

K-9 자주포 엔진 창정비 주기

관련 연구

서성철(육군본부)

K-9 자주포 엔진 창정비주기 관련 분석결과

육군 전력개발관리단

대령 서성철, 소령 김태균, 대위 송방원

1. 서론

비용분석 업무수행간 '99년부터 육군에서 운용중인 K-9 자주포엔진이 다른 무기체계와 비해 전력화 이후 3~4년 만에 창정비주기에 도달한 문제점이 식별되었다. 전차의 경우 엔진 창정비주기를 1,200시간으로 설정하였으나 연 사용시간을 고려할 때 체계와 동일한 10년차에 실시되고, K-55 자주포의 경우는 엔진 창정비주기를 별도로 설정하지 않고 주행거리 6,400km 또는 사용연수 10년 중 선도래하는 것을 기준으로 창정비를 실시한다([표 1.1]). 이와 달리 K-9 자주포의 창정비주기는 체계 10년, 엔진 1,500시간으로 분리되어 명시되었고 엔진사용시간이 1,500시간에 도달하면 체계와 무관하게 엔진만 별도 창정비를 실시한다. 최초 계획시 연간 253시간의 엔진운용을 예상하여 6년을 창정비주기로 정했지만 실제 300~450시간을 사용함으로 인해 3~4년만에 창정비주기에 조기 도달하였고, 이와 같은 추세라면 체계가 10년에 1회 창정비할 때 엔진은 2~3회의 창정비가 필요하다. 또한 엔진 창정비시기의 조기 도래는 전투준비태세 유지측면과 비용면에서 심각한 문제를 초래하고 있다. 우수한 장비라는 K-9 자주포가 비록 성능은 뛰어나지만 운용유지면에서 막대한 비용을 유발하는 것이 과연 타당한 것인가에 대한 의문이 들지 않을 수 없다.

[표 1.1] 무기체계별 창정비주기

구분	K-1 전차	K-55 자주포	천마 / 비호
적용기준	1,200시간/10년	6,400km/10년	10,000km/10년
비고	엔진가동시간	주행거리	주행거리

따라서 현 적용 창정비주기(엔진가동시간 1,500시간)의 적절성과 타당성을 검증하여 K-9 자주포 엔진의 창정비주기가 타장비보다 현저히 짧은 원인규명이 필요했고 다음과 같은 사항을 중점적으로 분석하였다.

- K-9 자주포 엔진 창정비주기와 관련된 야전 운용실태 및 의견수렴
 - K-9 엔진 야전 운용특성 (연 평균 기동거리, 엔진가동시간 등)
 - 야전 정비부대의 K-9 엔진 관련 정비체계 및 능력
 - 현 적용 창정비주기로 인해 야기된 제반 문제점 등
- 현 적용 K-9 창정비주기 설정 배경 확인 및 타당성 검증
 - 엔진 관련 업체가 제공한 현 창정비 주기의 실제규명
 - 관련이론을 기초로 업체제시 창정비주기 적용의 적절성 분석
- K-9 자주포 엔진 적정 창정비주기 도출
 - 육군의 K-9 장비 운용특성 및 정비체계 고려

2. K-9 자주포 엔진 창정비주기 개관

창정비란 야전부대에서 정비가 제한되는 부품의 고장시 또는 고장예방을 위해 정비창에서 정비하는 것으로 장비의 운용특성과 전투준비태세유지 측면, 경제성을 고려하여 주기를 설정하는데 K-9 자주포 엔진의 창정비 주기는 [그림 2.1]과 같은 과정을 통해 1,500시간으로 설정되었다.

○ '97. 1 : 국내 기술도입 생산업체인 STX사, 엔진 원제작사인 독일 MTU사로부터 TBO 1,500시간 자료 입수(TBO: Time Between Overhaul)

○ '97. 11 : ADD, XK-9 운용형태 종합/임무 유형 분석

* 평시 K-9 자주포 운용형태 (관련근거 : '99.10 K-9 종합군수지원계획서)

구 분	연간 가동 시간	연간 주행 거리
내 용	엔 진 : 253시간	1,120 km

○ '00. 6 : 무기체계사업단, K-9 자주포 창정비 방침 검토

- 엔진 창정비주기에 대한 관련기관의 의견 검토

구 분	ADD	KIDA	육본 전력분석과
엔진 창정비주기	6년	6년	10년

* TBO 1,500시간을 연간운용시간 253시간으로 나누어 6년을 제시

○ '02~'03 : 전력단에서 의뢰하여 삼성테크윈(체계조립업체)이 수행한 ILS최신화 사업에서, 1,500시간을 엔진 내구도 수명 및 창정비주기로 명시

[그림 2.1] 창정비 주기 설정 과정

3. 현 실태 분석

3.1 K-9 자주포의 운용특성

기동을 주로 하는 전차와 달리 K-9 자주포는 엔진가동의 20~30%가 기동을 위한 동력발생이고, 70~80%는 사격임무 대기시 포탑구동, 사통장치 운용등의 전기 공급을 목적으로 한다. 왜냐하면 K-9 자주포의 대부분의 장치는 전자동시스템으로 구성되어 있기 때문에 전원공급을 필요로 하고, 이 전원은 발전기를 통해 공급되는데 이를 위해 엔진 가동이 필요하다. 발전기의 가동없이 축전지에 의해서도 전기장치의 가동이 가능하지만 불과 20~30분정도밖에 사용하지 못함으로 축전지의 충전을 위해서 엔진가동은 불가피하다. 때문에 엔진가동시간은 연 350시간을 사용해도 실제 기동거리는 600km정도밖에 되지 않는다.

3.2 전투준비태세 측면

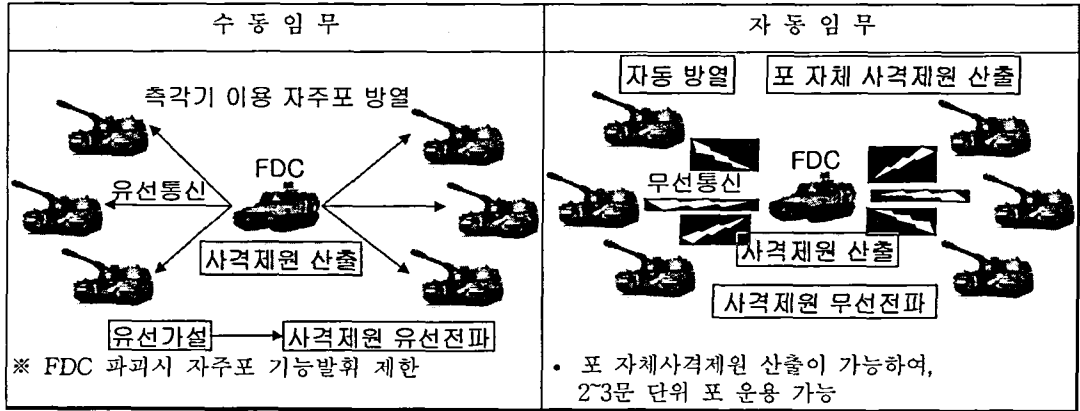
'97.11 XK-9 운용형태 종합/임무 유형 분석시 연간 운용시간을 253시간으로 예상했으나 실제로는 350시간 이상 운용되어 일부 장비의 경우 창정비주기에 조기 도달하였다. 그러나 아직까지 창정비 요소가 개발 되지 않은 상태로 전투준비태세를 유지하기 위해서는 신품 엔진으로 교체 해 주어야만 했고, 현재까지 1,500시간을 사용한 8대의 엔진(해병대 6문, 육군 2문)이 교체되었다.

또한 교체 엔진의 적시 확보가 제한됨으로 인해 K-9 자주포 운용부대에서는 전시 대비 100시간의 여유를 남기기 위해 1,400시간 초과 장비의 사용을 제한하였고, 최기 보급 K-9 자주포를 이용하여 훈련을 하며 엔진가동을 최소화하기 위한 방침을 자체적으로 수립하여 시행하였다.

- .장비 일조점호/일일장비정비서 자주포 엔진 가동 미 실시
(저전압 경고시에만 시동)
- .1,400시간 초과 엔진 주 1회 시동만 실시 (10~15분)
- .훈련시간이 전개 및 장비 가동 최소화
- .일일 비사격 훈련시 수동임무 위주 실시

[그림 3.2] 엔진가동 최소화를 위한 운용지침(예)

엔진을 충분히 가동하지 못함에 따라 K-9 자주포의 최대 장점인 포 단위 사격제원산출 및 자동방열, 2~3문 단위 포 운용이 제한되고 유선을 별도로 가설해야 하는 등 K-55 자주포와 같이 수동임무만을 수행함으로써 K-9 자주포의 특성을 최대한 반영한 훈련이 제한되고 있는 실정이다.



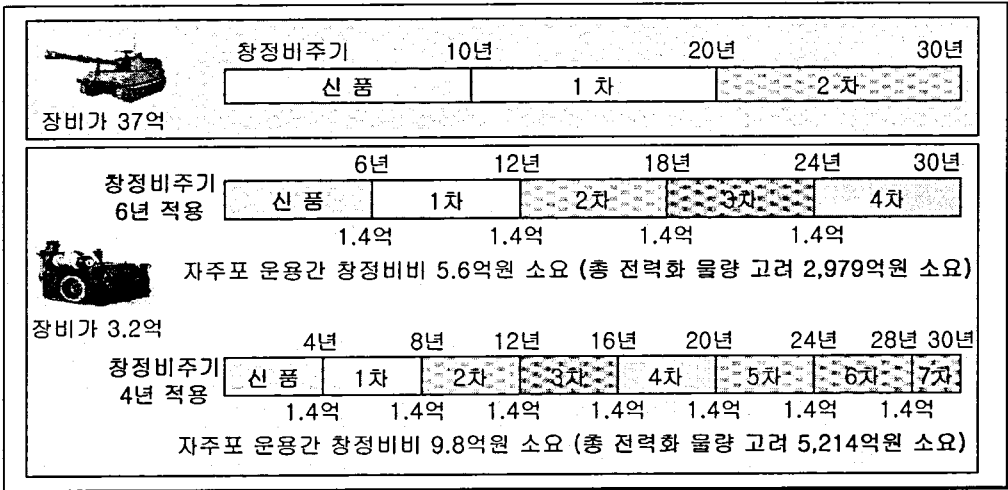
[그림 3.3] 수동임무/ 자동임무의 비교

3.3 창정비 소요예산 측면

K-9 자주포 엔진의 창정비주기를 1,500시간으로 적용할 때 연간 350시간 운용시 4년마다 엔진 창정비를 별도로 실시해야 한다. 이는 K-9 자주포를 30년 운용한다고 가정할 때 체계는 2회 창정비

를 실시하는데 반해 엔진은 7회의 창정비가 별도로 필요하며 통상 2~3회의 창정비 후 엔진교환을 한다고 할 때 1회의 엔진교환이 추가된다.

엔진 제작업체인 STX사는 엔진 1회 창정비시 소요되는 비용으로 1.4억으로 제시하였다. 이를 기준으로 할 때 K-9 자주포 30년 운용을 고려시 엔진 창정비비용으로 5,214억원이라는 막대한 비용이 소요된다([그림 3.4]).



<그림 3.4> 창정비 주기별 소요비용 비교

세계 최고성능을 발휘하는 신형 K-9 자주포가 엔진 창정비주기 1,500시간으로 인해 전투력발휘에 제한을 받고, 향후 운용유지에 막대한 비용을 초래한다는 것에 의문이 들지 않을 수 없다. 즉 350시간 이상인 연간운용시간을 개발단계에서 253시간으로 적게 설정해서 6년인 창정비주기가 4년으로 단축된 것이 문제인지 아니면 1,500시간 자체에 문제가 있는 것인가에 대한 원인분석이 필요하다.

4. 현 적용 창정비주기 적절성 검증

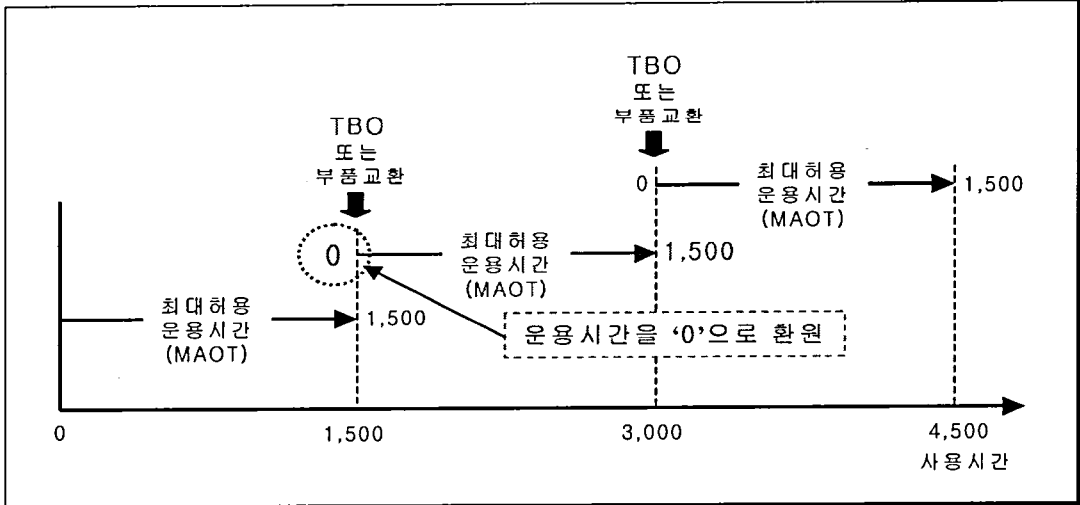
4.1 관련 이론

4.1.1 TBO의 개념

[그림 2.1]에서 언급했듯이 창정비주기의 설정은 원천설계사인 독일 MTU사에 의해 제시된 TBO 1,500시간에서 출발했다. 따라서 TBO에 대한 개념이 먼저 정의되어야 한다.

MTU사에서는 TBO를 심각한 고장없이 장비의 최대성능을 보장하는 시간이라고 정의하였다. 다시 말하자면 TBO란 고장을 사전에 예방하기 위해 설정되는 분해수리주기이다. 예를 들어 [그림 4.1]

에서 불 때 어떤 장비를 고장없이 사용하기 위해 최대허용운용시간(MAOT)을 설정한다. 최대허용시간 운용 후 운용시간을 '0'으로 환원하여 다시 최대허용운용시간(MAOT)동안 사용해야 하는데 이때 '0'으로 환원하는 방법이 '시간 교환구성품'을 적용하는 것이다. 시간교환 구성품은두가지로 구분되는데 분해수리가 가능한 경우는 분해수리(TBO) 구성품, 분해수리가 불가능한 소모성 부품의 경우는 부품을 교환하는 폐기수명구성품(RLC:Retirement Life Component)으로 나눈다. 즉 TBO란 고장없이 장비를 사용하기 위해 적용되는 정비방법중의 하나로 분해수리주기를 의미한다.



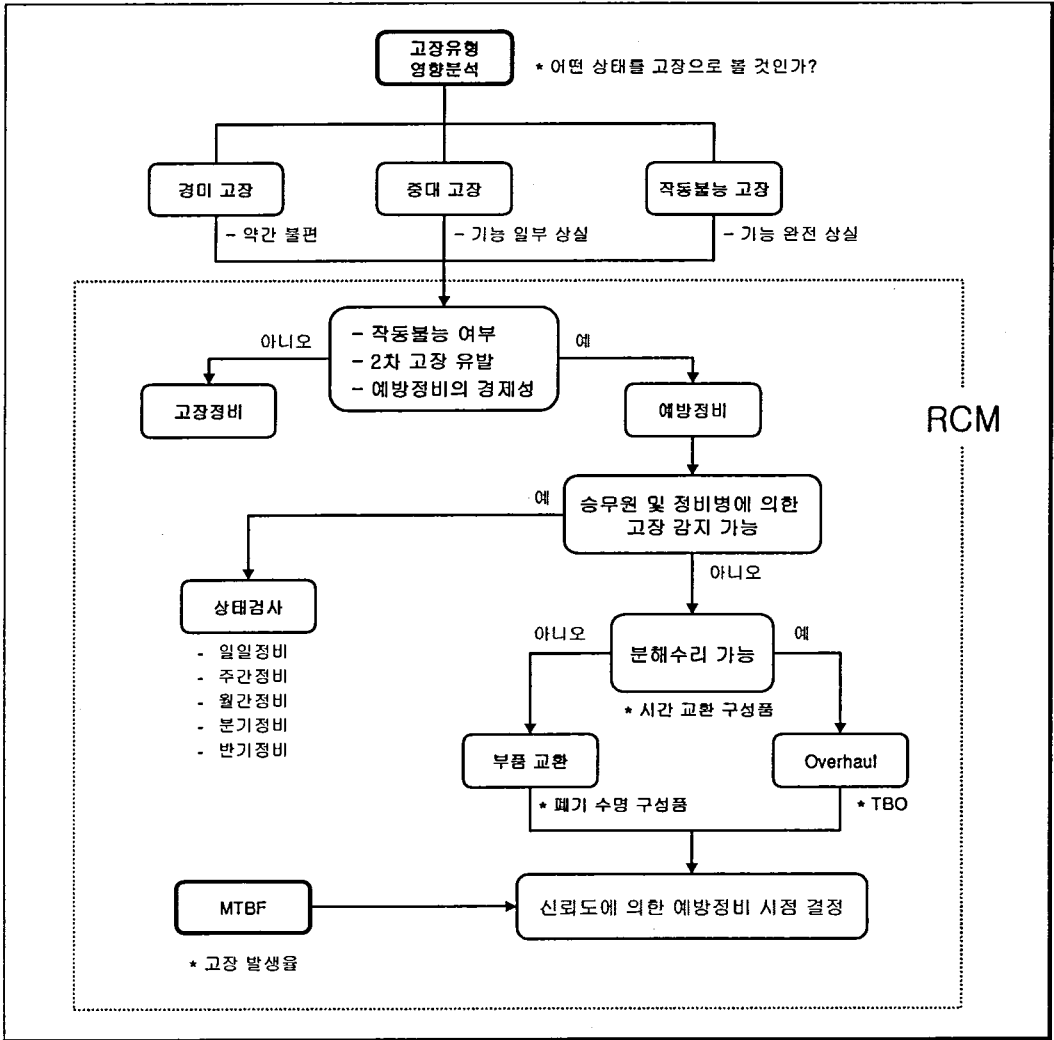
<그림 4.1> TBO의 적용개념

4.1.2 신뢰성 중심 정비(RCM)의 개념

어떤 장비의 고장을 예방하기 위한 사전정비 방법 중 분해를 통해서만 고장감지가 가능한 경우 언제 분해를 하느냐가 중요한 문제이다. 왜냐하면 잦은 분해는 장비의 성능을 저하시키고 비용을 발생시키는 반면, 분해를 하지 않으면 고장을 감지할 수 없기 때문이다. 따라서 최소의 비용으로 최대의 신뢰성을 얻기 위해 개발된 것이 RCM이론이다.

신뢰성중심정비(RCM)란 최저비용으로 장비의 최대 안전도와 신뢰도를 동시에 충족시키는 예방정비계획을 수립하는 이론이다. 이것은 '50~60년대 미국 항공업체 및 제조업체에서 비용절감을 목적으로 경제적 예방정비 시점을 설정하기 위해 개발된 것으로 보잉747에 적용되었고, '79년 이후 미 육군은 모든 물자에 RCM을 적용하여 정비 계획 수립하고 있다.

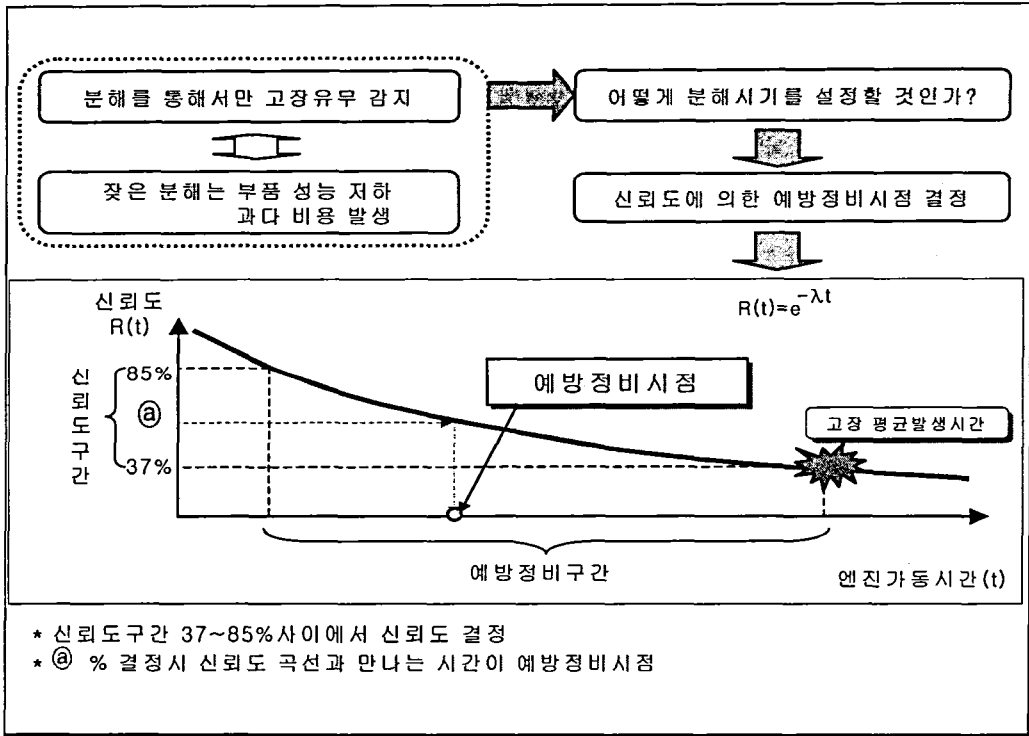
RCM의 적용개념은 먼저 RCM 논리표에 의해 부품별 정비방법을 결정한다([그림4.2]).



[그림 4.2] RCM Logic의 예

이 과정을 통해 예방정비가 필요한 것은 무엇이며 이중 분해수리를 요구하는 것은 무엇인지를 결정하고 분해수리시점을 찾기 위해 신뢰도를 적용한다.

분해수리시점은 장비의 고장율 15~67%사이에서 예방정비를 하는데 지수함수인 경우 신뢰도에 의해 설정가능하다. 즉 $R = e^{-\lambda t}$ 의 신뢰도 곡선으로 변환하고 신뢰도 37~85%사이에서 설정할 수 있다. 이 경우 신뢰도 곡선과 만나는 시점이 예방정비 시점이자 TBO가 된다.



[그림 4.3] 신뢰도를 이용한 예방정비시점 설정

4.2 현 창정비 주기 설정 배경

현 창정비 주기 1,500시간의 설정배경을 살펴보면 다음과 같다.

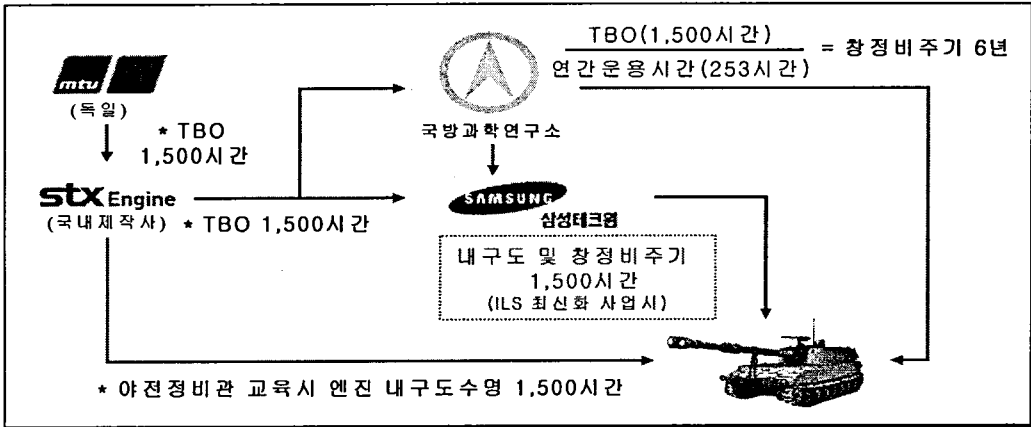
원천설계사인 독일 MTU는 TBO 1,500시간을 제공하였으나, ADD는 TBO를 창정비로 인식하여 연간운용시간 253시간을 나는 6년을 창정비주기로 제시하였다. 또한 체계조립업체인 삼성테크윈은 17억원이 투입된 「ILS 최산화」 시 TBO 1,500시간을 창정비주기이자 엔진 내구도 수명이라고 결과에 명시하여 군에 제출하였다([그림 4.4]). 이 결과를 바탕으로 육군은 1,500시간 가동시 필히 창정비 또는 엔진을 교체해야 하는 것으로 인식하게 되었다.

만약 TBO 1,500시간의 설정에 고려된 모든 부품이 창에서 정비되는 것이라면 TBO 1,500시간을 창정비주기로 적용할 수 있다. 그러나 앞서 살펴보았듯이 업체는 분해수리(overhaul)가 곧 창정비라는 고정관념을 가지고 부품의 정비체계를 고려하지 않고 TBO 1,500시간을 무조건 창정비주기로 적용하였다. 또한 분해수리(Overhaul)가 창에서만 실시되는 것이 아니라 야전정비부대에서도 실시되기 때문에 개념을 명백히 잘못 적용한 것으로 TBO 1,500시간을 창정비주기로 적용하는 것은 부적절하다.

또한 엔진의 내구도 수명은 존재하지 않는다. 그 이유는 소모성부품이나 정비 불가부품의 경우 내

구도가 존재하지만 구성품의 교환 및 수리가 병행되는 엔진의 경우 내구도란 이론상 무한대이기 때문이다.

이처럼 원천설계사가 예방정비 시점으로 제시한 TBO시간이 적용과정에서 창정비주기로 검증없이 적용된 문제가 있다.



[그림 4.4] 현 창정비 주기 설정 배경

정리하자면 TBO 1,500시간의 설정조건이 창정비 주기의 적용조건과 부합될 경우 TBO 1,500시간을 창정비주기로 적용하는데 무리가 없다. 따라서 TBO 1,500시간의 설정조건에 대한 분석이 추가적으로 필요하다.

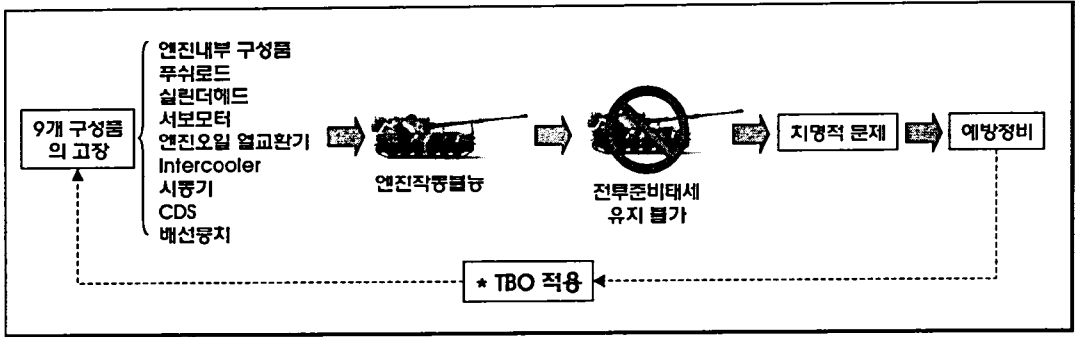
4.3 TBO 1,500시간 설정 근거

TBO 1,500시간의 타당성 분석을 위해 설정근거를 요구하였으나 업체는 TBO란 원천제작사의 수년간 경험과 실적을 바탕으로 산정되므로 근거자료 없음을 주장하였다. 또한 독일 자주포(PzH 2000)를 기준으로 산정된 TBO 1,500시간을 K-9 자주포에 적용하는 것이 최선의 방법이라고 주장함과 동시에 엔진수명을 연장하기 위해 보조발전기 사용을 권유하였다.

업체가 관련근거 제시를 못함으로 인해 앞에서 살펴본 관련이론의 연구를 통해 TBO 설정근거를 추정하고 K-9 자주포의 운용특성에 맞는 창정비주기의 재설정이 필요하게 되었다.

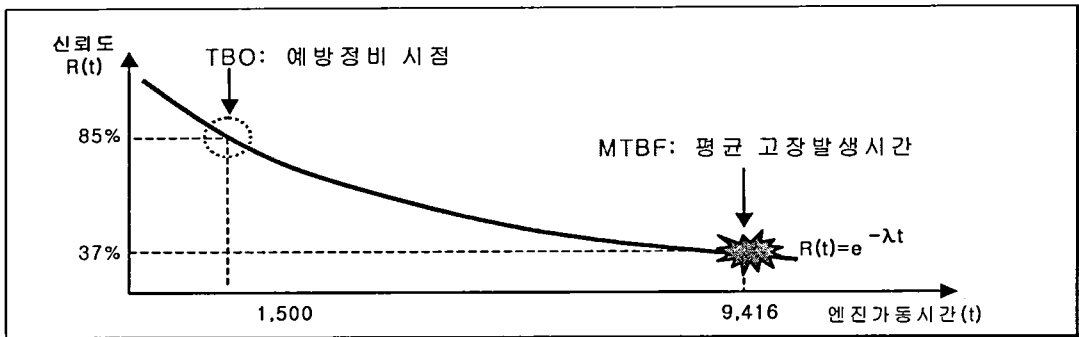
RCM이론을 TBO 1,500시간에 적용을 하여 설정근거를 역추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 지상전투 장비인 자주포의 경우 「전투준비태세 유지 불가」 상태가 치명적인 문제
- 「전투준비태세 유지 불가」 상태는 엔진작동불능으로 발생
- 엔진작동 불능을 유발하는 9개 구성품으로 TBO 설정



[그림 4.5] TBO 1,500시간의 적용개념

즉, TBO는 치명적 문제인 전투준비태세 유지 불가 상태를 예방하기 위해 설정된 것으로 전투준비태세 유지불가상태는 고장발생시 엔진작동불능을 유발하는 9개구성품의 예방을 통해 방지할 수 있다. 따라서 9개 구성품의 예방정비를 위해([그림 4.5]) TBO를 적용하였고, [그림 4.6]에서 보는 바와 같이 85%의 신뢰수준에서 형성된 것이 TBO 1,500시간이다. 여기서 말하는 신뢰도란 요구되는 수준을 만족하는 확률로서 고장없이 장비를 가동할 확률을 의미한다.



[그림 4.6] TBO 1,500시간의 신뢰도 곡선

4.4 TBO 1,500시간 적용의 문제점

TBO 1,500시간이 창정비주기가 되기 위해서는 다음의 조건을 만족해야 한다.

TBO 1,500시간이 창정비주기가 되기 위한 조건

- 9개 구성품은 모두 정비창에서 정비
- 엔진작동불능 고장발생시 「전투준비태세 유지 불가」

그러나 [그림 4.7]에서 보는 바와 같이 K-9 자주포 엔진의 구성품은 야전정비부대에서도 정비되므로 모든 구성품을 창에서 정비하는 것으로 설정된 TBO 1,500시간을 창정비주기로 적용하는 것은 부적절하다.

구성품	정비부대	
	TBO 1,500시간 설정조건	창정비주기 설정조건
엔진대부 구성품	정비창	정비창
푸쉬로드		일반지원정비
실린더헤드		직접지원정비
서보 모터		직접지원정비
엔진오일 열교환기		일반지원정비
Intercooler		직접지원정비
시동기		일반지원정비
CDS		일반지원정비
배선용치		일반지원정비

[그림 4.7] 엔진 구성품별 정비계단 비교

또한 정비능력을 고려하지 않고 엔진작동 불능을 「전투준비태세 유지 불가」 상태로 단순 적용한 TBO 1,500시간은 창정비주기로 적용될 수 없다. 왜냐하면 엔진작동불능 고장발생시 구성품 단위 교환을 통해 즉각적인 정비가 가능한 경우는 전투준비태세 유지불가상태로 볼 수 없기 때문이다. 실제 시동기 및 CDS의 고장발생시 야전에서 구성품단위로 교환을 실시하였다.

결론적으로 말하면 업체에 의해 제시된 TBO 1,500시간은 K-9 자주포 엔진의 창정비주기로 적용하는 것은 부적절하다.

5. K-9 자주포 엔진 적정 창정비 주기 설정

창정비주기 설정시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

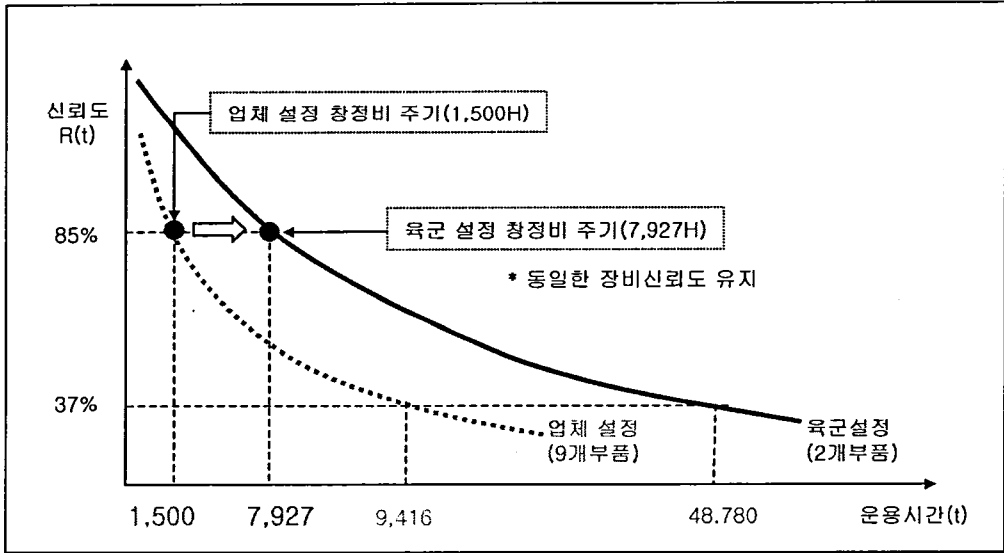
창정비 주기 설정시 고려사항

- 부하운용율에 따른 고장현황
 - . K-9 자주포는 운용기간 중 고장발생현황이 적어 관련 자료의 획득이 제한되므로 독)MTU사 제공 MTBF자료를 적용
 - * 엔진사용강도가 K-9자주포보다 강하므로 안정적인 창정비주기 설정 가능
- 「전투준비태세 유지」 측면
 - . 부품별 정비능력을 고려, 즉각적인 수리 불가로 「전투준비태세 유지불가」 상태를 유발하는 부품 선별
 - . 정비창에서만 정비되는 부품을 창정비주기에 포함

이를 볼때 K-9 자주포 엔진의 창정비주기는 즉각적인 수리의 제한으로 인해 「전투준비태세 유지 불가」를 유발하는 엔진내부구성품과 푸쉬로드만을 고려해야 한다. 이 두가지 부품에 대한 신뢰도

분석결과 [그림 5.1]에서 보는 바와 같이 7,927시간이 적정하다. 이 시간은 연간 가동시간을 350시간으로 할 때 22년에 1회 창정비 한다는 의미로 체계와 달리 엔진의 별도창정비는 필요 없다는 의미이다.

따라서 K-9 자주포 엔진의 별도 창정비는 불필요한 것이며 체계와 동일하게 10년에 창정비를 하는 것이 적정하다.



[그림 5.1] 적정 창정비 주기의 신뢰도 곡선

6. 결론

업체에 의해 설정된 TBO 1,500시간이 별다른 검증 없이 K-9 자주포 엔진의 창정비주기로 적용됨에 있어 그 누구도 의심을 품지 않았다. 때문에 세계 최고의 성능을 가진 신형 K-9 자주포가 운용에 심각한 제한을 받아왔다. 첫째 이유는 기존의 관행적 개념대로 분해수리(Overhaul)를 곧 창정비로 인식하여 검증의 필요성을 인식하지 못했기 때문이고, 둘째는 업체에 의해 진행되는 사업에 대한 엄격한 통제를 하지 못했기 때문이다. 셋째로는 업체에 의해 제시된 자료라고 해도 정확한 분석을 통해 적용해야 했음에도 그 노력을 기울리 했기 때문이라 볼 수 있다.

현 창정비주기로 설정된 TBO 1,500시간의 가장 큰 문제는 육군의 정비체계를 전혀 고려하지 않았다는 것이다. 모든 정비가 창에서 실시될 때 TBO 1,500시간은 창정비주기로 적용될 수 있으나 육군의 정비체계는 2개부품만 창정비를 요할 뿐 나머지는 야전정비부대에서 정비가 가능했다.

또한 TBO를 치명적인 문제를 예방하기 위한 정비시점으로 볼때 전투장비의 치명적 문제는 전투 준비태세 유지가 불가할 경우이다. 엔진작동불능상태가 될 때 전투준비태세 유지가 불가하지만 정비를 통해 즉각적인 수리가 가능한 경우는 전투준비태세 유지불가로 볼 수 없다.

이와 같은 이유로 인해 TBO 1,500시간은 창정비주기로 적용될 수 없으며 K-9 자주포의 운용특성과 정비체계를 고려한 적정 창정비주기가 재 설정되어야 했다.

결국 엔진작동불능을 유발하는 구성품 중 창정비를 요구하는 2개의 구성품을 선정하여 신뢰도에 의해 예방정비시점을 설정할 때 적정 창정비 주기는 7,927시간이 되었다. 이것의 의미는 별도의 엔진 창정비는 필요하지 않으며 체계 창정비 10년과 동일하게 창정비해도 문제 없다는 것이다.

K-9 자주포 엔진의 적정 창정비 주기 설정은 전투준비태세 제한사항의 근원적인 문제를 해결했다는 데 의미가 있다. 즉 겉으로 보이는 현상에 대한 단편적인 해결대책이 아니라 누구도 의심하지 않은 1,500시간에 대한 분석을 통해 근본적인 문제를 해결했다는 것이다.

또한 연 350시간 가동시 12년까지 640억원의 창정비 비용을 절감할 수 있어 최소의 비용으로 최대의 효율을 발휘하는 경제적 군 운용에 기여 할 수 있다.