

상태기반정비(CBM) 기술을 활용한 유도탄 시험세트

김무철*, 박용태*, 조현철*, 송일호*

*(주)한화 종합연구소

e-mail:mckim0424@hanwha.com

The Guided Missile Test Equipment using Condition Based Maintenance Technology

Moo-Cheol Kim*, Yong-Tae Park*, Hyun-cheol Jo*, Il-Ho Song*

*Defence R&D Center Hanwha Corporation

요 약

유도탄은 양산 배치 후 탄약고에 저장하며 일회성 사용(One-shot)을 목적으로 설계하여 배치 후 장기간 저장시간을 갖는 시스템 특성을 가지고 있다. 유도탄은 발사 전까지 고장여부 확인이 제한되며 고장이 발생할 경우 즉시 조치가 불가능하다. 즉, 유도탄 발사 전 사전에 고장을 예측하여 조치가 필요하다. 따라서 저장 중 주기적인 예방점검을 통해 유도탄 상태를 확인할 필요가 있다. 유도탄 고장 DB를 활용하여 고장원인 판단이 가능하여 빠른 A/S 및 수리가 가능하다. 따라서 현재 운용 중인 유도탄 시험세트 보다 향상된 시험(검사)세트를 통해서 개발/양산 제품에 대한 품질 강화를 모색할 수 있다. 현재 군에서 진행하고 있는 국방개혁에 따라 군방 군수인력을 감축하고 있으며 이에 대한 유도탄 관리 업무에 대한 인공지능(AI) 기술을 활용한 대안을 마련할 필요성이 제기되고 있으며, 기존 유도탄 시험세트 보다 향상된 기능을 부여함으로써 이에 대한 대안활동으로 생각할 수 있다. 기존 유도탄체계 시험세트는 검사결과 만을 사용자에게 제시하였으나 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 기술을 접목한 능력을 통하여 시험세트를 사용할수록 고장예측의 정확도가 높아져 전투준비태세 및 가용도 향상에 기여할 수 있다.

1. 서론

유도탄은 양산 배치 후 탄약고에 저장하며 일회성 사용(One-shot)을 목적으로 설계하여 배치 후 장기간 저장시간을 갖는 시스템 특성을 가지고 있다. 유도탄과 같이 장기간 동안 저장 상태를 유지하다가 단 한 번의 운용을 통해 임무를 완수하는 일회성(One-shot) 시스템은 수명주기 기간의 대부분이 저장 상태에 있기 때문에 임무를 수행하기 전까지 저장신뢰도를 목표치 이상으로 유지하는 것이 중요하다. 따라서 정해진 목표치를 만족하기 위해 개발 단계에서 부품 개선 또는 이중화 설계 등을 통해 저장신뢰도 자체를 향상시키려는 노력과 제조 시 품질보증 업무, 운용 유지 시에는 저장 중 주기적인 예방점검을 통한 신뢰도 보전 등의 업무를 수행한다.[1]

유도탄은 One-shot Device로 발사 전까지 고장여부 확인이 제한되며 고장이 발생할 경우 즉시 조치가 불가능하다. 즉, 유도탄 발사 전 사전에 고장을 예측하여 조치가 필요하다. 따라서 저장 중 주기적인 예방점검을 통해 유도탄 상태를 확인할 필요가 있다. 이러한 점검시스템을 통해서 체계적인 유도

탄 고장 DB(Database) 구축이 가능하며 뿐만 아니라 설계에 환류(Feedback) 또한 가능하다. 즉, 유도탄 고장 DB를 활용하여 고장원인 판단이 가능하여 빠른 A/S 및 수리가 가능하다. 따라서 현재 운용 중인 유도탄 시험세트 보다 향상된 시험(검사)세트를 통해서 개발/양산 제품에 대한 품질 강화를 모색할 수 있다.

현재 군에서 진행하고 있는 국방개혁에 따라 군방 군수인력을 감축하고 있으며 이에 대한 유도탄 관리 업무에 대한 인공지능(AI) 기술을 활용한 대안을 마련할 필요성이 제기되고 있으며, 기존 유도탄 시험세트 보다 향상된 기능을 부여함으로써 이에 대한 대안활동으로 모색할 수 있다. 기존 유도탄체계 시험세트는 검사결과 만을 사용자에게 제시하였으나 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 기술을 접목한 능력을 통하여 시험세트를 사용할수록 고장예측의 정확도가 높아져 전투준비태세 및 가용도 향상에 기여할 수 있다.

2. 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 고장 및

상태기반정비(CBM) 기술

일반적으로 전통적인 정비 방법에는 사후 정비(Corrective Maintenance) 활동과 예방 정비(Preventive Maintenance) 활동이 있다. 시스템의 고장 발생으로 확실한 고장 징후에 정비하는 사후 정비의 경우 고장의 정도가 시스템의 작동을 멈추게 할 정도로 커진 시점으로서 넓은 정비 범위와 많은 정비 예산을 소요한다. 그리고 대부분 사전 예고 없이 시스템 정지가 발생함에 따라 생산성 및 기회비용에서 손실이 발생하며, 정해진 주기로 정해진 시점에 정비를 수행하는 예방 정비는 시스템의 고장과는 무관하게 정비를 수행함으로써 필요 이상의 정비 비용이 발생한다. 사후 정비와 예방 정비의 단점을 보완한 상태기반정비(Condition Based Maintenance)는 사전에 고장을 예방하여 시스템의 안전성을 높이고, 필요한 정비만을 수행함으로써 정비 비용을 최소화할 수 있다. 상태기반 정비의 대표적인 기술로 고장예지 및 건전성관리 기술(PHM) 기술을 들 수 있다.[2]



[그림 1] 정비 기술의 발전

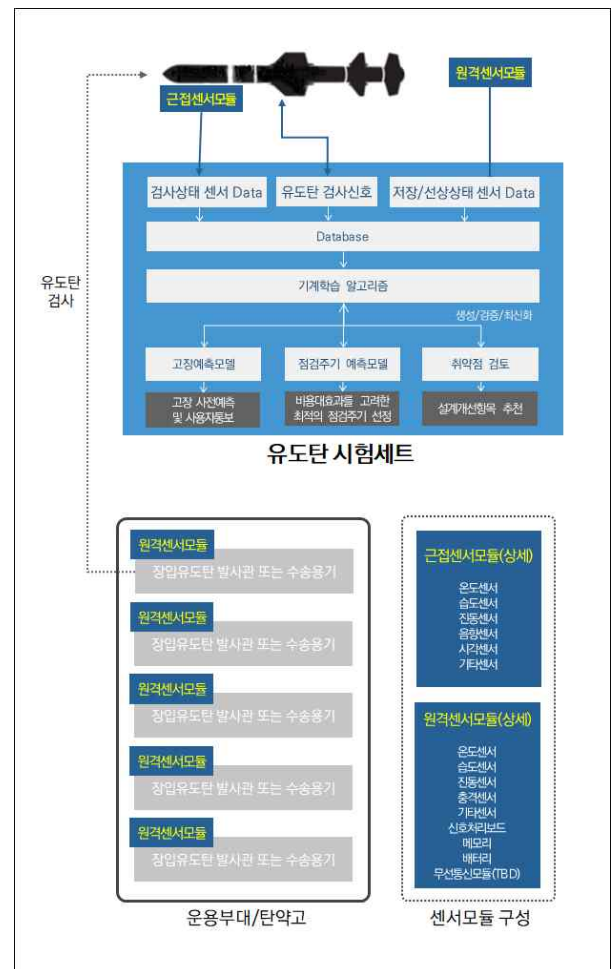
고장예지 및 건전성관리 기술(PHM)이란, 센서를 이용하여 장비나 기계시스템의 상태를 모니터링하고 고장의 징후를 포착하는 진단기술(diagnostics)과 잔여유효수명(RUL : remaining useful life)의 예측(prognostics) 및 효과적인 건전성관리 기술(health management)을 일컫는다. 고장진단의 경우 센서 기술의 발전에 따라 산업현장에서도 적용되고 있으나 성능저하가 이미 어느 정도 진행이 되어 충분한 상태변화가 발생하였을 경우에 감지되는 것이 일반적이므로 효용성의 한계가 있다. 이를 보완하고자 현재 상태를 통해 기계장비나 시스템의 잔여유효수명을 예측하는 예지기술(prognostics)에 대한 연구가 이루어지고 있는 상황이다.[3]

3. 상태기반정비(CBM) 기술을 활용한 유도탄 시험세트

3.1 개요

무기체계 일반장비에 대한 고장을 추정하고 예측하는 연구는 해외에서 다방면의 시도가 진행되고 있으며 고장예지 및 건전성관리(PHM) 기술도 민수 및 방산분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만 평상시 운용되지 않고 장기 저장되어 있으며, 일회성 사용(One-shot)을 목적으로 하는 유도탄에 대한 고장을 추정하고 예측하는 연구는 현재 시도조차 이루어지지 않고 있다. 다만, 일부 해외 선진사례에는 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM)를 활용한 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 이에 대한 활용 및 시도 사례가 없다.

일반적인 유도탄 시험세트류는 유도탄 점검 후 기존 검사 결과만 사용자에게 제시한다. 하지만 본 논문은 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 기술을 유도탄 시험세트에 적용하는 것을 제안함으로써 기계학습 능력을 통하여 시험세트를 사용할수록 고장예측의 정확도가 높아져 전투 준비태세 및 가용도 향상에 기여할 수 있다. 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 기술을 적용한 유도탄 시험세트 검사개념은 아래 그림과 같다.



[그림 2] 유도탄 시험세트 검사 개념도

3.2 설계수명 예측

유도탄 수명은 탄약이 사용되기 이전에 저장되는 저장수명(Storage Life)과 사용을 위해 운용 또는 무기체계에 탑재되어 사용되기까지의 내구수명(Service Life)으로 구분할 수 있으며, 이를 통틀어 총수명(Total Life) 또는 수명(Shelf Life)이라 한다. 일반적으로 탄약류는 획득 후 탄약고에 장기 저장되는 특성이 있으므로 탄약의 수명은 저장수명이 총수명의 대부분(99.9%)을 차지한다고 할 수 있다.[7]



[그림 3] 유도탄 수명의 정의

유도무기의 구성품을 살펴보면 크게 전자구성품, 비전자제품(기계구성품 등), 화약 구성품 등 시효성 품목(전지 포함)으로 크게 구분할 수 있는데 개발단계에서 각 구성품의 저장수명(Storage Life) 분석 방안은 다음 표와 같다.

[표 1] 유도무기 구성품별 수명 분석 방안

구분	수명분석 방안		비 고
전자구성품	● MTBF 기반 신뢰도 예측 규격을 통한 저장신뢰도 예측 판단 ● 가속수명시험을 통한 예측 판단		비활성 운용 시 수명도래 영향 적음
비전자부품 (기계구성품 등)	● 장기저장 간 고장소요가 거의 없으며 저장신뢰도 분석규격이 없어 일반적으로 신뢰도 분석 제한		
시효성 품목 (화약구성품)	전지류	● 대부분 수입품목으로 제품 보증기간 적용 (보증기간 ≠ 제품수명)	비활성 운용 간 노화특성 으로 수명도래 영향 높음
	화공품	● 가속수명시험 및 저장 수명시험을 통한 예측 판단	
	추진제		
	고폭 화약류	● 통상 수명분석 미수행 (과거 경험에 의한 배제)	-

유도탄은 양산 배치 후 탄약고에 저장하며 One-shot(일회성) 사용을 목적으로 설계하여 배치 후 장기간 저장시간을 갖는 시스템 특성을 가지고 있다. 따라서 장기적 저장을 고려한 수명예측이 필요하다. 전자구성품이 포함되어 전기적인 기능 검사 및 분해, 교환, 수리가 가능한 유도무기체계는 일반적인 무기체계와 같은 방법으로 운용/저장 및 유지 능력을 정량적으로 제시할 수 있는데 신뢰도는 평균 고장간 시간(MTBF)

으로 정량화 되고, 가용도는 백분율(%), 정비도는 평균수리시간(MTTR)으로 제시하고, 정기검사 또는 사용을 통해 나타나는 정비업무를 통해 관리할 수 있다. 하지만 시효성 품목은 수명예측을 위한 별도 규격이 없으며 개발기간 중 저장수명을 예측하고 전력화된 이후에는 저장수명 도래 이전에 저장 탄약신뢰성평가(ASRP)를 실시하며 저장수명을 관리(수명연장 또는 만료/폐기 여부 결정)한다.[5]

따라서 유도탄 개발기간 중 가속노화수명 시험 등을 통해 유도탄에 대한 설계수명(저장수명) 예측을 예측해야하며, 이러한 유도탄 설계수명은 “상태기반정비(CBM) 기술을 활용한 유도탄 시험세트”가 유도탄을 점검하는데 필요한 초기값을 제공한다. 또한, 해당 유도탄 야전운용제원 값은 유도탄 초기수명을 설정하는데 큰 도움이 될 수 있다.

3.3 운용원리

기본 개념을 살펴보면, 유도탄 시험세트에 기계학습기법과 고장예지 및 건전성 관리(PHM), 상태기반정비(CBM) 기술이 적용되었다. 장기저장 및 선상상태 유도탄에 센서(원격센서 모듈)를 장착하고 유도탄 검사 간 장착되는 센서(근접센서 모듈)를 통해 기계학습 알고리즘을 보유한 유도탄 시험세트로 점검하여 점검결과를 Database화하고 이를 기반으로 스스로 학습한다.

초기 설정된 유도탄 설계수명을 기반으로 점검결과에 따라 고장예측모델, 점검주기 예측모델을 추정 및 생성하여 유도탄에 향후 발생될 고장을 예측하고 최적의 점검주기와 취약점(Weak Point)을 도출한다.

좀더 상세히 살펴보면, 원격센서모듈은 저장 또는 선상상태의 장입유도탄에 장기간 장착 운용될 수 있도록 각종 센서류와 센서신호를 처리하는 신호처리보드, 메모리, 배터리를 포함하며, 근접센서모듈은 유도탄 시험세트를 이용한 유도탄 검사 시 함께 사용되며 각종 센서들로 구성(신호처리, 전원 등 시험세트 활용)한다.

센서(원격센서모듈/근접센서모듈) 및 유도탄 검사가 지속됨에 따라 알고리즘에 의하여 추정/생성되는 고장예측모델, 점검주기 예측모델, 취약점 검토내용은 스스로 검증하고 최신화한다. 예측모델 및 취약점 검토내용을 기반으로 시험장비 자체적으로 고장을 사전에 예측하여 사용자에게 통보하고 최적의 점검주기를 선정 및 설계개선 항목을 추천한다.

이와 같은 능동적인 유도탄 시험세트 구축을 통해 국방개혁에 의한 군수인력 감축에 따라 적은 인원으로도 유도탄 관리업무를 수행할 수 있으며 유도탄 고장예측 정확도가 향상되어 유도탄 수명주기관리에도 매우 긍정적인 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다.

3.4 유도탄 수명주기비용 절감 효과

고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 기반의 유도탄 시험세트 적용은 한국군 정비비용 및 유도탄 수명주기비용 절감에 매우 큰 효과가 있다.

한국군 정비예산은 야전/창/외주/해외정비비, 수리부속비, 정비부대 인건비 등 많은 비용이 수반됨을 알 수 있으며 이러한 시스템을 도입함으로써 정비비용의 효율적 사용 및 정비비용 절감을 도출할 수 있다. 또한 한국군에서 운용 중인 동시조달수리부속(CSP)는 낮은 적중률을 통해 불필요한 재고누적 등을 통해 비효율적인 예산낭비를 초래하고 있으며 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 개념의 장점을 활용하여 필요 수리부속을 정확하게 진단하고 예측함에 따라 불필요한 지출을 줄임으로써 예산 절감에 기여할 수 있다.

또한, 사용군 내 국방개혁에 따라 군수인력이 점진적으로 감축되고 있으며 이에 따라 정비인력 및 예산이 줄어들고 있는 상황이다. 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 기반의 유도탄 시험세트 적용을 통해 예측된 고장징후에 대한 정비인력만 투입만 필요하기 때문에 점진적 정비인력 감축이라는 국방정책 추진에도 효과적으로 발휘될 수 있을 것이다. 또한, 정확한 필요 수리부속품을 진단하고 예측하면서 수리부속 재고량 절감에 따라 저장 및 정비시설의 유지비용을 절감할 수 있다.[4]

4. 결론

현재 군에서 진행하고 있는 국방개혁에 따라 군방 군수인력을 감축하고 있으며 이에 대한 유도탄 관리 업무에 대한 인공지능(AI) 기술을 활용한 대안을 마련할 필요성이 제기되고 있으며, 기존 유도탄 시험세트 보다 향상된 기능을 부여함으로써 이에 대한 대안활동으로 모색할 수 있다. 기존 유도탄체계 시험세트는 검사결과만을 사용자에게 제시하였으나 고장예지 및 건전성관리(PHM) 및 상태기반정비(CBM) 기술을 접목한 능력을 통하여 시험세트를 사용할수록 기계학습 능력을 통하여 고장예측의 정확도가 높아지고 고장예측모델, 점검주기 모델을 추정 및 생성하여 유도탄에 향후 발생될 고장을 예측하고 최적의 점검주기와 취약점을 도출한다. 이러한 예측모델 및 취약점 검토내용을 기반으로 시험장비 자체적으로 고장을 사전에 예측하고 사용자에게 통보하고 최적의 점검주기를 선정 및 설계개선 항목을 추천함으로써 전투준비태세 및 가용도 향상에 기여할 수 있다.

다만, 이러한 좋은 아이디어를 구현할 수 있는 기술은 현재 구현하지 못한 상태이며 개발예산 및 기간 확보를 위해 다양한 사업화 전략을 통해 사용군 미래 정비계획 발전에 이바지하고자 한다.

참고문헌

- [1] 이종문, 권기상, 이학표, “유도탄 예방점검 주기 및 수명 설정 방안”에 대한 연구”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1172-1176, 11월, 2011년
- [2] 김근영, 황재기, 임영기, 하석운, “군수용 고정익 항공기 구성품 PHM 적용을 위한 기술 요소 획득 로드맵 구성 및 구성품 선정단계 검증” 한국항공우주학회지, 제47권 제9호, pp. 665-677, 9월, 2019년
- [3] 이수학, 윤병동, “Industry 4.0과 고장예지 및 건전성 관리 기술(PHM)의 방향”, 한국소음진동공학회 소음진동 52(1), pp. 22-28, 2015년
- [4] 김성환, 현도경, 이혜원, 이승현, 권기상, “무기체계 상태기반정비(CBM) 적용을 통한 수명주기 비용 절감 방안 연구”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 체계공학부분, pp. 1945-1946, 2020년
- [5] 김무철, “유도무기체계 체계개발 단계 효과적인 수명관리 및 정비정책 방안”, 한국산학기술학회 춘계학술대회, pp. 417-419, 2020년
- [6] “종합군수지원 개발 실무지침서”, 방위사업청, 2015년
- [7] “탄약 ILS 실무지침서”, 육군 탄약지원사령부, 2017년
- [8] 김병준, 정용길, 심행근, “유도무기 체계개발 단계의 수명 관리 방안”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 28-29, 2014년