

열상감시장비의 냉각기 신뢰도 분석

홍석진*, 정윤식, 김진환
국방기술품질원 대구센터

Reliability Analysis of cooler in Thermal Observation Device

Seok-Jin Hong*, Yun-Sik Jung, Jin-Hwan Kim
DTAQ (Defense agency for Technology and Quality)

요 약 열상 감시 장비의 핵심부품인 냉각기는 검출기 온도를 낮춰서 열상 감시 장비가 제 기능을 발휘하게 해준다. 해외 도입품으로서 기준사용시간이 20,000시간으로 제시되었고 이에 맞춰서 운용하고 있다. 양산 후 운용 중에 고장이 발생하기 시작했고, 그 고장으로 인해 냉각기의 MTBF분석을 해볼 필요성을 느꼈다. 군과 방산 업체에서 열상 감시 장비의 냉각기 고장데이터를 수집하였고 221개의 납품된 냉각기 중 73개의 냉각기가 운용 중에 고장이 발생하였다. 이 고장데이터에 생존 확률 함수를 모수적 접근방법을 사용하여 적합한 분포를 파악을 하였고, 로그 로지스틱 분포가 적합하다고 추정되었다. 로그 로지스틱 분포의 모수를 기반으로 냉각기의 MTBF를 분석하였다. 해외 업체가 제시한 MTBF와 비교하였고 또한 냉각기의 시간대별 신뢰도를 분석해보았다. 군 운용환경 중 고장이 발생한 냉각기의 MTBF를 분석함으로써 품질보증활동의 개선점을 찾을 수 있다. 실측 MTBF는 해외 업체에서 제시한 것보다 높게 나왔지만 운용 환경과 분석 방법론에 따른 차이는 존재한다. 이 분석 결과는 군에서 해외 도입품을 운용하는 현시점에 장비 정비주기와 운영시간에 영향을 줄 수 있고, 향후 냉각기 국산화 시 보조 자료로 기여할 것이라 판단된다.

Abstract The cooler, which is the main part in a Thermal Observation Device (TOD), makes the TOD function by reducing the temperature. As the cooler is imported, overseas enterprises presented 20,000 hours as the operation time and the military have used the cooler as presented. However, failures have occurred occasionally after mass production stage. Therefore, we need to analyze the MTBF of the TOD cooler. So, military and defense industry companies collected the failure data of the TOD cooler. We analyze the MTBF of the TOD cooler using survival probability function and failure data. We find the optimal distribution by applying parametric method and estimate parameters. We determine that the Log-logistic distribution is the most appropriate for this data. Also, we analyze the reliability per hour of the TOD cooler. The result of MTBF of the TOD cooler was higher than that of presented by overseas enterprises.

Keywords : Cooler, Reliability, TOD(Thermal Observation Device), Survival Analysis, Hazard Function, MTBF

1. 서론

1.1 서론

기존 열상감시장비가 GOP/해안 강안 주변 체대 등에서 주요감시 수단으로 전력화된 시점이 오래되어 노후화

에 따른 정비유지 제한 및 수명주기 도래 문제가 발생하기 시작했다. 이에 야전 운용의 제한과 문제점들을 해소하고 작전지역 확장에 따른 적 중심지역 감시를 위해서는 성능이 향상된 장비를 확보해야한다는 의견이 대두되기 시작했고 성능이 향상된 차기 열상감시 장비로 교체

*Corresponding Author : Seok-Jin Hong(Defense agency for Technology and Quality)

Tel: +82-54-469-6500 mail: hsj11250@dtacq.re.kr

Received September 29, 2016

Accepted November 10, 2016

Revised (1st November 1, 2016, 2nd November 9, 2016)

Published November 30, 2016

하려는 사업이 추진되었다.

현재 열상장비는 고성능 열상검출기와 고배율 광학계를 적용함으로써 탐지거리와 해상도가 기존 대비 약 3배 정도 향상되었다. 또한 탑재장비 내에 열상/CCD 카메라, 레이저거리측정기/위성항법장치, 디지털 나침반을 내장하여 여러 복합기능을 수행할 수 있게 하였으며 외부연동 강화 및 다기능 원격제어를 통해 탐지된 표적좌표를 디지털 지도에 표시해줌으로써 C41(전술지휘통제 자동화 체계) 연동 및 LAN 기반제어와 정보공유가 가능해졌다.

냉각기는 열상관측기에 검출기와 일체형으로 결합되어 검출기 온도를 80K(-193도)로 유지시키는 열상장비의 핵심부품으로 그 기능은 체계 기능에 큰 영향을 주게 된다. 냉각기는 해외도입품으로 MTBF가 Weibull 분포 기준으로 20,000시간으로 제시되었고 이에 맞게 운용을 하고 있다. 그러나 국내 장비에 결합되어 사용되었을 때는 수명주기에 대한 분석이 수행되지 않았다. 그 이유는 양산단계가 시작된 지 얼마 되지 않았고 수명주기에 대한 분석을 하려면 운용데이터가 필요하기 때문이다. 하지만 양산이 된지 어느 정도의 시간이 지났기 때문에 고장이 발생하기 시작했고 국내환경에 사용되고 있는 냉각기에 대한 MTBF 분석이 필요한 시기이다.

열상감시장비의 냉각기는 운용시간이 많다보니 특정 시점이 되면 고장이 집중적으로 물리는 경우가 발생된다. 군수품의 신뢰성은 중요한 지표중 하나이다. 열상감시장비의 냉각기 신뢰도 분석을 통해 고장을 줄일 수 있는 방법이 필요한 시기이다.

본 논문에서는 해외에서 제시한 Weibull 분포를 통한 MTBF 20,000시간을 기준으로 국내환경에서 운용되고 있는 냉각기의 MTBF를 비교, 분석하여 운용유지를 정상적으로 하고 있는지 확인해보려고 한다. 또한 시간대별 신뢰도 분석을 통해 품질보증 및 양산 운용에 활용할 수 있는 기여점이 많다고 생각된다.

2. 본론

2.1 냉각기 고장

냉각기는 레이저 적외선 관측세트 열상관측기에 적외선 검출기와 일체형으로 결합되면 검출기는 반도체 소자로 근적외선에서 원적외선 영역에 이르는 광범위한 파장범위의 적외선을 검출하여 이를 영상화 하는 부품으로

열영상 또는 FLIR(Forward Looking Infrared)라고 한다. 적외선 검출기는 실온 이상의 검출대상물이 방사하는 주로 3~5um 파장영역(MWIR, Mid Wave Infrared) 및 8~14um 파장영역(LWIR, Long Wave Infrared)의 방사 에너지를 검출하기 위하여 검출기 온도를 90K(-183도)로 유지시켜야 안정된 영상을 구현할 수 있으므로 냉각이 필요하다. 냉각이 잘 되지 않는다면 영상이 구현이 지장을 주게 되고 이런 현상을 냉각기의 고장이라고 판단하였다.

2.2 방법론 및 데이터

2.2.1 방법론

생존분석 모수적 접근 방법

통계적 추론의 방법으로는 획득한 데이터의 모집단이 특정 분포를 따른다는 가정 하에서 적용되는 모수적 방법(parametric method)이 있다. [1][2]. 냉각기 운용구간을 대상으로 한 고장(파손)확률(failure probability)은 대상 구간이 일정한 기간 내에 고장 날(임계값 이하로 떨어져 폐기를 해야 할) 확률로 정의되며, 생존확률(survival probability)은 고장확률과 반대의 개념으로 살아있을(사용 가능할) 확률로 정의된다.[2]

모수적 방법을 이용하기 위해서는 고장률 함수도 같이 정의가 되어야 하며, 냉각기 운용 기간동안 t 시간(hour)까지 고장(파손) 없이 운용중인 구간 가운데 t년에서 고장 날 확률을 나타낸다.

MTBF(Mean Time Between Failure)

구간의 수명특성을 나타내는 지표로 평균수명(mean life) 혹은 평균고장시간(mean time between failure: MTBF)이 있으며 연속확률변수 T의 확률밀도함수가f(t)일 때, 식(1)와 같이 나타낼 수 있다.[3]

$$MTBF = E[T] = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (1)$$

2.2.2 데이터

본 연구에서는 냉각기의 수명을 분석하기 위하여 국내 방산 업체에서 도입하여 납품한 냉각기에 대한 야전 운용정보를 수집하였다. 해외 도입품으로써 제시된 MTBF 20,000시간을 충족시키는 지 확인하기 위해서는 실제 운용되는 정보를 파악하는 것이 가장 적합한 방법이라 판단되었기 때문이다.

데이터는 수년 전에 양산이 시작되어 배치된 열상 감시 장비의 냉각기 고장데이터를 활용하였다. 기간은 12년부터 14년까지 납품된 열상 감시 장비 냉각기로 한정하였으며, 총 데이터의 수는 221개이다. 221개 중 73개가 고장이 발생하였으며 148개는 고장이 발생되지 않았다. 열상 감시 장비는 하루에 총 12시간 운용되며 2시간 운용되고 30분 쉬는 방식으로 운영된다. 그래서 12년에 납품된 열상 감시 장비의 냉각기는 총 운용시간이 대략 16,000시간이며 14년 이후 납품된 냉각기일수록 운용시간은 줄어들게 된다. 고장이 발생한 73개의 데이터는 완전 데이터지만 고장이 발생하지 않은 148개의 데이터는 우측 관측중단처리를 하였다. 우측 관측중단 시점은 16년 5월이고 정시 중단하였다. 이 데이터는 소요군에서 A/S를 접수한 야전운용데이터이며 업체에서 수집한 데이터와 비교하여 일치하는 것에 대해서만 데이터로 활용하여 데이터 신뢰성을 높였다.

2.3 분석결과

2.3.1 분포분석 및 적합도 검증

본 연구에서는 냉각기의 고장데이터를 이용하여 적합한 모수적 수명분포를 파악하고 계산되어진 모수를 활용하여 냉각기의 생존확률함수를 추정하는 것이다.

우선 미니탭에서 제공하는 수명분포 적합도 기능을 통해 가장 적합한 수명분포가 어떤 것인지 파악해보았다.[4][5] 해당 데이터가 특정분포에 얼마나 적합한지 확인하기 위하여 Anderson-Darling 통계량이 사용되었고 이 통계량이 가장 작은 분포가 데이터와 가장 적합하다고 판단할 수 있다. [5] 따라서, 아래 Table 1과 같이 Log-logistic 분포 (170.923) 과 Log-normal분포 (170.946)으로 상대적으로 다른 분포보다 적합하다고 추정하였다. 해외업체에서는 Weibull 분포로 제시하였는데 이는 분석방법론에 따라 차이를 보일 수는 있다.

Table 1. Anderson-Darling Test Statistic

Fitted Distribution	Anderson-Darling Statistics
Weibull Distribution	170.959
Log-Normal Distribution*	170.946*
Exponential Distribution	171.754
Log-logistic Distribution*	170.923*
3-parameter Weibull Distribution	170.955

3-parameter Log-normal Distribution	171.209
2-parameter Logistic Distribution	171.119
3-parameter Logistic Distribution	171.154
The smallest extreme value Distribution	173.338
Normal Distribution	172.381
Logistic Distribution	172.639

2.3.2 분포를 통한 모수 추정

이제까지 분포 적합도 분석을 통하여 Log-normal분포와 Log-logistic 분포가 현 데이터에 가장 적합하다는 것을 파악하였다. 그 중 Log-logistic분포가 AD값이 조금 더 낮기 때문에 최종 적합한 분포로 선정하였다. Table 2에서 Log-logistic 분포의 모수를 추정하여 확률 밀도함수 및 신뢰도 및 위험함수를 파악한다.

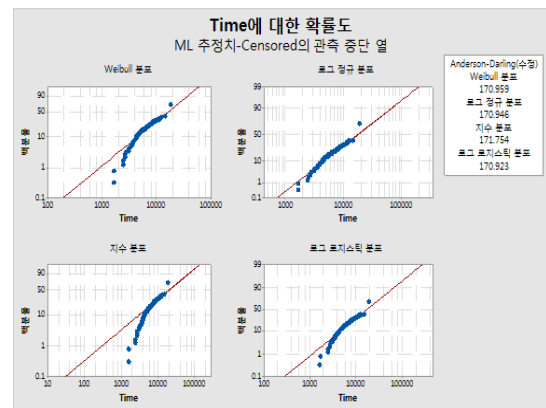


Fig. 1. Goodness of Fit of Log-normal distribution and Log-logistic distribution

Table 2. Parameter Comparison of three distribution

	Log-Normal	Log-Logistic	Weibull
Location Parameter	9.792	9.756	1.464
Scale Parameter	1.037	0.595	21807
Log-likelihood value	-814.389	-817.441	-819.519
A/D	170.946	170.923	170.959

A/D 값이 거의 비슷하나 Log-logistic 분포가 가장 낮음을 확인할 수 있다. 위치, 척도 모수를 통해 열상 감시 장비 냉각기의 신뢰도를 추정할 수 있다.

2.3.3 생존확률 및 위험함수를 통한 MTBF 추정

2.3.2에서 현 데이터의 특성을 가장 잘 나타내주는 분포가 Log-logistic 분포라는 것이 추정되었다. 다음 Fig 2는 Log-logistic 분포에서의 확률밀도함수, Log logistic 분포, 생존함수 및 위험 함수를 보여준다.

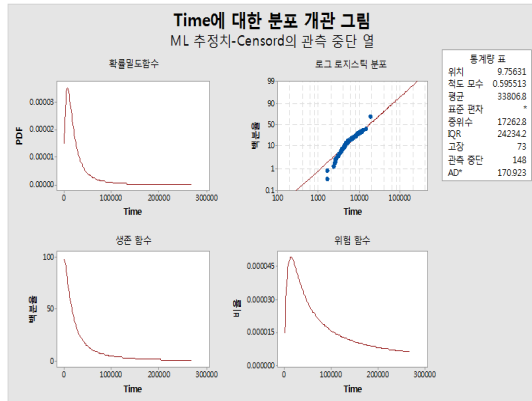


Fig. 2. Graph of Probability density function, Survival Function, Hazard Function of Log-logistic Distribution

Fig.2의 그래프와 결과를 통해서 알 수 있는 것은 생존확률이 50%이하로 떨어지는 시간이 17262.8시간으로 추정이 된다는 것이다. 또한 MTBF는 95% 신뢰수준에서 33,806.8시간으로 추정이 되며 이는 해외업체에서 제시한 20,000시간을 상회하는 시간이라 판단된다.

아래 Table 3을 보면, 오차는 발생하지만 냉각기의 1%가 고장이 나는데 걸리는 시간이 약 1118.63시간, 10%가 고장이 나는데 걸리는 시간은 4664.96시간, 50%가 고장이 나는데 걸리는 시간은 17262.9시간으로 추정된다.

Table 3. Percentile table of cooler on TOD

Percentage(%)	Operating Hours	Standard Error
1	1118.63	265.04
10	4664.96	528.79
20	7560.96	668.73
50	17262.9	1767.38

2.3.4 위험함수를 통한 신뢰도 예측

본 연구는 해외업체가 Weibull 분포를 기준으로 MTBF 20,000시간을 제시하였고, 양산을 운용하는 시점

에서 고장 발생되기 때문에 이를 확인해보려고 시작하게 되었다. 현재 고장 데이터로 분석했을 시 Log-logistic 분포기준으로 MTBF가 33806.8 시간으로 추정되었고 제시된 시간보다 상당히 높음을 알 수 있다. 이는 소요군에서 운용을 잘하고 있다는 의미일 수도 있고, 냉각기의 신뢰도가 제시된 것보다 좋다는 의미일 수도 있다. 하지만 고장발생이 제시된 것보다 낮다고 해서 개선할 필요가 없다는 것은 아니다. 고장발생을 줄이기 위해 현재 시점에서 MTBF 비교뿐만 아니라 시간대 별 신뢰도를 파악해보는 것도 의미 있다고 판단하였다. 그래서 해외업체에서 제시한 20,000시간과 그 전 후 시간에서의 신뢰도를 추정해보았다. 다음 표는 시간대별 냉각기의 신뢰도를 보여준다.

Table 4. Reliability per hour on Cooler

Hour	Reliability
1,000	0.991
3,000	0.949
5,000	0.889
7,000	0.819
9,000	0.749
10,000	0.714
15,000	0.559
20,000	0.439
25,000	0.349
30,000	0.283

5,000시간에서 0.889, 10,000시간에서의 신뢰도는 0.714, 20,000시간에서의 신뢰도는 0.439로 추정된다. 3,000시간과 5,000시간 사이에서 신뢰도가 0.9이하로 떨어지며, 7,000시간과 9,000시간사이에서 신뢰도가 0.8이하로 떨어진다. 10,000시간과 15,000시간에서신뢰도가 급속도로 감소함을 볼 수 있다. 15,000시간과 20,000시간 사이에서 고장률이0.559에서 0.439로 50%이하로 낮아짐을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 신뢰성 개념을 도입하여 최근 3년간의 해외 도입품 냉각기를 사용하는 열상 감시 장비의 고장 데이터를 기반으로 적합한 모수적 수명분포를 찾고 이에 맞는 생존함수와 위험함수를 도출하여 냉각기 수명에 대

한 전반적인 분석을 시행하였다. 해외업체에서는 Weibull 분포를 기반으로 MTBF 20,000시간을 제시하였지만, 본 연구에서는 Log-logistic 분포가 더 적합하다고 분석이 되었으며 이는 샘플의 시료개수와도 연관이 있을 수 있다. Log-logistic 분포를 통해 생존확률을 분석해본 결과 냉각기의 MTBF는 33,806.8 시간으로 해외업체에서 제시한 시간보다도 더 길게 분석되었다. 또한 10,000시간 사용하였을 때 신뢰도는 0.714, 20,000시간 사용하였을 때 신뢰도는 0.439로 나타났다. 또한 10,000 ~ 15,000시간 사이에 신뢰도가 급속히 떨어지기 시작하며, 15,000 ~ 20,000시간 사이에서 신뢰도가 50% 미만 이 되는 것으로 추정된다. 이 의미는 냉각기는 10,000시간 이상 사용하면 고장이 발생하기 시작해서 150,00시간 이상 사용한 냉각기는 고장 날 확률이 높다는 것을 말한다. 또한 10,000시간에서 15,000시간 사이에 신뢰도가 0.714에서 0.559로 약 0.155 만큼 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 10,000 ~ 15,000시간이상 사용한 냉각기에 대해서는 계속 운용하기보다 정비를 받기위해 별도 관리를 하고, 15,000시간 운용이 넘은 냉각기는 정비 점검을 받는 것이 고장을 줄이는 운용 관점에서 더 효율적이라 판단된다. 또한 현재 양산단계 이후 그 시기가 짧은 점을 감안한다면 앞으로 야전운용데이터가 축적됨에 따라 소요군의 전산화 및 A/S접수 전산화가 시스템적으로 갖춰진다면 신뢰도 분석 결과에 대한 신뢰수준이 더욱 향상될 것으로 기대된다.

지금까지 양산에 배치된 열상 감시 장비의 냉각기의 고장데이터를 활용하여 MTBF 등 신뢰도 분석을 수행하였다. 냉각기 고장을 줄이기 위한 아이디어 제시도 하였지만, 냉각기에 대한 국산화 개발을 시작하게 되면 국산화 성공을 판단하는 기준으로도 기여점이 있다고 기대된다.

of life distribution for Engineering , Youngchi, 2006.

[5] SK, Seo, *Minitab Reliability Analysis*, Eretec, 2015.

홍 석 진(Seok-Jin Hong)

[정회원]



- 2015년 2월 : 연세대학교 정보산업 공학과 석사졸업
- 2010년 3월 ~ 20013년 3월 : LG 디스플레이
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 대구센터 제직 중

<관심분야>

유도탄, One-shot 시스템, 신뢰성공학, 데이터마이닝

References

- [1] DS, Bae, YL, Jeon, *Reliability Analysis*, Arce, 1999.
- [2] YG, Son, JH, Ryu, The sensitivity analysis of the number of sample and time of sampling of Reliability Estimation regarding qualitative data, *Journal of Korea Academia-industrial cooperation society*, vol. 12, no. 2, pp. 581- 582, 2011.
- [3] MS Do, SA Kwon, Selection of life distribution about appropriate packaging using concept of reliability, *Korea road society*, vol. 12, no. 1, pp. 61-69, 2010.
- [4] DH, Park, JH Lim, KH Nam, *Concept and application*