

## 국외구매 대함유도탄의 운용 플랫폼에 따른 검사 주기 분석

허장완<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>해군전력분석시험평가단

### Analysis of Inspection Interval according to the Operating Platform of Overseas Purchase Missile

Jang Wan Hur<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>R.O.K Naval Force Analysis Test & Evaluation Group

#### Abstract

The South Korean Navy has operated Harpoon guided missiles through step-by-step acquisition after adopting them for the first time in 1978. As Harpoon guided missiles have been operated for a long time, it is necessary to make an active follow-up logistics support to guarantee their performance. Inspection of guided missiles is a basic activity to check the status of missiles. This study was conducted to check if the existing inspection interval of Harpoon guided missiles that have been operated for a long time was appropriate. Regarding research methods, based on the Navy's field operation materials, this study analyzed and presented inspection interval by section according to the period of operation, utilizing the Martinez's theory and a non-parametric MCF technique.

#### 초 록

한국해군은 1978년에 하푼 유도탄을 최초 도입 후 단계적인 획득을 통하여 현재까지 운용하고 있다. 하푼 유도탄을 장기 운용함에 따라 성능보장을 위한 적극적인 후속 군수지원이 필요하며, 유도탄 검사는 유도탄 상태를 확인하기 위한 기본 활동이다. 본 연구는 장기간 운용 중인 하푼 유도탄의 기존 검사 주기가 적절한지 확인하기 위하여 수행되었으며, 연구 방법은 해군의 야전운용자료를 바탕으로 Martinez 이론과 비모수적 MCF 기법을 활용하여 운용 기간에 따른 구간별 검사주기를 분석하여 제시하였다.

**Key Words :** Harpoon Guided Missile(하푼유도탄), Mean Cumulative Function(평균누적함수), Inspection Interval(검사 주기)

## 1. 서 론

정밀유도무기는 해상 전투의 승패를 가르는 핵심 무기체계이며, 해외 주요 국가 해군들도 고정밀, 장사정의 유도무기를 확보하기 위해 노력하고 있다[1]. 한국해군도 1978년에 유도탄 공격 능력을 확보하기 위해 대함유도탄인 하푼을 미국으로부터 최초 획득한 후 단계적으로 확보하여 운용하고 있다. 한국해군은 매년 하푼 유도탄 실사격 훈련과 약 40년 동안의 운용 경험

과 정비 실적을 보유하고 있다. 이를 과학적으로 분석하여 활용 시 향후 국내 유도탄 개발 및 수명관리에 기여가 가능하나, 수명관리 활동에 대한 상대적인 관심 부족과 성과 검증에 장시간이 소요되어 발전이 더딘 편이다. 이런 사유로 하푼 유도탄도 최초 도입 후 40년이 흐른 지금까지도 미국 제작사의 권고안을 기준으로 하푼 유도탄 검사 주기를 운용하고 있다[2]. 물론 미국 제작사에서 다양한 신뢰성 시험과 수명자료들을 분석하여 제시한 검사 주기 권고안이지만, 한국해군의 하푼 유도탄 운용 기간과 기술 능력을 고려할 때 제작사의 권고만을 따른다는 것은 재고해 볼 필요가 있다. 특히, 한국해군의 경우 미국, 호주 등 해외 하푼 유도탄 운용국가들과 달리 남·북한 간의 긴장 관계로 인하

Received: Jul. 11, 2020 Revised: Sep. 21, 2020 Accepted: Sep. 23, 2020

† Corresponding Author

Tel: +82-010-5098-8636, E-mail: hurjangwan@naver.com

© The Society for Aerospace System Engineering

여 유도탄이 설치된 함정의 피로도 높고, 유도탄의 수명에 영향을 미치는 전원인가가 잦아 운용환경이 가혹한 상황이다[3]. 이러한 측면에서 한국해군은 미국 제작사에서 권고한 검사주기를 참고하되, 한반도의 해양 및 작전환경에서 축적된 수명자료를 분석하여 하푼 유도탄의 검사주기를 조정할 필요가 있다. 이를 위하여 본 연구는 한국해군에서 보유한 하푼 유도탄 수명자료와 선행연구에서 제시된 이론들을 활용하여 하푼 유도탄의 검사주기를 조정하기 위하여 수행되었다.

본 논문의 구성은 1장 서론에서 연구 배경 및 목적을 제시하고, 2장에서는 하푼 유도탄 현황 및 검사주기를 소개하였다. 3장에서는 선행연구 분석 및 연구 프로세스를 설정하고, 4장에서는 하푼 유도탄의 검사주기를 분석하여 제시하였으며, 5장 결론에서는 연구 성과 및 향후 연구 방향에 관하여 기술하였다.

## 2. 하푼 유도탄 및 검사 주기

### 2.1 하푼 유도탄 현황

유도탄이란 탄두를 탑재하여 표적에 타격을 가할 수 있고, 비행 중에는 원격장치 또는 내부의 조종 장치를 이용하여 탄도나 비행궤적을 변경할 수 있는 무인 비행 추진체를 말한다. 유도탄 중에서도 대함유도탄은 함정 등 운용 플랫폼에 탑재하여 적 함정을 공격하는 무기이다. 대함유도탄의 형상은 Fig. 1과 같이 유도조종부, 탄두, 추진기관, 제어부, 부스터로 구성된다[4].

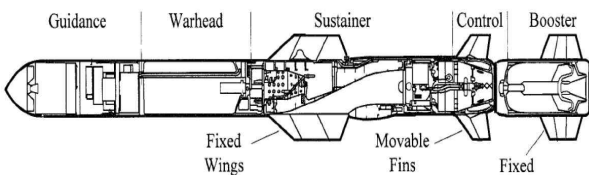


Fig. 1 Diagram of Missile

하푼 유도탄의 성능은 인터넷 등을 비롯한 일반에 공개되어 있으며, 이를 정리하면 Table 1과 같다[5]. 하푼 유도탄은 미국 보잉사에서 1977년에 개발되었으며, 해상에서 적 함정에 대한 공격 기능을 가진 대함 유도탄이다. 속도는 864 km/h로 아음속이며, 사거리는 개발 모드에 따라 93 ~ 315 km이다. 탄두 중량은

231 kg이며, 유도방식은 능동유도 방식을 사용한다. 하푼 유도탄은 함정, 발사차량, 항공기, 잠수함을 운용 플랫폼으로 사용할 수 있어서 전술적 운용성이 높은 무기이다.

Table 1 Performance of Harpoon Missiles

Type	Anti-ship missile
Place of origin	United States
Unit cost	U.S \$1,200,000
In service	1977
Speed, Range	864 km/h, 93 ~ 315 km
Warhead	231 kg
Guidance	Active radar terminal homing
Mass	549 ~ 693 kg
Length, Diameter	4,581.4 mm, 342.9 mm
Launch platform	Multi-platform

본 연구에서는 수명자료가 상대적으로 잘 관리되어 기술적 분석이 가능한 함대함 하푼과 지대함 하푼을 연구대상으로 선정하여 분석하였다.



### 2.2 하푼 유도탄 검사 주기

하푼 유도탄은 동일한 형상 및 성능을 보유한 대함 유도탄을 전술적 목적에 따라 Fig. 2와 같이 함정과 발사차량에 탑재하여 함대함 목적으로 운용한다. 함대함 유도탄과 지대함 유도탄은 동일한 유도탄을 함정과 발사차량에 탑재하여 운용할 뿐 모든 기능이 같다. 하지만 함정과 발사차량이라는 운용 플랫폼의 차이에 따라 두 유도탄은 Table 2와 같이 서로 다른 운용환경에 노출되며, 이는 결국 각 유도탄의 수명에 영향을 미친다.



Fig. 2 Ship-to-Ship(left) and Ground-to-Ship(right) Missile launches

**Table 2** Operating Environment of Harpoon Missiles

	Ship to Ship Missile	Ground to Ship Missile
Operating picture		
Exposure temperature	-2°C ~ +46°C	+4°C ~ +27°C
Power on time	700 h per year	10 h per year
Humidity	Relative humidity less than 40%	

함대함과 지대함 하푼은 운용 및 저장 기간에 목표 신뢰도를 충족하는 성능을 보장하기 위하여 검사를 수행한다. 유도탄 검사의 종류에는 정기검사, 임시검사가 있으며, 검사 결과 고장이 식별되면 정비를 수행한다. 하푼 유도탄에 대한 정기검사 주기는 제작사인 미 해군의 권고에 따라 목표 신뢰도 0.8을 달성하기 위하여 함대함 및 지대함 하푼이 4년으로 같게 설정되어 있다. 임시검사는 운용 중에 발생한 고장탄이나 고장 예상탄에 대하여 비주기적으로 필요시에 수행한다.

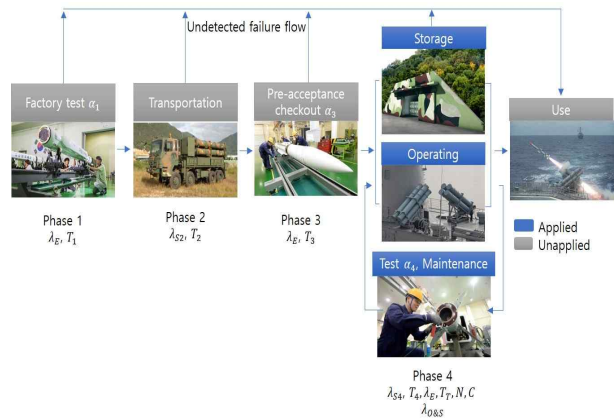
### 3. 선행연구 분석 및 연구 프로세스 설정

#### 3.1 선행연구 분석 및 이론적 고찰

김대익(2006)은 대함유도탄의 수명분포를 지수분포로 가설 검정 후 Martinez의 검사 주기 모형을 응용하여 대함유도탄의 검사주기를 결정하는 방법론을 연구하였다[6]. 나일용(2010)은 비모수 통계 기반의 평균누적함수(mean cumulative function, 이하 MCF)을 활용한 신뢰도 분석기법 및 활용방안을 제시하였다[7]. 임성준(2016)은 목표 신뢰도 보장 기간 등을 활용한 수중무기 검사 주기 선정 방안을 연구하였다[8]. 김하원(2016)은 Martinez의 검사 주기 결정 모형을 기존 지수분포에서 와이블 분포와 감마분포로 확장하여 주기적 검사가 실시되는 일회성 시스템의 신뢰도를 분석하였다[9].

검사는 인원과 장비를 활용하여 시스템의 상태를 확인하여 고장을 발견하는 행위이며, 검사 주기는 시스템의 고장을 조기에 발견하기 위해 활동하는 시간의

간격을 의미한다. 유도탄의 검사 주기를 선정할 때는 다양한 요소를 고려해야 하나, 대표적으로 최소수명을 가진 시한성 품목의 만기 도래 시기를 고려한 방법, 저장 신뢰도를 활용한 시스템 성능 저하 예측을 통한 방법, 군 운용 경험을 반영한 검사 주기 선정 방법이다. 국내의 유도탄 개발사업에서도 신뢰도 예측 모형을 활용한 검사 주기 선정 방법이 주로 사용되며, 이는 Martinez 모형으로 분석을 수행할 수 있다. Martinez 모형에 따르면 유도탄은 Fig. 3과 같이 1단계 공장 검사, 2단계 운송/취급, 3단계 도입 전 검사, 4단계 저장, 운용 과정을 거치며, 주기검사 간 고장 발견 시 정비를 통하여 정상 상태로 복구한다.



**Fig. 3** Martinez Model

Martinez 모형에서 검사 주기를 예측하는 과정은 Eq. 1에서 Eq. 5와 같다[10].

$$F_3 = (1 - \alpha_1)\lambda_E T_1 + (1 - \alpha_3)(\lambda_{S2} T_2 + \lambda_E T_3) \tag{1}$$

$$R = e^{-F_3} \tag{2}$$

$$F_P = \lambda_{S1} T_4 + \lambda_E T_T + \lambda_C C \tag{3}$$

$$R_{N(Min)} = e^{-[(N-1)(1-\alpha_4)F_P + F_3]} \times e^{-\lambda_{S4} T_4} \tag{4}$$

$$R_{N(Max)} = e^{-[N(1-\alpha_4)F_P + F_3]} \tag{5}$$

$\lambda_E$  : 운용 고장율

$\lambda_{S_i}$  : i번째 저장 고장율

$\lambda_C$  : 전원 on-off 주기에 따른 고장율

$\lambda_{OS}$  : 운용과 저장에 따른 고장율

$C$  : 한 번의 주기검사 시 전원 on-off 회수

$T_i$  :  $i$ 번째 운용 시간

$T_T$  : 주기검사의 운용 시간

$\alpha_i$  :  $i$ 번째 검사 유효성(고장을 발견할 확률)

$F_3$  : 3단계까지의 기대 고장 수

$F_P$  : 한 번의 주기검사 시 기대 고장 수

다만, Martinez 모형이 이론적으로 널리 사용되고 체계적인 계산 과정을 거치는 것은 사실이나, 4단계인 운용 및 저장 외의 단계에서는 데이터가 관리되고 있지 않아서 입력 파라미터의 추정이 제한된다. 그러므로 Martinez 모형 활용 시 각 단계의 검사장비는 내재한 고장을 모두 탐지할 수 있다고 가정을 단순화( $\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_4 = 1$ )하고, 검사로 인해 발생하는 유도탄의 고장과 전원 on-off 고장율은 무시( $F_P = \lambda_{SI} T_4$ )하도록 가정한다. 결국, Martinez 모형의 4단계만 적용하여 사용하는 것이며, 이를 반영한 검사 주기 선정을 위한 신뢰도는 Eq. 6 및 Eq. 7과 같다.

$$R_{N(Mn)} = e^{-\lambda_{os} T_4} \quad (6)$$

$$R_{N(Mxx)} = e^{-F_3} = e^0 = 1 \quad (7)$$

검사 주기 연구는 신뢰도를 추정하는 것이 핵심이며, 연구개발 단계에서는 전자 부품 유사 제품 비교법, 전자 부품 유사 회로 비교법, 전자 부품 능동소자군 방법, 전자 부품 수량 분석법, 전자 부품 부하 분석법 등을 활용하여 신뢰도를 추정한다. 국방 영역에서 무기체계 개발 시 신뢰도 예측은 보통 전자 부품 부하 분석법을 사용하고 있으며, 이는 시스템의 설계가 완료되었을 때 적용 가능한 방법으로서 계산은 Eq. 8의 방법을 따른다[11].

$$\lambda_P = \lambda_b \times \Pi_T \times \Pi_A \times \Pi_R \times \Pi_S \times \Pi_Q \times \Pi_E \quad (8)$$

$\lambda_P$  : 부품의 기본 고장율(failure/10<sup>6</sup>)

$\lambda_b$  : 부품의 전기, 온도 스트레스 하 기본 고장율(failure/10<sup>6</sup>)

$\Pi_{T \sim E}$  : 부품의 고장율에 미치는 인자(품질변환계수, 운용 환경 조건 변환계수, 운용 온도 조건 변환계수 등

반면, 시스템의 운용/저장단계에서는 신뢰도 예측 방

법을 활용한 방법보다는 야전운용자료를 분석하여 도출한 신뢰도 값이 현실성이 높다. 야전운용자료를 분석하여 신뢰도를 추정하기 위해 사용하는 대표적인 방법이 비모수적 MCF를 활용하는 것이다. 비모수적 MCF 추정은 표본으로 관측된 누적 함수의 모집단이 존재한다는 것과 표본은 누적 함수의 모집단으로부터 랜덤하게 추출된다는 최소한의 가정만이 필요하므로 활용성이 상당히 높다. 실제로 특정 품목의 신뢰도 추이 분석, 특정 시점에서의 고장을 혹은 고장간 평균 시간 추정 등에 자주 사용되고 있다. 비모수적 MCF의 점 추정치는 다양한 관측 길이를 가지는 경우에 적합한 Nelson의 알고리즘을 이용하여 ① ~ ⑤에 따라 계산한다[12].

- ① 모든  $n$ 개의 시스템의 고장 발생 시점인  $t_{ij}$ 를 시간 순서대로 정렬한다.
- ②  $m$ 을 구별 가능한 시간의 총 개수로 정의하고, 순서대로 배열된 시간들을  $t_1 < \dots < t_m$ 로 표현한다.
- ③  $t_k$ 에서 시스템  $i$ 의 고장 횟수  $d_i(t_k)$ 를 계산한다.
- ④ 시스템  $i$ 가 시간  $t_k$ 에서 여전히 관측되고 있으면  $\delta_i(t_k) = 1$ 라 놓고, 그렇지 않으면  $\delta_i(t_k) = 0$ 이다.
- ⑤  $j = 1, \dots, m$ 에 대해, MCF의 비모수적 추정치 계산식은 Eq. 9와 같다.

여기서  $d_i(t_k)$ 는 시간  $t_k$ 에서 총 고장 발생 수이고,  $\delta_i(t_k)$ 는  $t_k$ 에서 고장 발생 가능한 시스템의 수이다.  $\bar{d}(t_k)$ 는  $t_k$ 에서 시스템당 평균 고장 발생 수이며, MCF의 추정량은 각 구간에서 평균 고장율을 누적하여 얻어진다.

$$\hat{\mu}(t_j) = \sum_{k=1}^j \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i(t_k) d_i(t_k)}{\sum_{i=1}^n \delta_i(t_k)} \right] = \sum_{k=1}^j \frac{d_i(t_k)}{\delta_i(t_k)} = \sum_{k=1}^j \bar{d}(t_k) \quad (9)$$

유도탄과 같은 무기체계나 발전소 시설 등은 30년 이상 장기간 운용하기 때문에 시간의 경과에 따라 시스템이 노후 된다. 그러므로 10년 이상의 장시간 수명 자료를 분석하면 MCF가 증가하는 경향을 보이는 것이 일반적이다. 이런 경우에는 MCF의 점들에 대하여 통계적으로 유의한 선형회귀선을 도출한 후 단위 시간

동안의 고장율인 선형회귀선의 기울기를 활용한다. 즉, 선형회귀선의 기울기는 운용 시간을 확률변수로 하는 지수분포의 모수 추정값으로 사용하여 특정 구간에서의 신뢰도를 예측할 수 있다[13].

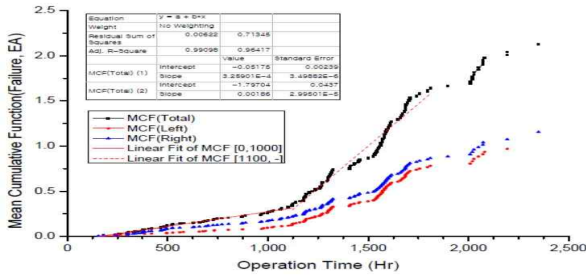


Fig. 4 Case of the Utilization of the Fitted Regression Line of Non-Parametric MCF

### 3.2 검사주기 분석 프로세스 설정

선행연구 분석 및 이론적 고찰 결과 하푼 유도탄의 검사주기를 분석하기 위한 프로세스는 Fig. 5의 3단계로 설정하였다. 1단계는 하푼 유도탄의 수명자료를 수집/분석하는 단계이며, 표본이 대표성을 갖기 위해 모집단에서 임의 추출 방법으로 선정된 표본에 대하여 수명자료를 수집한다. 2단계는 하푼 유도탄의 수명자료를 활용하여 Nelson의 알고리즘에 따라 비모수 분석으로 MCF를 계산하고, MCF 기울기의 증감이 관찰된다면 각 구간에서 통계적으로 유의미한 선형회귀선을 구하여 고장율을 추정한다. 3단계는 하푼 유도탄의 고장율을 단순화한 Martinez 모형에 입력하여 신뢰도 함수를 구하고, 이를 목표 신뢰도(0.8 이상)와 비교하며 검사주기를 분석한다.

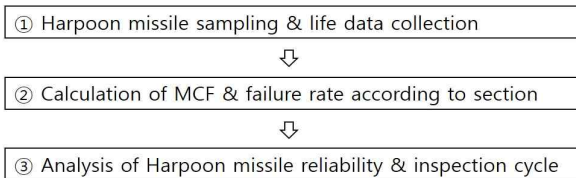


Fig. 5 Procedures of Analysis of the Inspection Interval of Harpoon Missiles

## 4. 하푼 유도탄 검사 주기 분석

### 4.1 하푼 유도탄 수명자료 수집/분석

함대함 및 지대함 하푼 유도탄의 검사주기를 분석하기 위하여 해군이 보유한 유도탄 중 운용 기간이 30년 이상인 유도탄을 각 40발씩 임의 추출하였다. 임의 추출한 유도탄은 로그북을 열람하여 신뢰도 함수의 확률변수인 고장간 시간 간격을 중점적으로 수집하였다. 고장간 시간 간격은 고장을 정의하는 기준에 따라 그 값에 차이가 발생하므로 고장을 어떻게 정의하는지가 중요하다. 본 연구에서 하푼 유도탄의 고장은 부품의 고장으로 교체 또는 정비행위가 발생한 사건을 고장으로 정의하였다. 하푼 유도탄의 운용 일수 대비 고장사건을 도식화하면 Fig. 6과 같고, 세부 고장 시점은 부록에 정리하여 첨부하였다. Figure 6의 함대함 및 지대함 유도탄의 고장 사건을 관찰해보면 시각적으로도 운용 초기보다 운용 후기에 고장 사건이 집중됨을 확인할 수 있다.

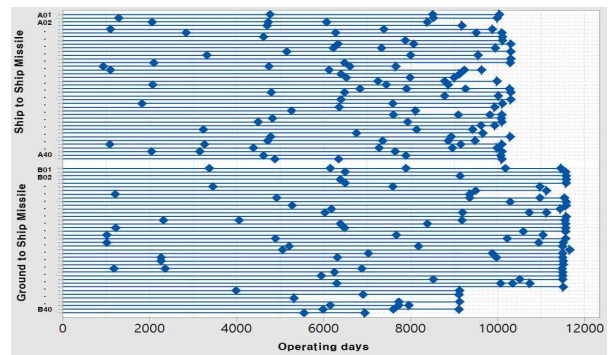


Fig. 6 Incident of Failure in Harpoon

### 4.2 비모수 분석(MCF) 및 구간별 고장율 도출

함대함 및 지대함 하푼에서 수집한 수명자료인 고장간 시간 간격을 Eq. 9에 따라 계산하였다. 실제 MCF 계산은 상용 통계 도구인 Minitab18으로 수행하였으며, 함대함 및 지대함 하푼의 MCF 계산 결과 Fig. 7과 같이 MCF의 기울기가 증가하였다. 선형회귀선을 활용한 각 구간별 고장율을 도출하기 위해서는 MCF 기울기의 변화 지점인 변곡점을 선정해야 한다. 이를 위해서 비모수 MCF 분석에서 통용되는 그래프에 대한 시각 확인과 병행하여, MCF의 각 점과 구간별 선형회귀선의 상관관계를 의미하는 R-제곱이 90% 이상이 되는 운용 기간(일)을 계산하여 선정하였다.



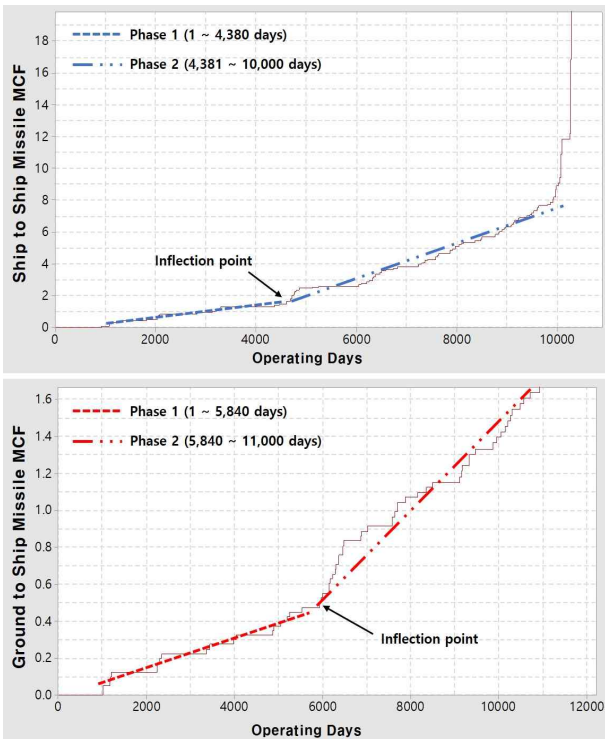


Fig. 7 Ship-to-Ship, Ground-to-Ship Missiles MCF

함대함 하푼은 MCF 그래프에 대한 시각 확인과 R-제곱 계산 결과 4,380일을 변곡점으로 1구간과 2구간으로 구분할 수 있다. 함대함 하푼의 1구간 선형회귀선 추정 결과 R-제곱이 93.8%이고, 선형회귀선의 기울기는 0.000112로 도출되었다. 함대함 하푼의 2구간 역시 선형회귀선 추정 결과 R-제곱이 96.8%이고, 선형회귀선의 기울기는 0.000323으로 도출되었다. 함대함 하푼은 운용 기간 4,380일 경과 시 MCF 회귀선의 기울기가 0.000112에서 0.000323으로 2.88배 증가함을 알 수 있다.

지대함 하푼도 함대함 하푼과 동일한 방법을 적용하여 5,840일을 변곡점으로 1구간과 2구간으로 구분하였다. 지대함 하푼의 1구간 선형회귀선 추정 결과 R-제곱이 97.2%이고, 선형회귀선의 기울기는 0.000085로 도출되었다. 지대함 하푼의 2구간 선형회귀선 추정 결과 R-제곱이 97.8%, 선형회귀선의 기울기는 0.000202로 도출되었다. 지대함 유도탄은 운용 기간 5,840일 경과 시 MCF 회귀선의 기울기가 0.000085에서 0.000202로 2.37배 증가했음을 알 수 있다.

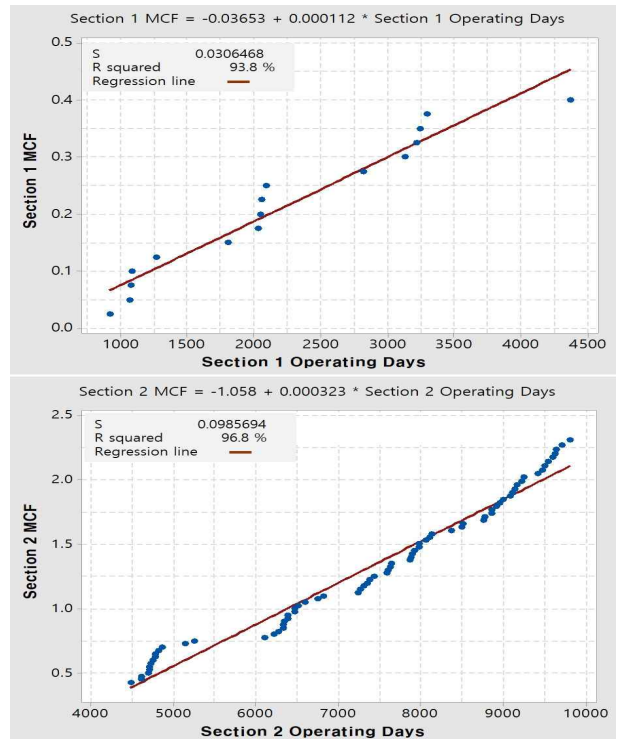


Fig. 8 Estimation of the Fitted Regression Lines of Ship-to-Ship Missiles Sections 1 & 2

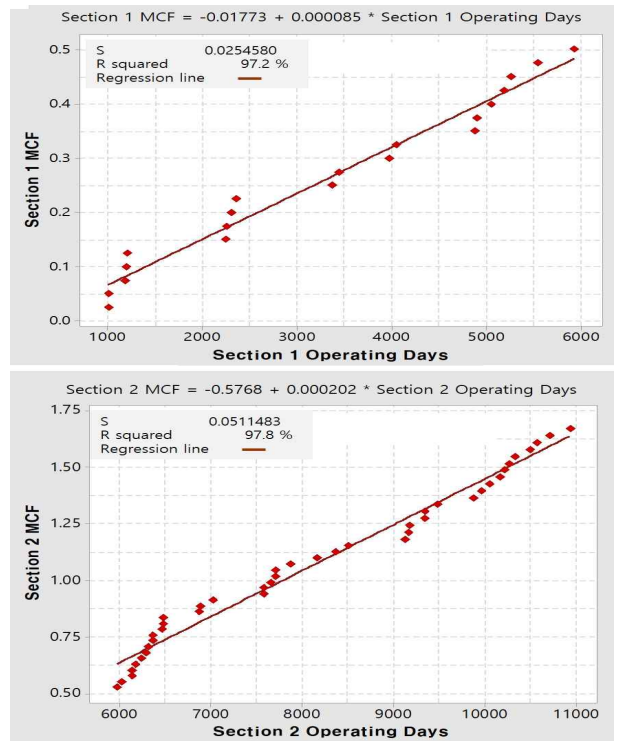


Fig. 9 Estimation of the Fitted Regression Lines of Ground-to-Ship Missiles Sections 1 & 2

### 4.3 하푼 유도탄의 신뢰도 및 검사 주기 분석

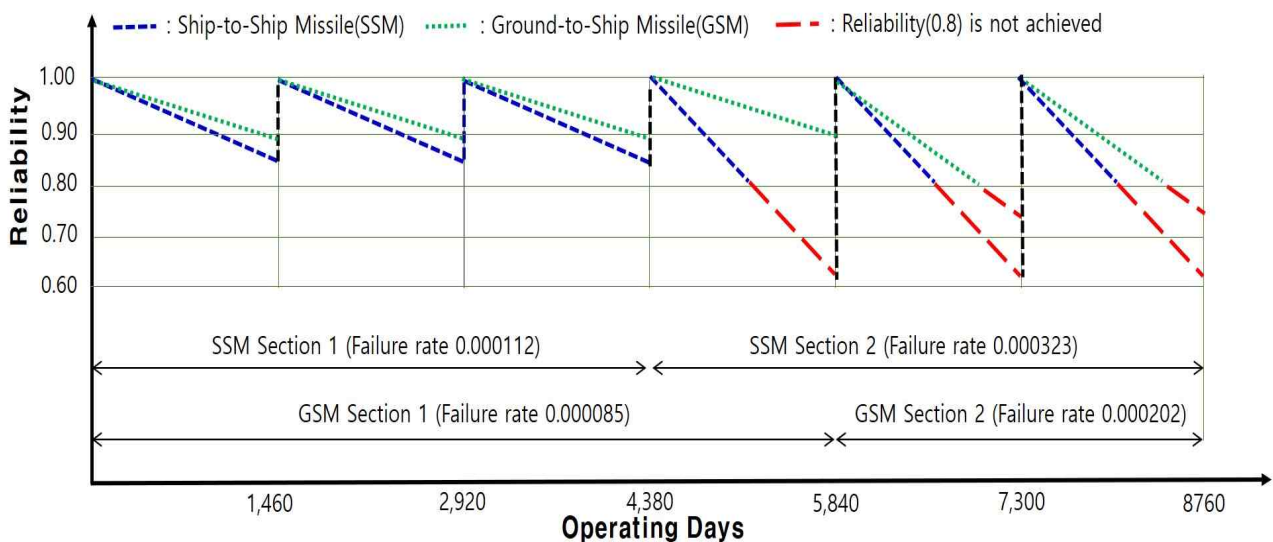
함대함 및 지대함 하푼의 구간별 MCF 선형회귀선 추정을 통하여 도출한 기울기( $\lambda_{os}$  = 운용 및 저장 고장율)를 Eq. 6에 추정 모수로 입력하여 신뢰도를 계산하면 Table 3과 같다. 함대함 하푼은 1구간인 4,380일 이전에는 목표 신뢰도 0.8을 만족한 시점이 2,085일이지만, 2구간에서는 목표 신뢰도 0.8을 만족한 시점이 690일로 대폭 감소 되었다. 지대함 하푼 역시 1구간인 5,840일 이전에는 목표 신뢰도 0.8을 만족한 시점이 2,535일이지만, 2구간에서는 1,127일로 감소 되었다.

**Table 3** Result of reliability analysis

Ship to Ship Missile				Ground to Ship Missile			
Section 1 (< 4,380)		Section 2 (4,380 <)		Section 2 (< 5,840)		Section 2 (5,840 <)	
$\lambda_{os} = 0.000112$		$\lambda_{os} = 0.000323$		$\lambda_{os} = 0.000085$		$\lambda_{os} = 0.000202$	
x days	R(t)	x days	R(t)	x days	R(t)	x days	R(t)
100	0.988	100	0.968	100	0.991	100	0.980
600	0.935	690	0.800	600	0.948	600	0.887
700	0.924	700	0.797	700	0.940	700	0.870
1,000	0.894	1,000	0.723	1,000	0.915	1,000	0.820
1,100	0.884	1,100	0.700	1,100	0.907	1,127	0.800
1,200	0.874	1,200	0.678	1,200	0.899	1,200	0.788
1,460	0.849	1,460	0.624	1,460	0.880	1,460	0.749
2,000	0.807	2,000	0.524	2,000	0.838	2,000	0.672
2,085	0.800	2,085	0.510	2,535	0.800	2,535	0.606

하푼 유도탄의 신뢰도 분석 결과를 검사 주기 측면에서 분석하기 위해 도식화하면, Fig. 10과 같이 현재의 검사주기를 통한 목표 신뢰도 0.8의 달성 여부를 확인할 수 있다. 함대함 하푼은 1구간(1 ~ 4,380일)에서는 운용 기간 1,460일 경과 시 신뢰도가 0.849이므로 현재의 검사 주기가 적절하다고 할 수 있다. 하지만 2구간(4,380일 이후)에서는 유도탄의 노화로 인하여 690일 경과 시 신뢰도가 0.800이며, 기존 검사 주기인 1,460일(4년) 경과 시 신뢰도가 0.624로 저하된다. 지대함 하푼도 1구간(1 ~ 5,840일)에서는 1,460일(4년) 경과 시 신뢰도가 0.880이므로 현재의 검사 주기가 적절한 것으로 보인다. 하지만 2구간(5,840일 이후)에서는 지대함 하푼도 유도탄의 노화로 인하여 1,127일(약 3년) 경과 시 신뢰도가 0.800이 되며, 기존 검사 주기인 1,460일(4년) 경과 시 신뢰도가 0.749로 저하된다.

연구 결과를 정리하면 함대함 및 지대함 하푼 모두 장기간 운용 시 노화가 진행된다. 각 유도탄 운용 1구간에서는 기존 검사 주기 1,460일(4년)이 목표 신뢰도인 0.8을 충족하므로 현재의 검사 주기를 유지하는 것이 적절하다. 하지만 각 유도탄 운용의 2구간에서는 유도탄의 노화로 인하여 함대함 및 지대함 하푼 모두 기존 검사 주기로는 목표 신뢰도 0.8을 달성할 수 없으므로 검사 주기를 조정해야 한다. 다만 유도탄의 검사 주기 조정은 유도탄의 성능보장에 직접적인 영향을 미치는 사항으로서, 해군 주관부서에서 유도탄 검사 물량 및 정비 인력 등을 종합 검토하여 조정해야 할 것이다.



**Fig. 10** Result of Analysis of the Inspection Interval of Harpoon Missiles

## 5. 결 론

본 연구는 한국해군의 주요 무기체계 중 하나인 하푼 유도탄의 운용 플랫폼에 따른 검사 주기를 분석하기 위하여 수행되었다. 해군의 야전운용자료를 바탕으로 Martinez 이론과 비모수적 MCF 기법을 활용하여 운용 기간에 따른 구간별 검사 주기를 분석하였다. 함대함 하푼 유도탄은 운용 기간 4,380일 경과 시 신뢰도 저하로 검사 주기 단축이 필요하다. 지대함 하푼 유도탄도 5,840일 경과 시 신뢰도가 저하되므로 검사 주기 조정을 위한 해군 주관부서의 검토가 필요하다.

향후 연구로는 운용 기간 경과에 따른 신뢰도 저하가 함대함 하푼이 지대함 하푼보다 큰 것으로 확인되었으므로 원인분석 및 관리방안을 연구할 예정이다.

## 6. 후 기

본 연구는 해군사관학교 해양연구소의 학술연구 지원으로 수행되었으며, 2020 항공우주시스템공학회 춘계학술대회 발표내용을 정리하여 작성하였습니다. 본 연구는 소속기관의 공식의견이 아닌 연구자 개인의 견해를 밝힙니다.

## References

- [1] Korea Defense Industry Association, "A Domestic Guided Weapon that Goes Beyond the Harpoon Missile, *Defense & Technology*, Vol. 329, pp. 16-21, 2006
- [2] R.O.K Navy Headquarter, *Guideline for Naval Systems Maintenance*, pp. 1~3, 2013
- [3] H. W. Kim, W. Y. Yun, "Reliability Analysis for One-Shot Systems with Periodic Inspection", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 42, No. 1, pp. 22, 2016
- [4] S. G. Kim et. al, "A Study on the Reliability Analysis of Anti-ship missile using Field Data", *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 6, No. 6, pp. 883, 2011
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Harpoon\\_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Harpoon_(missile))
- [6] D. I. Kim, G. W. Jeon, "A Study on Determining the Periodic Inspection for Anti-Ship Missile by Using Reliability Analysis Model", *Military Operations Research Society of Korea*, Vol. 32, No. 2, pp. 97, 2006.
- [7] I. Y. Na, "A Research of the Reliability Analysis and Application Method Based on Non-parametric Using Field Data", *Journal of Korea Institute of Science & Technology* Vol.13. No.4, pp. 594-600, 2016
- [8] S. J. Lim et. al, "A Study on How to Select the Optimal Inspection Cycle for a One-shot System Using Storage Reliability Analysis", *Korean Institute of Industrial Engineers, Fall Conference 2016*, pp. 2313-2323, 2016
- [9] H. W. Kim, W. Y. Yun, "Reliability Analysis for One-Shot Systems with Periodic Inspection", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 42, No. 1, pp. 20-29, 2016
- [10] D. K. Kim, W. S. Kang, S. J. Kang, "A Study on Storage Reliability Determination Model for One-shot System", *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, Vol. 38, No.1, pp. 3, 2013.
- [11] MIL-HDBK-217F(NOTICE 2), *Military Handbook : Reliability Prediction of Electronic Equipment*, pp. 9-1 - 20-1, 1995
- [12] S. K. Seo, *Minitab Reliability Analysis*, eretech, pp. 510~512, 2015
- [13] I. Y. Na, "A Research of the Reliability Analysis and Application Method Based on Non-parametric Using Field Data", *Journal of Korea Institute of Science & Technology* Vol.13. No.4, pp. 596, 2016



Appendix : Harpoon Missiles Life Data

(Unit : Day, \* Censored)

Missile No.	Check to Failure	Missile No.	Check to Failure
Ship to Ship Missile	01 4,749, 8,487, 10,027*	Ground to Ship Missile	01 3,361, 6,140, 7,876, 10,163, 11,444*
	02 3,296, 7,980, 9,538*		02 6,481, 11,554*
	03 8,766, 10,002*		03 9,127, 11,556*
	04 4,772, 8,913, 10,271*		04 6,369, 11,556*
	05 1,063, 3,243, 9,137, 10,077*		05 6,477, 11,556*
	06 4,370, 7,257, 8,949, 9,971*		06 3,442, 7,577, 10,962*
	07 2,028, 3,133, 7,625, 10,081*		07 9,477, 11,105*
	08 4,605, 7,873, 10,057*		08 1,185, 9,340, 11,527*
	09 4,864, 6,330, 10,079*		09 4,898, 9,345, 10,956*
	10 1,269, 8,513, 9,977*		10 10,270, 11,556*
	11 2,044, 4,711, 8,367, 9,708*		11 5,255, 11,556*
	12 4,686, 9,162*		12 6,169, 11,427*
	13 1,077, 7,369, 9,868*		13 6,018, 9,178, 10,707, 11,104*
	14 2,821, 6,265, 9,498, 10,082*		14 11,556*
	15 4,606, 10,094*		15 2,304, 4,044, 9,159, 11,539*
	16 7,867, 10,097*		16 6,369, 8,364, 11,549*
	17 6,320, 8,053, 10,284*		17 1,205, 6,466, 11,553*
	18 6,208, 7,311, 9,936*		18 10,571, 11,552*
	19 5,132, 10,283*		19 1,002, 7,652, 11,033*
	20 10,288*		20 4,878, 10,212, 11,549*
	21 2,085, 6,465, 10,280*		21 1,001, 10,931, 11,498*
	22 918, 4,725, 6,588, 7,638*		22 5,193, 8,160, 11,486*
	23 1,084, 6,104, 9,226, 9,621*		23 5,045, 11,644*
	24 6,386, 9,109*		24 7,019, 9,868, 11,478*
	25 6,512, 7,975, 8,990*		25 2,243, 6,307, 9,960, 11,477*
	26 7,234, 8,763, 9,973*		26 2,248, 11,487*
	27 2,056, 7,429, 8,851*		27 11,487*
	28 6,816, 7,886, 9,253, 10,264*		28 1,170, 2,346, 6,867, 11,467*
	29 4,780, 6,470, 10,284*		29 6,239, 11,486*
	30 6,383, 10,285*		30 5,931, 11,486*
	31 1,806, 7,579, 10,091*		31 8,505, 10,493, 11,484*
	32 6,343, 9,915*		32 6,292, 10,054, 10,325, 10,723*
	33 5,244, 8,098*		33 11,487*
	34 7,594, 9,083, 9,808, 10,084*		34 3,971, 9,114*
	35 4,812, 10,065*		35 6,884, 9,101*
	36 4,475, 7,919, 10,085*		36 5,302
	37 9,598, 9,919*		37 7,711, 9,104*
	38 3,215, 8,127, 9,414*		38 6,141, 7,709, 7,940*
	39 6,742, 9,638*		39 5,976, 7,585, 9,103*
	40 4,699, 7,347, 8,855, 9,467*		40 5,540, 6,926*