

One-Shot System에 대한 점검주기 연장 방안 연구

김종진*, 송정훈, 한정원, 이창규
LIG 넥스원

A Study on How to Extend The Inspection Period for The One-Shot System

Jong-jin Kim*, Jeong-hun Song, Jung-won Han, Chang-kyu Lee
LIG Nex1

요약 무기체계는 최근 고도의 신기술과 비용이 투자되어 첨단화, 정밀화 복합 기능화 등의 특징을 가진 형태로 변화하고 있다. 유도무기체계의 경우 주어진 임무를 한번만 수행하게 되는 One-Shot 시스템으로서 전원이 인가되어 임무를 수행하기까지 오랜 시간 동안 저장 되는 것이 특징이다. 이에 따라 유도무기체계의 경우도 경제적인 운용과 사용자의 안전성을 보장하는 측면에서 신뢰성이 보장되어야 한다. 특히 유도무기체계 중 보증탄의 형태로 개발된 유도탄의 경우, 개발단계 시 장기 저장 환경을 고려한 신뢰도 유지 기준이 제시 되고 이를 유지하기 위한 최적화된 점검주기가 필요하다. 본 연구는 현재 군에서 장기간 운용 중인 OO 유도탄을 대상으로 점검주기 간 발생한 정비현황 및 사격결과를 기초로 수학적 모형에 의한 추세 검정, 적합도 검정, 분포 분석 등을 통하여 실측 신뢰도를 산출한다. 이를 통하여 개발단계 시 설정된 점검주기 모델(Martinez 기법)에 적용하여 개선된 점검주기를 활용 가능한지 여부를 판단한다. 마지막으로 이러한 연구 결과 자료를 종합하여 점검주기 연장에 따른 정책적 관리방안을 제안한다.

Abstract The guided weapon system should ensure economical operation and user safety. In particular, in the case of guided weapon systems developed in the form of a guaranteed bomb, the standards for maintaining reliability considering the long-term storage environment are presented during the development stage, and an optimized inspection cycle is required to maintain this. This study calculated the reliability through a trend test, fitness test, and distribution analysis using a mathematical model based on the maintenance status and shooting results during the inspection period for OO missiles currently in operation for a long time in the military. Through this, it was applied to the inspection period model (Martinez) set during the development stage to determine if the improved inspection period can be utilized. Finally, by synthesizing the data from these studies, a policy management plan was developed according to the extension of the inspection period. The One-Shot system was operated at the inspection period set when it was developed. The study analyzed the actual failure and maintenance data to reset the efficient inspection period.

Keywords : Inspection Period, Certification Round, Storage Reliability, One-Shot System, Field Data

*Corresponding Author : Jong-jin Kim(LIG Nex1)

email : jongjin.kim@lignex1.com

Received October 30, 2020

Revised December 21, 2020

Accepted February 5, 2021

Published February 28, 2021

1. 서론

유도무기 체계는 전장 환경에서 아군의 피해를 최소화 하고, 적군에 대한 타격을 최대화하기 위해 고도의 신뢰성이 보장되어야 한다. 유도탄은 주어진 임무를 오직 한번만 수행하게 되는 “One-Shot” 시스템으로서 전원이 인가되어 임무를 수행하기까지 오랜 기간 동안 저장되는 것이 특징이다. 따라서, 유도무기 체계에 대해서는 주어진 저장 환경 조건이나 운용환경에서 일정한 저장 신뢰도의 유지를 위한 기준이 제시되고 이를 유지하기 위한 최적화된 점검주기가 필요하다.

OO 유도탄은 국내 연구개발을 통하여 보증탄(certification round) 형태로 개발하였다. OO년부터 10년 이상의 양산기간을 보유 중이며, 야전점검 및 사격을 주기적으로 수행하고 있는 유도무기 체계이다.

본 연구의 목적은 체계개발을 통해 설정된 점검 주기를 양산 간에 획득된 10년 이상의 운용데이터(사격 및 정비 이력) 기반으로 점검 주기 연장(5년 → 6.5년) 가능 여부를 판단을 하는 데 목적이 있다.

OO 유도탄에 대한 점검주기 연장 가능 여부를 검토하기 위한 연구 방법은 다음과 같다. 첫째, 기존 문헌 연구를 통하여 신뢰도 예측 모델 및 점검 주기 결정 정책에 관한 연구를 진행한다. 둘째, 현재 운용 중인 OO 유도탄의 운용데이터(사격 및 정비 이력)를 입수하여 수학적 모형에 의한 추세 검증, 적합도 검증, 분포 분석 등을 통한 실측 신뢰도를 추정한다. 셋째, 점검 주기 결정 모델을 이용하여 실측 신뢰도를 고려한 적정 점검 주기를 산출한다. 넷째, 이러한 연구 결과 자료를 종합하여 향후 점검/정비정책에 대한 의사결정 방향을 제시한다.

2. 본론

2.1 연구절차 개념

기존 연구와 본 연구간 차이점은 Table 1과 같다.

연구과정에서 가장 큰 차이점은 기존 연구문헌의 경우, 일정한 저장신뢰도(80%) 유지를 위한 점검주기 모델(Martinez 기법)에 입력되는 신뢰도 분석 방안을 예측기법에 의존하였다. 이번 연구의 경우, 양산기간 동안 배치된 0,000발에 대한 운용데이터(사격/정비 이력)를 기반으로 통계적 분석을 통하여 모수(실측 신뢰도 결과 값)를 도출하였고, 이를 점검 주기 모델에 입력하여 점검 주기가 연장 가능 여부를 판단하였다. 다만, 기존과 이번 연구

에서 점검 주기 결정모델(Martinez 기법)은 동일한 기준을 적용하였다.

Table 1. Concept of Research Procedure

Division	Reliability Analysis Method	Inspection Period Decision Model	Optimal Inspection Period
Existing Research Literature	<ul style="list-style-type: none"> Using Prediction Reliability Techniques - RADC-TR-85-91 		4 years
This Study Period	<ul style="list-style-type: none"> Utilization of Measured Reliability Techniques - Analysis of Statistical Data on Shooting and Maintenance Analysis Procedure - 0.000 Field Data Acquisition - Data Preprocessing - Data Classification (Interval Data) - Statistical Software Input and Analysis (MINITAB 19 S/W) - Statistical Analysis and Parameter Estimation 	Martinez	Consider Extending more than 6.5 years

2.2 기존 연구문헌 고찰

2.2.1 저장 신뢰도 예측 모델

OO 유도탄의 저장 신뢰도를 예측하기 위하여 운용 신뢰도 산출 후 저장 신뢰도 모델인 RADC/RAC의 RADC-TR-85-91, 변환계수법(dormant conversion factors)을 적용하였다. 체계개발 시, 저장 신뢰도 산정을 위하여 Fig. 1의 Ground Active To Ground Passive에 해당하는 변환계수를 적용하여 운용신뢰도 산출 후 저장신뢰도로 변환하여 000,000 hr로 결과 값을 도출하였다.

Part Type	Ground Active To Ground Passive	Airborne Active To Airborne Passive	Airborne Active To Ground Passive	Naval Active To Naval Passive	Naval Active To Ground Passive	Space Active To Space Passive	Space Active To Ground Passive
	Integrated Circuits	0.08	0.06	0.04	0.06	0.05	0.1
Diodes	0.04	0.05	0.01	0.04	0.03	0.2	0.8
Transistors	0.05	0.06	0.02	0.05	0.03	0.2	1.00
Capacitors	0.1	0.1	0.03	0.1	0.04	0.2	0.4
Resistors	0.2	0.06	0.03	0.1	0.06	0.5	1.00
Switches	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.8	1.00
Relays	0.2	0.2	0.04	0.3	0.08	0.4	0.9
Connectors	0.005	0.005	0.003	0.008	0.003	0.02	0.03
Printed Circuit Board	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	0.08	0.2
Transformers	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	1.00

Fig. 1. Dormant(Non-Operating) Conversion Factors[1]

2.2.2 점검 주기 결정 모델

저장 중인 장비에 대한 주기적인 점검과 관련된 기존의 대표적 연구는 Fig. 2와 같이 Martinez(1984)가 장기간 저장되는 전자장비에 대해 수시점검에서 발견된 고장난 부품이 모두 수리되어 신품과 같아진다는 가정 하에 보전 후 저장신뢰도를 계산한 모델이다.

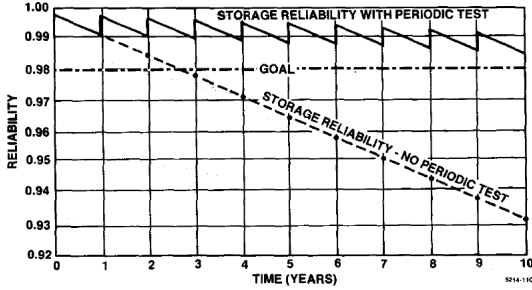


Fig. 2. Electronic Device Life Cycle Reliability with Yearly Periodic Test[2]

이번 연구대상인 OO 유도탄의 경우, 10년 동안 주기적 점검을 통하여 일정 수준의 신뢰도(80%)를 유지하도록 요구받았다. 변환계수법을 통한 저장신뢰도 산출결과를 점검 주기 결정모델(Martinez 기법)에 적용 결과, Fig. 3과 같이 4년 점검 주기 결과가 도출되었다.

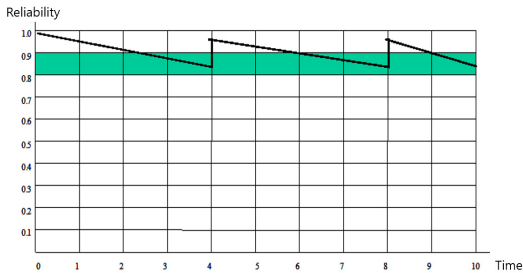


Fig. 3. Inspection Period Setting Result

2.3 유도탄 점검 정책

OO 유도탄의 경우, 보증탄(certification round)에 대한 주기적 확인(certification)을 위하여 Table 2와 같이 체계개발 시 설정된 4년 야전점검 주기와 10년 창정비 개념을 적용하여 운용하였다. 현재는 최초 야전점검 결과 및 탄약신뢰성평가(ASRP : Ammunition Stockpile Reliability Program, 이하 ASRP) 결과를 바탕으로 각각 5년 야전점검 주기와 13년 창정비 주기로 변경하여 운용하고 있다.

야전점검활동은 유도탄 점검장비를 활용하여 수행하며, 수행 간 고장이 식별된 유도탄의 경우 생산업체(창정비)로 이동하여 정비를 수행한다.

현 점검 정책에 의거하면, 창정비 주기(13년) 도래 이전 2회의 야전점검이 요구된다. 효율적으로 야전점검을 1회 수행하기 위해서는 현재 설정된 점검 주기 연장(5년 → 6.5년 이상)이 필요한 실정이다.

Table 2. Inspection Policy

Inspection Type	Development	Mass Production
Field Inspection	4 years	5 years
Depot Maintenance	10 years	13 years

2.4 신뢰도 분석모형의 적용

2.4.1 자료 획득 및 자료 처리

고장 데이터를 분석하기 위해 0,000발에 대한 유도탄 사격 결과를 입수하였다. Fig. 4와 같이 사격 결과에 따라 비행 또는 고장으로 분류하였으며, Fig. 5와 같이 고장으로 식별된 유도탄을 저장 기간에 따라 분류하였다.

Division	All	Supply Year														
		X	X+1	X+2	X+3	X+4	X+5	X+6	X+7	X+8	X+9	X+10	X+11	X+12	X+13	X+14
Total data	0,000	00	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000
Shooting data	000	00	00	00	00	00	00	0	-	-	0	0	-	-	-	
Failure data	158	5	24	21	15	16	16	23	14	9	4	10	1	-	-	

Fig. 4. Result of OO Guided Missile Test

Supply	All	Storage Period (Year)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X	5	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-	1
X+1	24	-	-	-	-	-	1	-	-	3	1	12	7	-	-
X+2	21	-	-	-	4	-	-	-	2	1	6	8	-	-	-
X+3	15	-	-	-	-	1	2	1	-	2	3	6	-	-	-
X+4	16	1	-	-	-	2	4	-	-	3	6	-	-	-	-
X+5	16	-	-	-	-	4	7	3	2	-	-	-	-	-	-
X+6	23	-	1	-	-	11	1	5	5	-	-	-	-	-	-
X+7	14	-	-	-	-	3	3	8	-	-	-	-	-	-	-
X+8	9	-	-	-	-	2	7	-	-	-	-	-	-	-	-
X+9	4	-	-	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-
X+10	10	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X+11	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 5. Malfunction Guided Missile Based on Storage Period

장비의 고장 내역 처리 간 취급 상 부주의로 발생한 외관불량 등의 고장소요는 대상에서 제외하였으며, 전기적 성능점검을 통하여 확인된 고장 이력을 포함하였다.

사격 후 유도탄이 비행(flight)한 경우는 명중 여부에 상관없이 정상으로 판단하였으며, 미 발사된 탄은 고장으로

로 간주하였다. 주기 점검을 한 번도 수행하지 않은 유도탄은 분석 대상에서 제외하였다. 관측 중단 시점은 '20년 0월로 설정하였다.

2.4.2 고장 이력 분석

통계 프로그램(MINITAB 19 S/W)을 활용하여 전처리 과정을 거친 필드 데이터를 활용하여 신뢰도 분석을 수행하였다. 대부분의 필드 데이터 분석 관련 자료를 검토해보면, 실제 수리 가능체계이나 수리 불가능체계로 검토하여 진행한 경우가 많았다. 그에 대한 사유는 고장/수리 이력에 대한 제한적 자료 획득 때문이었다. 이번 연구 과제의 경우 실제 수리 가능한 One-Shot 시스템에 대해서 0,000발 이상을 분석하는 과제이기 때문에 수리 가능체계에 추세 검정을 통하여, 모수분포분석 또는 NHPP (Non-Homogeneous Poisson Process) 분석을 선택하여 진행하였다. 이와 관련하여 Fig. 6에 있는 논리도를 참조하였다[3].

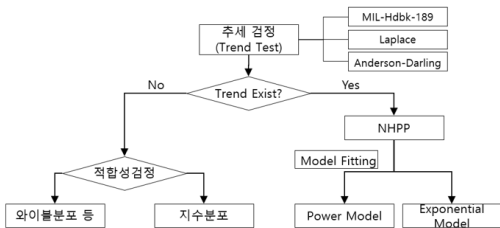


Fig. 6. Flow Chart for Reliability Data Analysis

2.4.2.1 추세 검정 결과

수리 실적이 2건 이상 있는 품목을 대상으로 추세 검정을 수행하였다. MIL-HDBK-189를 기반으로 추세 검정을 실시한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Trend Test

Division	MIL-HDBK-189
Test statistic	21.57
P-Value	0.062
DF	13

유의수준은 통상 0.05로 설정하며, P값이 0.05보다 크면 추세가 없는 것으로 판단한다. P값이 0.062이므로 추세가 없는 것으로 확인하였다.

2.4.2.2 모수분포 분석

수리 가능체계에 추세가 없는 것으로 판단되어서 모수분포 분석 형태로 통계적 자료 분석을 수행하였다.

Fig. 7과 같이 필드 데이터의 분포 적합성 검정을 하였다. Anderson-Darling 값은 데이터가 특정 분포를 얼마나 잘 따르는지 측정하는 값이다. 지정된 데이터 집합 및 분포의 경우, 분포가 데이터에 더 적합할수록 값은 점점 작아진다. Table 4와 같이 해당 데이터의 분포 적합성 검정 결과, 세 분포가 모두 유사한 검정 결과를 나타냈다. 세 분포 중에서 수명자료에 대해서 보편적으로 적용 가능한 Weibull 분포로 적용하여 분석한다.

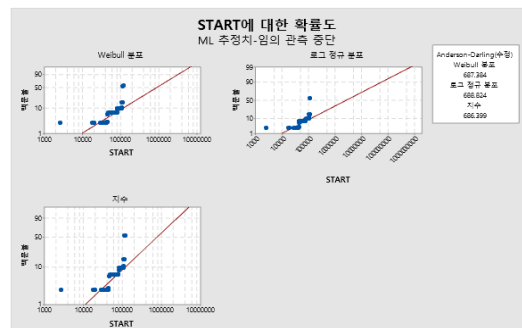


Fig. 7. Distribution Analysis

Table 4. Anderson-Darling

Division	Weibull	Log-normal	Exponential
Anderson-Darling	687,384	688,824	686,399

0,000발에 대해 최대우도법으로 지정하여 Weibull 분포로 분석한 결과는 Fig. 8과 같으며, 형상모수는 0.926003, 척도모수는 1,372,635이다.

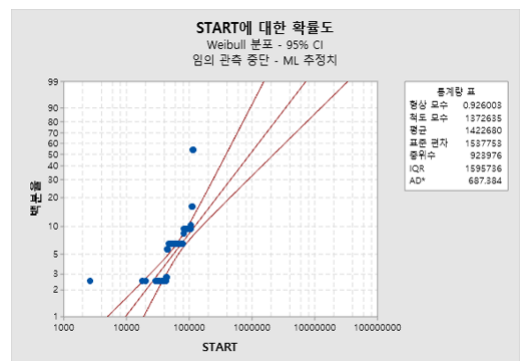


Fig. 8. Weibull Distribution Analysis

체계개발 시 유도탄의 신뢰도는 지수분포 가정하여 산출한다. Weibull 분포의 형상모수를 지수 분포와 동일하게 가정할 수 있는지 여부에 대해서 검증을 하였다.

검정의 가설은 다음과 같이 수행된다.

- H_0 : 형상모수는 “1”과 동일(귀무가설)
- H_1 : 형상모수는 “1”과 차이 있음(대립가설)

Table 5와 같이 P값이 0.646으로 유의수준 0.05보다 크기 때문에 귀무가설은 기각될 수 없다. 귀무가설이 채택되어 지수 분포 적용이 가능함을 확인하였다.

Table 5. Test for equal to 1

Chi-square	DF	P-Value
0.210699	1	0.646

0,000발에 대해 최대우도법 및 지수 분포를 적용한 분석 결과는 Fig. 9와 같으며, 평균값은 1,099,083으로 산출된다. 보수적인 결과 값 산정을 위하여 신뢰수준 95%로 편측 신뢰 하한으로 계산할 경우 964,253으로 산출되며, 이를 점검 주기 산정 기준 값으로 적용한다.

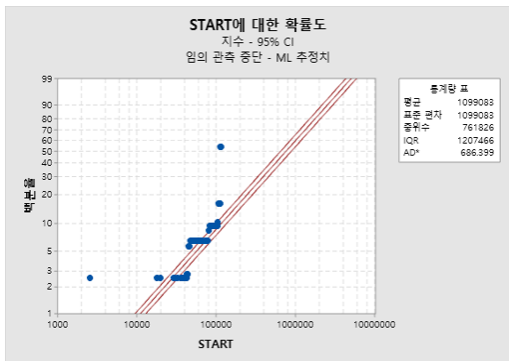


Fig. 9. Exponential Distribution Analysis

2.5 점검 주기 산출 및 정책적 제언

Fig. 10과 같이 실측신뢰도 데이터를 점검 주기 결정 모델(Martinez 기법)에 적용한 결과, 기존 야전 점검 주기 5년에서 6.5년으로 연장 가능한 것으로 검토된다. 아울러 Table 6과 같이 30년 무기체계 수명주기에서 4년 주기 점검을 수행할 경우, 7.5회 점검이 필요하다. 6.5년으로 주기 점검을 연장할 경우, 4.6회만 점검을 통한 운용유지비용 절감이 가능하다. 하지만, 유도탄의 기본적인 임무는 적정 신뢰도 유지를 통한 전투준비태세 확립인 점을 고려해야 한다.

기본적으로 OO 유도탄의 배치 년 수가 평균 10년으로 노후화 되고 있다는 것을 고려하여 점검 주기 연장에 대해서 신중할 필요가 있으며, 연장을 하더라도 주기적인 확인을 통한 신뢰도 재확인(야전점검 및 창정비)이 수반되어야 한다. 아울러 ASRP 결과에 따른 창정비 주기 변동(축소) 가능성을 고려 시, 창정비 주기 동안 1회 수행으로 야전점검 활동을 수행하는 정책적 결정을 하는 것도 고려해 볼 필요가 있다.

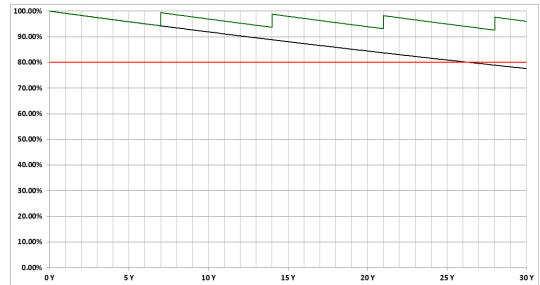


Fig. 10. Applying Result of Reliability Analysis to Martinez

Table 6. Effect of change in inspection period

Inspection Type	Development	Mass Production	
		Existing	Between Studies
Field Inspection	4 years (7.5 times)	5 years (6.0 times)	6.5 years or more (4.6times)
Depot Maintenance	10 years	13 years	13 years

* The content in parentheses is the number of inspections assuming that the life cycle of the weapon system is 30 years.

3. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구를 통하여 체계개발 시 설정된 점검 주기를 군 운용환경 요건을 고려하여 재검토하는 방법론에 대해서 검토하였다. 보증탄으로 개발된 유도탄의 경우 주기적인 신뢰도 모니터링(야전점검 및 창정비) 활동이 수반될 때 장비의 신뢰성 및 건전성을 보장할 수 있다.

현재까지 입수된 고장, 사격결과 등을 고려할 때 점검 주기를 연장 가능한 것으로 분석 결과를 제시하였지만, 고장판단 기준, 통계적 추정 방법론에 따라서 연장 가부 판단 결과 값이 달라질 수 있다. 따라서 관련 기관과 협의를 통해 통계적 자료 처리 방법에 대한 합의가 필요하며, 이를 통하여 최적 점검 주기를 결정할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Anthony J. Feduccia, Reliability Engineer's Toolkit, p.160, The Rome Laboratory, 1993, pp.123
- [2] Eugene C. Martinez, Storage Reliability With Periodic Test, p.181-185, IEEE, 1984, pp.184
DOI: <https://doi.org/10.1109/rams.1984.764288>
- [3] S. H. Lee, B. J. Yum, *Reliability Analysis Procedures for Repairable Systems and Related Case Studies*, Master's thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Korea, pp.51-59, 2006.
- [4] B. S. Lee, K. S. Lee, D. S. Kim, K. S. Moon, "Certified Missile Rounds Concepts Using Modeling and Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.18, No.4, pp.95~105, 2009.
- [5] S. H. Jung, S. B. Lee, "A Study on Warranty and Quality Assurance Model for Guided Missiles Based on Storage Reliability", *The Korea Reliability Society*, Vol.17, No.2, pp.83~91, 2017.
- [6] Y. W. Seo, K. S. Lee, Y. H. Lee, J. Y. Kim, "Reliability Prediction Based on Field Failure Data of Guided Missile", *The Korea Reliability Society*, Vol.18, No.3, pp.250~259, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.33162/jar.2018.09.18.3.250>

김 종 진(Jong-jin Kim)

[정회원]



- 2006년 2월 : 부경대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : LIG넥스원 ILS연구소 수석연구원

<관심분야>

종합군수지원(ILS), 유도무기, 신뢰성공학, 빅데이터

송 정 훈(Jeong-hun Song)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원 ILS연구소 선임연구원

<관심분야>

종합군수지원(ILS), 유도무기, 전자통신

한 정 원(Jung-won Han)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부경대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2014년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 ILS연구소 선임연구원

<관심분야>

종합군수지원(ILS), 유도무기, 신뢰성공학, 빅데이터

이 창 규(Chang-kyu Lee)

[정회원]



- 2020년 2월 : 금오공과대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 ILS연구소 연구원

<관심분야>

종합군수지원(ILS), 신뢰성공학, 생산관리, Data mining