

무기체계 연구개발 사업의 성능관리를 위한 기술성과측정에 관한 연구

A Study on the TPM for Performance Management of Weapon System R&D Program

허 장 욱* 노 현 일*
Jangwook, Hur Hyunil, Noh

Abstract

In order to successfully manage of the state-of-the-art weapon system R&D program which are under the limited budget and schedule but also has a high level of technical risks, it is gaining weights to use such a scientific program management tool as TPM. Therefore, the purpose of this research is to review the concept of the TPM and its relation among MOE, MOP and TPM, and introduce an application method of TPM mainly focusing on helicopter development program. It has the organized structure, detailed procedure and 282 parameters for performance management through the TPM.

Keywords : Technical Performance Measurement, Work Breakdown Structure, Measurement of Effectiveness, Measurement of Performance, Key Performance Parameter

1. 서론

1990년대초 동서냉전의 종식에 따라 주요 선진국을 중심으로 군비축소의 붐이 일었으며, 국방예산이 크게 삭감되었다. 이로 인해 무기체계 연구개발에 있어서 제한된 예산과 일정하에 사업을 관리하기 위한 도구(tool)로써 EVMS(Earned Value Management System), CAIV(Cost As Independent Variable), TPM(Technical

Performance Management) 등의 적용이 요구되었다^{1~4)}.

즉, 사업관리의 기본요소인 비용, 일정, 성능 관리를 위해 주요 선진국에서는 EVMS, CAIV, TPM 등을 적용하고 있으나, 국내 무기체계 연구개발의 경우 최근에서야 비용과 일정관리를 위해 EVMS, CAIV를 일부 사업에 적용하고 있다.

그러나, 개발 일정에 따라 기술분야의 의사결정을 지원하는 성능관리 기법인 TPM은 국내 적용사례가 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 국내 헬기개발 사업을 중심으로 TPM을 통한 무기체계 연구개발 사업의 성능관리 방법을 제시하고자 한다.

† 2010년 5월 7일 접수~2010년 7월 23일 게재승인

* 방위사업청(Defense Aquisition Program Administration)
책임저자 : 허장욱(hjw01@dapa.go.kr)

2. 기술성과측정의 개요

TPM은 시스템 엔지니어링의 한 분야로써, 공학적 분석이나 시험을 통해 업무분담구조(WBS : Work Breakdown Structure) 상의 주요 구성요소에 대한 설계를 성능 파라메타를 통해 추적 관리하는 행위를 의미한다^[5,6].

이러한 TPM은 계획값과 측정값을 비교할 수 있도록 해주고, 사업추진 중에 나타날 수 있는 문제점을 조기에 탐지하여 달성 가능한 성능을 미리 예측하게 하며, 이해관계자가 제안한 수정 요구사항이 프로그램에 미칠 영향을 평가하는데 도움을 준다.

TPM과 유사한 의미의 시스템 및 구성품의 성능관련 측정 요소로는 MOE와 MOP가 있으며, 각각의 세부내용과 상관관계는 다음과 같다^[7,8].

가. 효과도 측정(MOE : Measurement Of Effectiveness)

MOE는 사용자 관점에서 기술된 무기체계의 수명주기 동안 운용 요구사항이다. 즉, MOE는 모든 운용환경에서 임무수행을 위한 시스템의 능력이라고 할 수 있으며, 운용 대안의 비교, 사용자 관점에서 성능 민감도 평가, 기술적 해법의 허용기준 제공 등에 활용된다.

나. 성능 측정(MOP : Measurement Of Performance)

MOP는 시스템이 MOE를 만족하는지 평가하기 위해 사용하는 것으로 MOE 또는 사용자의 개발 요구사항으로 부터 도출된다.

MOP는 시스템 성능 또는 능력으로써, 작전요구성능으로 표시되는 주요성능인자(KPP : Key Performance Parameter)를 포함하며, MOE로부터 도출된 요구사항의 대안 비교, 형상변경에 대한 성능 민감도 평가, KPP 달성의 평가 등에 활용된다.

다. 기술성과측정(TPM)

TPM은 시스템이나 구성품이 기술적 요구사항을 만족하는지 여부를 결정하기 위한 성능을 측정하며, 시스템의 KPP를 표현하는 MOP로부터 도출된다.

사업추진간 비용, 일정 및 성능에 있어서 위험이 예상되는 주요 기술적 한계나 파라메타를 TPM 대상으로 선정한다.

라. MOE, MOP, TPM의 상관관계

MOE는 시스템이 사용자의 운용개념을 만족하는지 검증하는데 사용하고, MOP는 시스템이 사용자의 요구사항을 만족하는지 입증하는데 사용한다.

성능관련 측정 요소간의 상관관계를 Table 1에 나타내었다. 즉, MOE의 시스템적인 수준으로부터 MOP의 작전반경과 같은 정량적인 성능을 파악할 수 있고, 아울러 MOP로부터 연료소모율, 항공기 중량, 연료탱크 용량 등의 TPM 파라메타의 선정이 가능하게 된다.

이와 같이 MOE로부터 MOP 그리고 TPM으로 이동하면서 기술관련 측정요소들이 정량화되고 구체화된다.

Table 1. 성능관련 측정요소간의 상관관계

구분	적용기준	적용사례
MOE	Operational Requirement	주입무중량으로 포함기지에서 독도까지 연료탱크 연료만으로 비행이 가능해야 한다.
MOP	System Requirement	헬기의 작전반경은 450km 이상 이어야 한다.
TPM	Technical Performance	<ul style="list-style-type: none"> 연료 소모율 헬기 중량 연료탱크 용량

3. 기술성과측정 절차 및 방법

가. 수행 시기 및 절차

TPM 업무는 일반적으로 WBS 구조상의 구성요소에 부여된 성능 기준선을 수립하는 사업초기 단계부터 수행한다.

TPM은 시험에 의해 설계가 완성되었다는 것을 입증할 때까지 계속되며, 형상품목의 개조나 설계변경이 이루어질 경우에도 수행되어야 한다.

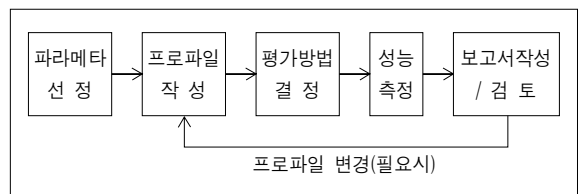


Fig. 1. TPM 수행절차

TPM 수행절차는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 TPM 파라메타 선정, 계획 프로파일 작성, 평가방법 결정, 성능측정, 보고서 작성/검토의 5단계로 구분할 수 있다. 이때 보고서 검토결과에 따라 성능목표와 일정계획 등 계획 프로파일을 변경할 수 있다.

나. 파라메타 선정

TPM 파라메타 선정은 TPM 업무의 성패를 좌우할 만큼 중요하며, 파라메타는 하드웨어, 소프트웨어, 정비지원, 인간요소 등 시스템의 모든 제품 및 기능분야에 걸쳐 선정이 되어야 한다.

또한, 소프트웨어 개발에는 높은 기술적 위험이 있기 때문에 소프트웨어와 관계되는 TPM 파라메타 선정에 특별히 주의를 기울여야 한다. 일반적인 TPM 파라메타를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. 일반적인 TPM 파라메타

<ul style="list-style-type: none"> • 무게, 동력, 부피, 면적, 유상하중, 냉각능력, 컴퓨터 처리량 • 기억장치 용량, 명령어 할당 수, 사거리, 거리측정 오차 • 원격측정 할당 수, 목표물 포착 정확성, 전자간섭, 반응시간 • 수신민감도, 통신능력(대역폭, 링크 수) • 정비인원, 신뢰도, 가용도, 평균 수리시간, 고장간 평균시간 등
--

다. 계획 프로파일 작성

선정된 TPM 파라메타에 대해서는 과거 경험자료 등을 이용하여 적절한 계획 프로파일을 작성하여야 하며, TPM 계획 프로파일의 형태를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 (a)는 계획 프로파일이 일정한 값을 유지하고 있으며, 기술적으로 성숙되었거나 제품개발 리스크가 낮은 경우에 해당한다.

또한, (b)는 계획 프로파일이 점차 증가하고 있으며, 개발간 불가피하게 일어나는 설계변경으로 무게 등이 증가하는 경우가 해당하고, (c)는 무게 증가에 따라 항속시간 등의 성능이 감소하는 경우를 의미한다.

이와 같은 계획 프로파일은 고정된 값이 아니며, 목표값과 측정값을 비교하여 비용이나 시간이 계획된 요구조건을 달성하기에 부족하다고 판단될 경우에는 계획 프로파일의 변경 등을 고려하여야 한다.

TPM은 성능관련 경보시스템의 하나이므로 경보장치가 현실적이어야 유용한 가치가 있다. 따라서 신뢰할 만한 결과를 얻기 위해서는 계획 프로파일의 타당성을 적어도 년 1회 이상 검토하여야 한다.

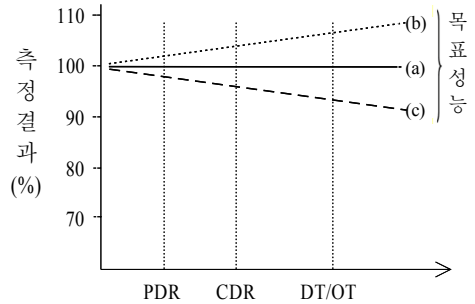


Fig. 2. TPM 계획 프로파일의 형태

* PDR(Preliminary Design Review),
 CDR(Critical Design Review),
 DT/OT(Development Test / Operational Test)

라. 평가방법 결정

TPM 파라메타를 측정하고 예측하는 평가방법을 Table 3에 나타내고 있다. 측정방법에는 공학적 분석, 수학적 모델링, 형상품목에 대한 시험이 있으며, 형상품목에 대한 시험이 정확도가 가장 높으나, 형상설계가 구체화되고 시제품이 제작된 이후 적용이 가능하다.

또한, 개발종료 상태의 결과를 예측하는 방법에는 수학적 모델링, 시뮬레이션, 과거 실적자료를 이용하는 방법 등이 있다.

Table 3. TPM 평가방법

구분		개발초기	개발말기	양산
측정	공학적 분석	○	×	×
	수학적 모델링	○	○	×
	형상품목 시험	×	○	○
예측	수학적 모델링	○	○	×
	시뮬레이션	○	○	○
	과거 실적자료	○	○	○

이러한 평가방법의 선정은 TPM 파라메타의 형태, 개발진도 등을 고려하여야 하며, 파라메타별 평가계획의 한 예로써 전원공급기의 경우를 Table 4에 나타내었다.

Table 4. 전원공급기 파라메타 평가계획

구 분	SDR	PDR	CDR	TRR	규격화
계획값(A)	10	10	10	10	10
허용값(A)	9~11	9~11	9.5~10.5	9.8~10.2	9.8~10.2
평가방법	수학적 모델링	좌동	좌동	시험	시험

* SDR(System Design Review), TRR(Test Readiness Review)

마. 성능 측정

TPM 계획 프로파일과 측정값의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 파라메타 측정값이 기대수준에 미치지 못할 경우에는 이에 대한 만회계획을 세워야 하며, 비용과 일정을 고려한 실행계획이 포함되어야 한다.

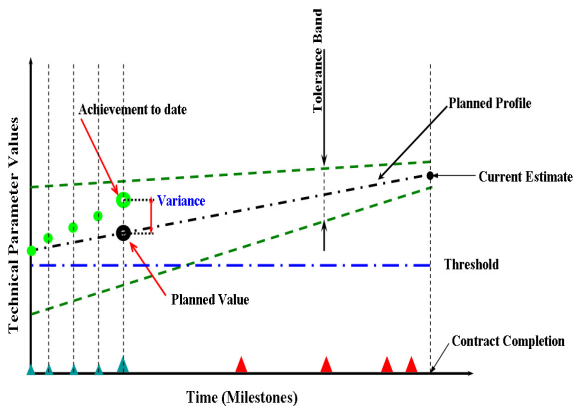


Fig. 3. TPM 계획 프로파일과 측정값의 관계

여기에서 허용범위(Tolerance Band)를 설정하는 것은 측정오차 및 기술적 수용 여유를 두어 의사결정을 지원하기 위함이며, 사업이 진행될수록 허용한계의 범위가 줄어드는 것은 개발이 진행됨에 따라 측정오차가 줄어들기 때문이다.

그림에서 측정값(Achievement to date)은 현 시점의 결과를 표시하여 경향을 추정 가능하게 하며, 개발완료시점 추정값(Current Estimates)은 사업 종료시점의 예상값으로 최종결과를 예측하게 한다.

바. 보고서 작성 및 검토

TPM 보고서는 성능관련 파라메타의 측정값, 계획값 및 측정값과 계획값의 차이에 대한 분석과 함께 개발

완료시점을 예상한 추정값 등을 포함하며, 각각의 파라메타별 보고서를 종합한 결과이다.

개발이 진행됨에 따라 기술관련 불확실성이 줄어들게 됨으로 계획 프로파일의 변경 여부를 결정하기 위해 TPM 보고서를 주기적으로 검토한다.

이러한 검토는 취약점을 극복하기 위해 예산 및 시간을 추가 투입하거나, 반대로 예산 및 시간을 절약하기 위해 업무범위를 축소하는 것을 포함한다.

4. 헬기개발 사업에서 TPM 적용

가. 헬기개발 사업의 특징

헬기개발 사업의 주관은 한국항공우주산업(주), 한국항공우주연구원, 국방과학연구소의 3개 개발주관기관으로 구성되어 있으며, 이 중 한국항공우주산업(주)이 체계종합업체로서 기본헬기통합, 시험평가, ILS 등의 업무를 수행하고, 국방과학연구소는 항전장비 분야를, 한국항공우주연구원은 엔진 및 로터 개발을 맡고 있다.

그러므로 성능관리는 구성품이 개발된 후 체계에 장착하기 전에는 각 구성품을 담당하는 개발주관기관별로 수행하며, 체계에 장착된 이후에는 체계종합업체인 한국항공우주산업(주)가 주관이 되어 수행한다.

또한, 국방과학연구소의 일부 부서는 기술관리기관의 임무를 수행하며, 각종 기술적인 분야의 검토와 자문역할을 수행한다^[10].

나. TPM 수행조직

TPM 수행을 위한 조직과 업무분장 내용을 Fig. 4에 나타내었다. TPM 파라메타와 계획 프로파일 작성 및 평가방법 정립은 구성품 수준의 경우 개발주관기관이, 체계 수준은 체계종합업체가 각각 수행하였으며, 아울러 체계종합업체는 설계변경에 따른 TPM 영향을 분석하였다.

특히, 체계종합업체는 각 개발주관기관에서 발생하는 설계변경 사항이 체계 및 요구성능에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 중점적으로 관리토록 하였다.

또한, 기술관리기관은 TPM 파라메타, 계획 프로파일 및 평가방법의 적절성을 검토 후 확정하였으며, 반기별 TPM 결과를 검토하여 사업단에 승인을 요청하였다.

즉, TPM은 성능관리를 위한 기술적인 사항이 대부

분인 관계로 기술관리기관에서 주기적인 검토를 수행
토록 업무분장이 되었으며, 최종적으로 사업단에서 이
를 통제하는 형태를 갖추었다.

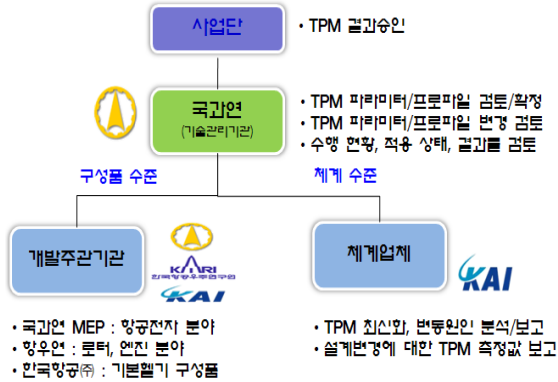


Fig. 4. TPM 수행조직과 업무분장

다. TPM 수행절차

TPM은 사업단, 기술관리기관, 개발주관기관 및 기
타 협력업체에서 각각의 절차에 따라 수행하며, 성능
에 주요한 영향을 미치는 사항은 사업단이 분석하여
향후 추진방향을 조정 · 통제하였다.

개발주관기관은 세부 이행계획서를 작성하여 기술
관리기관의 검토를 받아 사업단에 건의하였으며, 사업
단은 비용 및 일정과의 연계성을 확인 후 승인하였다.

세부 이행계획에 따라 개발주관기관은 성능에 영
향을 미치는 요소를 TPM 파라미터로 선정하고, 계획
프로파일과 함께 평가방법을 작성하여 기술관리기관 검
토 후 이를 확정하였다.

TPM 적용은 헬기 체계의 경우 주요 설계인자가 결
정되는 체계설계검토(SDR) 이후부터 시험평가 종료시
점까지 수행하였고, 주요 구성품은 요구조건 설정이
완료되는 기본설계검토(PDR) 이후부터 시험평가 종료
시점까지 실시하였다.

선정된 TPM 파라미터는 정의된 평가방법에 따라
측정시기 마다 해석 또는 시험에 의해 평가되었다. 평
가방법은 설계단계의 경우 계산 및 해석으로 실시하
였으며, 시제품이 제작된 이후에는 시험에 의해 측정
하였다.

라. 성능관련 측정요소의 파라미터 선정

헬기개발 사업의 성능관련 측정요소(MOE, MOP,
TPM)의 파라미터를 Table 5 나타내었다. 파라미터로

MOE 36개, MOP 53개, TPM 282개가 선정되었으며,
MOE 파라미터 1개에 평균 8개의 TPM 파라미터가 할
당된 것을 알 수 있다.

Table 5. 성능관련 측정요소 파라미터

구 분	MOE	MOP	TPM
계	36	53	282
한국항공	22	37	199
국과연 MEP단	1	1	19
항우연	13	15	64

MOE는 개발 요구사항과 체계규격서의 체계 요구사
항을 기준으로 선정하였으며, MOP는 개발규격서와
MOE로부터 식별하였다. 또한, TPM은 국산화 대상품
목으로 선정한 100대 구성품을 기준으로 하였으며,
MOE와 MOP를 달성하기 위한 체계의 파라미터를 포
함하였다.

성능관련 측정요소의 파라미터를 구조화하여 정리
하면 Fig. 5와 같다. 성능관련 측정요소의 파라미터들
간에 추적성이 유지되도록 아키텍처를 구성하였다.

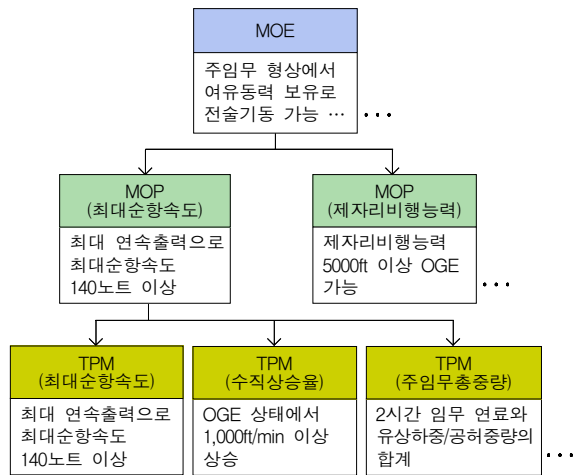


Fig. 5. 성능관련 측정요소의 파라미터 구조

마. 결과보고서 작성 및 분석

측정 시점별로 평가방법에 의해 파라미터를 측정하
였으며, 계획 프로파일 대비 불만족 측정값은 위험도
를 판단하고 별도의 만회대책을 마련하였다. 측정결과
의 한 예로써 블레이드의 중량에 대한 TPM 파라미터

결과보고서를 Fig. 6에 나타내었다.

그림과 같이 블레이드 중량은 최초에는 유사헬기 자료를 이용하여 계획 프로파일을 설정하였으며, 상세 설계 시점에서는 설계결과를 통해 유추하였다. 그러나 시제품 제작이후 실제 측정결과, 블레이드 허용중량 359.68kg에 대해 약 18kg 초과하였다.

이에 대한 대책으로는 로터 시스템의 전체 중량이 계획값(목표값)을 만족하고 있으므로 로터 시스템 내부 구성품들의 중량을 재할당하도록 하였으며, 주로터 블레이드의 중량을 377.71kg으로 계획 프로파일을 변경하여 문제를 해결하였다.

바. 기술성과측정 결과의 활용

헬기개발 사업은 EVMS와 TPM 결과를 바탕으로 위험요소 발생확률과 심각도를 분석하여 위험관리를 수행하였다. 이 위험관리 보고서에는 분기별 일정, 비용 편차를 포함하여 성능관련 위험요소에 대한 대책을 포함하고 있다.

체계 TRR 시점에 계획값(목표값)을 미충족하는 TPM 파라메타를 Table 6에 나타내었다. 총 282개의 TPM 파라메타중 3개의 파라메타가 미충족하였으며, 이에 대한 대책을 표에 제시하였다.

이와 같은 대책은 비용, 일정, 성능을 종합적으로 고려하여 도출한 결과이며, 사업관리자가 적기에 의사결정을 할 수 있도록 지원함으로써 위험을 관리하였다.

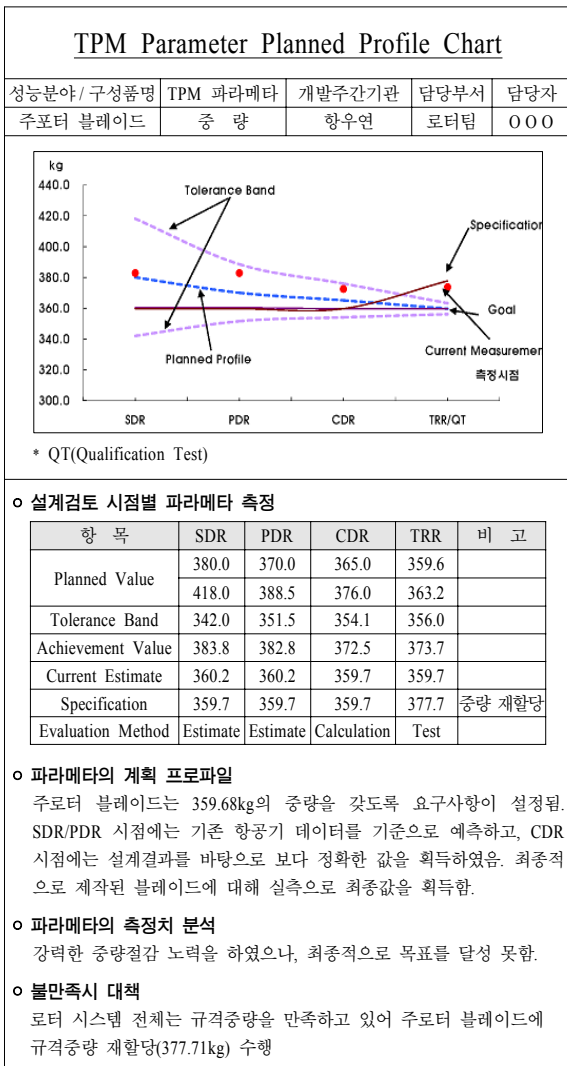


Fig. 6. 블레이드 TPM 파라메타 결과보고서

Table 6. TRR 시점에 목표값 미충족 파라메타

항목	개발완료시점		대책
	목표값	추정값	
주임무 중량	16,500lb	17,000lb	17,000lb를 대상으로 개발 규격서 충족여부를 확인 후, 충족시 계획 프로파일 수정
사수석 MTR	0.47H	0.5H	개발완료시까지 목표값 이내로 밀착관리
송풍기 송풍량	0.4kg/s	0.36kg/s	지상시험을 통해 체계역항성 확인후 계획 프로파일 수정

5. TPM 적용시 발전방안

국내 무기체계 연구개발로서는 최초로 헬기개발 사업에 TPM을 적용하였으며, 그 결과 사업의 위험관리 분야에서 많은 도움이 되었다. 그러나 타 사업에 적용 시 발전시킬 사항도 일부 있었으며, 이에 대해 다음과 같이 제안하고자 한다.

가. TPM의 체계적인 적용

사업초기부터 TPM에 의한 성능관리 개념의 적용이 요구되며, 이를 위해서는 업체에게 제안요구서 요청시 TPM 계획을 제출하게 하고, 평가하여야 할 WBS 수준을 제시하도록 하여야 한다.

또한, 기술성능에 관한 의사결정은 TPM을 통해 수행할 수 있도록 체계종합부서를 중심으로 프로세스화한다면, 개발간 빈번히 발생하는 설계변경에 있어서 유연한 대처가 가능하다.

나. TPM 파라메타와 요구사항 항목간 연계성 강화

TPM 파라메타 선정과 계획 프로파일 작성시 사용자를 참여토록 한다면 요구사항 항목과의 연계성을 높일 수 있다. 즉, 일부 정성적으로 표현된 요구사항의 경우 사용자의 명확한 운용개념에 의해 최적의 정량적인 파라메타로 변환이 가능하다.

이렇게 변환된 파라메타는 사업초기부터 사용자가 인지하게 함으로써 사업후기에 발생할 수 있는 혼란을 예방하고 이해관계자간 공감대를 형성할 수 있다.

또한, 정량적으로 설정이 곤란한 파라메타의 경우 여러 개의 이벤트를 설정함으로써, 개별 이벤트의 완료여부를 확인하는 방법으로 관리하는 노력이 필요하다.

다. EVMS-CAIV-TPM의 통합관리기법 강화

EVMS, CAIV, TPM은 모두 위험관리와 관련된 사업관리 기법으로 각각의 기법에서 도출된 결과는 높은 상관관계를 갖는다. 즉, 성능에 문제가 발생하게 되면 이를 조치하는 과정에서 일정과 비용에 관한 영향을 분석해야 한다.

또한 개발비용이 높아지게 되면 양산단가가 영향을 받게 되고 이에 대해 조치하는 과정에서 성능에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 위의 기법들은 독자적인 관리 보다는 통합적으로 관리를 하여야 하며, 이에 대한 통합관리기법의 발전이 요구된다.

6. 결론

최근 국내 연구개발 사업에 있어서 과학적 사업관리 기법의 적용에 대한 관심이 고조되고 있는 추세이나, 성능관리에 대해서는 매우 미흡한 실정이다.

성능관리를 위한 도구로써 TPM은 앞으로 달성해야 할 업무가 가용 예산과 일정 범위내에서 가능할 것이가를 검증하는 수단으로 활용이 가능하다.

따라서 비용, 일정, 성능을 분리해서 관리하기 보다는 이를 통합 관리하는 방향으로 발전해야 하며, 헬기

개발 사업은 이러한 측면에서 매우 중요한 의미를 가지고 있다.

즉, TPM을 수행할 전문화된 조직과 세부 수행절차를 구축하였으며, 총 282개의 TPM 파라메타를 선정하여 성능을 관리함으로써 사업의 기술적 위험을 저감시켜 성공적인 최초 국산헬기 개발에 기여하고 있다.

아울러, 이러한 과학적 사업관리 기법의 적용은 성공적인 사업관리를 위한 필요조건이지만 충분조건은 아님을 간과하지 말아야 하며, 각각의 사업특성에 맞게 최적화하여 적용하는 융통성이 요구된다.

Reference

- [1] Blanchard B. S., Fabrycky W. J., Systems Engineering and Analysis, Prentice Hall, New Jersey, 2006.
- [2] Blanchard B. S., Logistics Engineering and Management, Prentice Hall, New Jersey, 2008.
- [3] Department of Defense, Risk Management Guide for DoD Acquisition, DAU Press, Fort Belvoir, 2006.
- [4] Commander N. D., Pisano S. C., Performance Measurement, Earned Value, and Risk Management, PEO for Air ASW(<http://www.acq.osd.mil/pm/old/Old%20Papers/Papers%20-%20Govt/TPMs/tpm/nickpa so.htm>).
- [5] 김중명, SE기반 Project 기술성능관리 방안(K-55 탄운차 사업을 중심으로), 2007 시스템엔지니어링 추계심포지엄, pp. 115~121, 2007.
- [6] 최석, 박중용, 기술성과측정 실행방안 연구, 2007 시스템엔지니어링 추계심포지엄, pp. 111~114, 2007.
- [7] Mike Ferraro., Technical Performance Measurement - A Program Manager's Barometer, PM, pp. 14~20, 2002.
- [8] 유이주, 박영원, “국방연구개발 프로젝트의 기술적 성과 측정·분석 프로세스 구현방안과 도구개발”, 한국군사과학기술학회지, 제11권 제3호, pp. 76~88, 2008.
- [9] 방위사업청 시스템엔지니어링 가이드북 Version 1.0, pp. 9~13, 2007.
- [10] 방위사업청 KHP 사업관리 업무절차 “2-7. 기술성과측정 절차”, pp. 1~4, 2007.