균 45% 감소하는 것을 확인하였다.
- (2) 적재관 내부의 간섭 등에 의한 이송기의 부하 발생시 서보제어기의 최대전류 값인 11A를 출력하면 장약 파손 발생가능성이 있다. 또한, 전류 값이 낮을 경우 3번째 장약적재가 불가하기 때문에 시험을 통해 최적의 최대전류 6.5A를 도출하였다.

- (3) 실제 장약으로 탄운차에 장약 적재시험을 실시한 결과 장약의 파손이 발생하지 않았으며, 적재가 정상적으로 수행되었기 때문에 설계 개선이 타당한 것을 입증하였다.

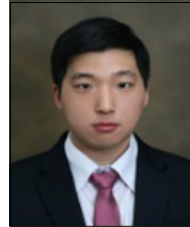
향후 ATAS 구조물(이송장치, 적재관 등) 변경 등과 같은 복합적인 개선에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되며, 본 연구를 통해 유사한 메커니즘을 갖는 기동장비의 설계 시 유용한 참고자료로 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] R. B. Na, B. H. Kim, J. S. Lee, "A Study on the Increase of the Reliability of the Flick Rammer on K-55A1 Self Propelled Artillery", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.19, No.9, pp.62-68, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.9.62>
- [2] C. Y. Jung, J. M. Lee, J. Y. Lee, Y. K. Park, "Operational Effectiveness Analysis of Field Artillery Ammunition Support Vehicle for K-55 Self-Propelled aArtillery Using Simulation", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol.20, No.3, pp.11-18, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.9709/JKSS.2018.27.2.011>
- [3] S. Y. Lee, K. S. Kang, J. Lyou, "A Falut Detection and Isolation Method for Ammunition Transport Automation System", Journal of control, automation and systems engineering, Vol.11, No.10, pp.880-887, October, 2005.
- [4] H. J. Kang, B. H. Kim, B. H. Kim, J. H. Seo, " Structural weld Strength Analysis on Door Hinge of Field Artillery Ammunition Support Vehicle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.15 No.3, pp.58~54, 2016
DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2016.15.3.058>
- [5] C. K. Hong, C. I. Ho, "A Study on the Effect of Storing Temperature upon the Self Life of Propelling Charge K676 and K677", Journal of the KIMST, Vol.8, No.1, pp.14~24m 2005
- [6] K. S. Yoon, S. W. Park, "A Study on the Estimation of Shelf-life for 155mm propelling charge KM4A2 using ASRP's data", Journal of the Korean Society Quality Management, Vol.42, No.3, pp.291~300, 2014 DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2014.42.3.291>

노 상 완(Sang-Wan Noh)

[정회원]



- 2012년 7월 : TsinghuaUniversity 정밀기계과 (공학사)
- 2015년 6월 : 연세대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2015년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 기계/재료, 열/유체

김 성 훈(Sung-Hoon Kim)

[정회원]



- 2014년 12월 : 한양대학교 재료공학과 (공학사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

재료공학, 열역학

박 영 민(Young-Min Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 울산대학교 조선공학과 (공학사)
- 2013년 1월 ~ 2017년 1월 : STX 조선해양 대리
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 기계/조선, 진동/소음

김 병 현(Byung-Hyun Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

〈관심분야〉

국방, 기계/재료, 진동/소음