



Received: 2024/02/15
Revised: 2024/02/26
Accepted: 2024/03/30
Published: 2024/03/31

***Corresponding Author:**

Byeong-Jun An

Tel: +82-55-540-6618

Fax: +82-55-540-6109

E-mail: navy0626@naver.com

Stephan 체계공학적 Method를 이용한 유·무인 항공기 탑재 함정 항공유 계통 시험평가 개선사례 및 개선방안

Improvement Method for Test & Evaluation of Aviation Oil System for Manned & Unmanned Aircraft Carriers Using Stephan Systematic Engineering Method

안병준*

해군 중령/국방과학연구소 해양기술연구원 1부 현역파견원

Byeong Jun An*

Commander, ROK Navy/Active dispatcher, Maritime Technology Research Institute-1st Directorate, Agency for Defense Development

1. 서론

함정은 수많은 개별 무기체계와 장비가 탑재 및 체계 통합되어 연동되는 복합무기체계로서 획득기간이 길고(약 10~20년), 획득비용도 높으며, 100~200여 개의 주요 장비 및 무기체계가 탑재 및 연동되는 등 높은 복잡도를 가지고 있다[1,2]. 함정은 그 특성을 고려하여 설계단계에서부터 총수명주기 동안의 함정 중량, 시스템 기능/효과 및 사양 등에 사용되는 작업분할구조를 적용하고 있는데 이를 함정작업분할구조(SWBS, ship work breakdown structure)라고 한다. SWBS의 그룹(group)은 선체구조, 기관장치, 무장, 의장 등을 말하며[3] 그중 본 논문에서는 유인 항공기를 탑재하는 대형 수송함정의 항공유 계통에 대해서 Stephan 체계공학적 문제 해결법을 통해 시험평가 방법을 개선하여 신뢰성을 저해하지 않으면서 항공유 불용을 최소화하여 예산을 절감한 사례를 소개하고 향후 유·무인 항공기 탑재 함정에 적용하기 위한 시험평가 개선방안을 연구하여 제시하였다.

Abstract

본 논문에서는 함정 시험평가 수행 중 항공유 계통(JP-5) 평가 간 발생한 현안 문제에 대해 독일 우주항공 센터 Stephan Langhans가 제시한 체계공학적 문제해결법을 적용하여 시험평가 개선 방안을 도출하였다. 이에 따라, 관계기관 간 입장 및 갈등을 조기에 해소하고 관련 규정 및 절차에 따른 조속한 문제 해결 및 결심으로 평가의 신뢰성을 확보하였다. 더불어 항공유 불용 최소화를 통해 예산 절감, 공정 지연 및 인도 지연 방지, 최종적으로 함정 전력화 일정 준수에 기여하게 된 해결 과정을 소개하고 향후 연구개발 및 평가 대상 함정에 대해 이를 적용하기 위한 시험평가 개선방안을 제시하였다.

In this paper, a plan to improve the T&E was derived by applying the systematic engineering problem solving method proposed by Stephan Langhans regarding the current issues that occurred between the evaluation of the aircraft oil system(JP-5) during the ship T&E. By minimizing the disuse of aviation oil, the solution process that contributed to budget reduction, process delay and delivery delay, and finally compliance with the Naval ship's acceptance schedule was introduced, and a plan to improve the T&E was presented to apply it to Naval ships subject to future R&D and evaluation.

Keywords

항공유(JP-5), 항공유계통(Aviation Oil system), 체계공학(SE), T&E(시험평가), 함정(Naval ship)

Acknowledgement

이 논문은 2024년도 한국해군과학기술학회 하계학술대회 발표 논문임.

2. 함정 항공유 계통 및 시험평가 내용

2.1 함정 항공유 계통

함정은 주로 헬기를 탑재하므로 함정의 경우 항공유는 J-5를 의미한다. 헬기를 운용하기 위한 함정 항공유 계통은 수급계통(함정 내 항공유 저장탱크에 항공유를 급유 및 저장), 이송계통(항공유 저장탱크로부터 항공유를 흡입하여 여과기/수분분리기를 통해 수분 및 불순물을 제거 후 항공유 공급 탱크로 이송), 공급계통(여과 분리된 항공유를 항공유 공급 탱크로부터 항공기 등의 소요처로 공급), 스트리핑 계통(항공유 저장탱크, 항공유 공급탱크 및 항공유 드레인 탱크의 오염된 잔류유 배출), 회수계통(항공기 등의 각 소요처로부터 항공유를 회수)으로 분류된다[4].

2.2 함정 항공유 계통 시험평가

항공유 계통 시험평가는 함정마다 DT/OT 계획서의 내용이 대동소이하나, 일반적으로는 탑재능력으로서 항공유 저장탱크(용량) 확인, 탱크 레벨 지시기 기능 및 ECS(통합기관제어체계) 연동, 항공유 수급/이송/공급기능(펌프 및 배관) 항공유 관련 헬기 지원설비(비행갑판 및 격납고의 급유소 및 급유호스) 등이 제 기능을 발휘하도록 구비되었는지에 대한 여부를 평가한다.

3. 항공유 계통 시험평가시 발생 현안

3.1 현안 개요

항공유 계통 평가는 항공유 수급으로부터 시작된다. 항공유 조달을 통해 항공유가 수급되면 항공유 탱크 측심(sounding)을 통한 저장용량 확인, 항공유 탱크의 유준(tank level)을 측정하는 레벨지시기의 기능을 테스트하고, 운용자가 원격으로 확인 가능하도록 ECS와의 연동 여부를 점검하며, 항공유 수급/이송/공급 계통의 펌프 및 배관 등 제반 장비 및 설비가 제대로 작동하도록 준비작업인 STW(setting to work)를 수행하는데 이는 체계 연동 및 통합 작업의 일환이라고 할 수 있다. 실적함의 탱크 측심 및 레벨지시기 기능 테스트는 평가 신뢰성 제고를 위해 해당 탱크에

유류를 90 % 이상 채운 뒤에 실시하는데, 시험평가 대상 함정인 ○○○함의 경우 운용개념의 특성상 특정 항공유 저장탱크(No. 1)의 용적이 상당히 커서 (Table 1 참조) 시험평가를 위해 해당 탱크에 JP-5 항공유를 90 % 수준으로 채웠을 때 약 45만 리터가 소요된다.

문제는 함정용 JP-5는 항공기 감항성 확보 차원에서 규정상 시효성 유류로 분류되어 사용기한이 6개월이며, 이후에는 항공유의 기능을 상실하는 것으로 간주된다는 것이다. 또한 일단 한번 탱크에 수급한 이후에는 사전 탱크 소제 여부와 관계없이 불순물 포함 가능성에 대한 우려로 인해 항공기에 재사용할 수 없다. 당시 유가로 환산 시 JP-5는 균계약 단가 기준이 ○○○○₩\L로 가장 큰 No. 1 항공유 저장탱크에 대한 저장용량 확인 및 탱크 레벨지시기 기능/연동 평가에 필요한 90 % 용량인 45만 리터를 조달하기 위해서는 방사청 예산(국세) 약 5억원을 지출해야 하고 시험평가 후에는 전량 폐기해야 하는 상황이었다(폐기 비용 별도). 또한 항공유 계통 평가뿐만 아니라 연달아 계획된 헬기 탑재 및 지원설비 평가 및 혹한기/혹서기 평가를 수행해야 하므로(해당 시기를 놓치면 사업기간 초과 및 함정 전력화 일정에 차질) 본 현안은 해결이 시급한 상황이었다.

Table 1. JP-5 Tank volume

Tank	Volume (m ³)
No. 1 JP-5 Storage Tank	500
No. 2 JP-5 Storage Tank	90
No. 1 JP-5 Service Tank	35
No. 2 JP-5 Service Tank	35
JP-5 Overflow Tank	18
JP-5 Drain Tank	18

3.2 관련기관별 입장

계약특수조건 및 운용시험평가 계획서에 따라 시험평가를 위해 항공유를 조달해야 하는 방사청은 함건조 주관기관의 의견을 수립하여 국가 예산 절감, 적기 항공유 입고를 통한 공정지연 방지 및 전력화 일

정 준수를 위하여 simulator를 이용한 방법(센서로부터 신호를 전송받아 ECS로 신호를 전송하는 junction box에 가상 신호를 주입하는 시험)을 최초로 제안하였으나, 평가 수행 부서에서는 평가의 신뢰성을 확보할 수 없다는 반응을 보여 의견 수렴이 되지 않고 갈등상태에 있었다.

4. 현안 해결 method

의견이 첨예하게 대립하며 시간만 지체되는 답보상태가 이어지자 본 현안에 대한 실무 검토회의가 개최되었으며 시험평가단에서는 사전 검토 시 현안 해결 Method를 적용하였는데 바로 Fig. 1과 같은 Stephan Langhans의 체계공학적 문제해결법이였다[7]. 이는 독일 우주항공센터가 제시한 방법으로 공학적 현안 발생 시 목표를 설정하여 문제점을 분석하고 상충되는 가치에 대한 trade-off study를 통해 합리적 해결방안을 도출하는 체계공학적 문제해결 방법이다.

Table 2는 ○○○함 항공유 계통 시험평가 현안을 검토 및 해결하기 위해 적용한 method 및 절차를 나 타낸다.

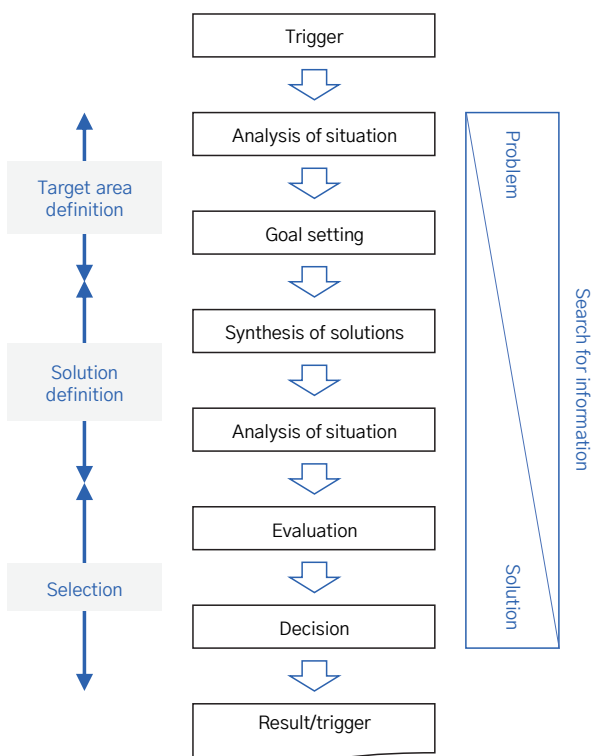


Fig. 1. Problem solving in systems engineering

Table 2. Application of method (1)

Stage	Application
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> Selection of aviation oil warehousing for the evaluation of aviation oil systems
Analysis of situation	<ul style="list-style-type: none"> JP-5: Prescription oil (disposal after evaluation) Prevent process delays and comply with acceptance schedules due to timely warehousing Reduce national budget vs secure (confrontation) evaluation reliability
Goal setting	<ul style="list-style-type: none"> Timely air oil receiving and evaluation by resolving current issues
Synthesis of solutions	<ul style="list-style-type: none"> Securing the reliability of the evaluation: Analysis of the evaluation procedure Minimization of aviation oil warehousing: securing reliability of evaluation and deriving improvement procedures to minimize the amount of aviation oil warehousing
Analysis of solutions	<ul style="list-style-type: none"> Analysis of assessment procedures Analysis of storage tank shape (with internal members) <ul style="list-style-type: none"> Storage tank geometry: side curvature, sunbottom gradient In-tank members (sensors, piping, members, etc.) Whether the deduction rate is within 1 % of the tank capacity margin Analysis of shape and operation principle of tank level measurement sensor <ul style="list-style-type: none"> Sensor type: floating or diving Sensor operating principle <ol style="list-style-type: none"> The floating type indicates the level of the floating object according to the height of the floating object The submersible type measures changes in oil pressure and transmits electrical signals How to verify the performance of sensors and ECS interworking: FAT, actual JP-5 supply and demand, and check the performance Research of improvement measures

*Evaluation, decision, result: refer to Table 3.

4.1 Trigger, analysis of situation, goal setting

3장 ‘항공유 계통 시험평가 시 발생 현안’ 참조.

4.2 Synthesis of solutions

방사청과 함 건조 주관기관에서 제시한 simulator (가상신호기)를 이용한 평가방안은 JP-5를 저장탱크 내에 수급하지 않은 상태에서 simulator를 이용, 가상 신호를 주입하는 방법으로 탱크의 JP-5 저장용량, 실제 JP-5 저장 시 유준 계측 센서 성능 검증 등이 제

한되어 평가의 신뢰성을 보장할 수가 없었다. 신뢰성 보장 측면에서 가장 확실한 방법은 탱크 내 JP-5를 90 % 수준까지 단계별로 채워가면서 평가하는 것이지만 이를 위해 시효성 품목인 JP-5를 약 5억원 국세로 조달하여 한번 쓰고 폐기하는 것도 무리한 상황이었다. 따라서 문제해결 방안의 종합 개념은 ① 평가 절차 분석을 통한 신뢰성 확보, ② 평가의 신뢰성을 확보하면서도 JP-5 입고량 최소화가 가능한 개선 절차 도출로 방향을 설정하였다.

4.3 Analysis of solutions

4.3.1 평가 절차 분석

항공유 계통은 수급, 이송, 공급, 스트리핑, 회수의 5개 계통으로 구분되나, 현안은 수급 계통의 JP-5 저장에 관련된 문제이므로 탱크 저장 및 유준 측정, 레벨지시기 기능 및 ECS 연동에 대한 평가절차를 분석하였으며 자세한 내용은 Fig. 2와 같다.

탱크 레벨 계측 시 레벨은 통상 센서 하부의 계측 불가 구간인 dead zone부터 시작하여 해당 탱크 용량의 30 %, 50 %, 90 %를 기준으로 탱크 측심(tank sounding, 엔진오일 점검과 유사한 방법)을 통해 계측한 실제값과 레벨지시기 값을 비교하여 오차 범위 (2 %) 내에 있는지 여부를 평가한다.

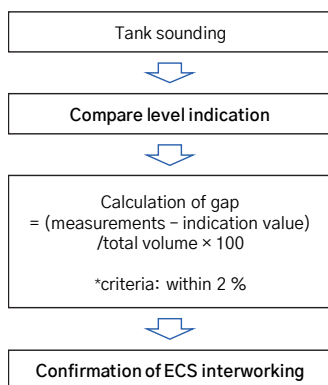


Fig. 2. Test procedure of JP-5 storage system

4.3.2 JP-5 저장탱크 형상(내부 부재 포함) 분석

○○○함의 경우 No. 1 JP-5 저장탱크 형태는 선체의 일부로서 선체형 탱크(hull tank)이자 직사각형 상으로 곡률이 없어 높이에 따른 단면 변화가 없으

며, 탱크 내 부재(센서, 배관, 케이블 등)는 센서 외에는 없어 탱크 내부 부재가 차지하는 용적률은 공제율은 1%(탱크 용량 여유률) 이내임을 확인하였다. 이는 레벨지시기 시험에 있어서 초기시험에서 정상 신호가 나오면 이후 시험에서 오류 발생 확률이 매우 낮음을 의미한다.

4.3.3 JP-5 저장탱크 형상(내부 부재 포함) 분석

No. 1 JP-5 Storage Tank 레벨지시기 센서의 형태는 유류의 표면에 부유하며 유준의 높이 변화에 따라 상하 방향으로 오르내리는 부유형(floattype)이 아닌 잠수형(submerged type)이며 탱크 선체 격벽을 관통하여 설치하는 관통형 센서이다. 이러한 잠수형 센서는 유류량의 증감에 따른 미세한 압력 변화를 계측하여 전기적 신호로 전송하며, 이를 main control cabinet은 ECS에서 인식 가능한 형태의 신호로 변환하여 ECS에 전송한다.

4.3.4 센서 및 ECS 연동 성능 검증 방법

센서의 성능은 입고되기 전 FAT(factory acceptance testing, 공장수락검사) 성적서를 통해 1차적으로 검증되며, 이후 입고 및 설치 검사, 함진조 주관기관의 성능 테스트를 거쳐 시험평가를 하게 된다. ECS 연동은 센서의 성능이 검증되고 센서에서 main control cabinet을 거쳐 ECS로 이어지는 신호 전송 과정에 이상이 없다면 성능이 입증된다. 하지만 장비/설비의 고장은 FAT 이후 함정에 설치된 상태에서도 흔하게 발생하며, 시험평가 측면에서 센서가 JP-5의 용량을 실제값에 맞게 계측하는지의 여부는 센서 상부의 유준까지 JP-5를 수급하여 압력의 미세한 변화를 센서가 올바르게 감지하는지를 실제값과 비교해야 비로소 검증이 완료된다.

5. 항공유 계통 시험평가 개선방안 및 효과

5.1 개선방안 연구 및 도출

5.1.1 센서 평가를 위한 JP-5 수급 최소량 검토

개선방안을 도출하기 위하여 JP-5 실제 수급으로

센서 성능을 확인할 수 있는 항공유 최소량을 검토한 결과 No. 1 JP-5 Storage Tank에 대해 바닥으로부터 JP-5가 30 % 유준일 때 센서가 저유경보(low pressure alarm)를 발신하도록 되어있는 점을 고려할 때 30 %가 평가를 위한 최소량임을 확인하였다.

5.1.2 시험평가 신뢰성 제고 방안

No. 1 JP-5 Storage Tank의 30 % JP-5 용량만 사용하여 평가할 때, 비록 탱크 부재 공제물상 문제가 없고 바닥 구배가 없는 형상이라고 해도 나머지 70 % 범위에 대해서는 실제 측정(sounding) 값과 센서 계측값의 비교가 불가능하므로 정확한 확인이 제한된다고 판단하였다. 따라서 오차 발생 요인을 최소화하고 평가 신뢰성을 제고하기 위해 30 % 유준에서의 시험평가 외 dead zone(바닥으로부터의 센서 설치 높이 0.025 m, 용량 3.2 % = 약 15 m²) 상부 유준에 대해서 5 % 단위로 세분화하여 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %에서의 평가를 추가하면 개선될 것으로 판단하였다. 센서 FAT 성적서를 통해 센서 성능을 확인할 수 있으므로 30 % 이상의 30 %, 50 %, 90 % 구간은 simulator를 이용하여 확인해도 측정값에 대한 신뢰성 제고가 가능하다. 나머지 탱크는 서로 연결되어 JP-5를 순환시킬 수 있으므로 Table 1에 나타낸 바와 같이 잔여 5개 탱크의 크기(약 18 m² - 90 m²)를 고려할 때 No. 1 JP-5 Storage Tank의 30 % 용량 170 m² (약 17만 리터)를 이용하면 나머지 다른 탱크로 순환시켜 90 % 유준까지 채워 평가하는 기존 실적함 평가 방법을 적용할 수 있게 되어 평가의 신뢰성에서 전혀 문제가 되지 않는다는 것을 확인하였다.

5.2 Evaluation[9]

방사청의 I급 기술변경(안) 실무 검토회의(2019. 12. 8.)에서 Table 4에 나타낸 내용을 검토한 결과, No. 1 JP-5 Storage Tank의 30 % 유준 이하에서 5 % 단위로 세분화한 평가를 수행하였을 때 JP-5의 변화량이 다른 4개 탱크의 20 % 단위평가 시 JP-5의 변화량보다 더 큰 것을 확인하였는데, JP-5의 변화량은 탱크 레벨 지시기 센서에 작용하는 압력의 차이를 의미하므로 No. 1 JP-5 Storage Tank에 대한 5 % 단위 세분화 평가가 신뢰성 측면에서 문제가 되지 않음

을 확인하였다. 실무 검토회의 시 참석한 관계기관 모두 개선방안에 대해 공감하고 동의하여 이를 형상통제심의회 안건으로 상정하기로 결론을 도출하였다.

5.3 Decision & result[10]

계약특수조건 및 방사청 표준화 업무지침 등 관련 제 규정에 따른 절차로 본 개선방안을 형상통제심의회 안건으로 상정하여 심의한(2019. 12. 19.) 결과 전원 동의하에 개선방안에 따라 시험평가를 수행하기로 결정하였으며, 일련의 평가들을 이상 없이 적기에 진행하였다.

Table 3. Application of method (2)

Stage	Application
Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> Working-level review meeting on the technology change (draft) (2019. 12. 8.)
Decision	<ul style="list-style-type: none"> The 19th-8th Shape Control Council (2019. 12. 19.)
Result	<ul style="list-style-type: none"> Perform evaluation in a timely manner (aviation oil system evaluation, helicopter mounting and support facility evaluation, and cold/hot season evaluation in a timely manner)

5.4 개선방안의 효과

5.4.1 예산적 측면

이상과 같이 시험평가 방법 개선을 통해 오차 발생 가능성을 현저히 줄여 신뢰성을 확보하면서도 국가 예산을 효율적으로 사용함으로써 ○○○함 시험평가 용 JP-5 획득 조달 예산 ‘시험유류비’ 약 3억원을 절감하였다. 또한 이후 계획된 평가대상 함정(2023년 잠수함구조함(ASR)-II TEMP, 울산급 Batch-II 2~8번 함 BT/AT)에도 적용되었으며, 함정사업 전반적으로 JP-5 불용이 최소화되어 예산 절감 효과가 증대되었음은 물론 개별 탱크로의 유류 수급에 소요되는 시간을 단축하여 시험평가 시간도 단축시킬 수 있었다.

5.4.2 공정 및 전력화 측면

현안 해결을 위한 Stephan 체계공학적 method를

Table 4. JP-5 gap comparison by capacity classification for 5 tanks

Tank	Volume (m ²)	Design value			Gap to upper cell (m ²)
		%	Volume (m ²)	Height (m)	
No. 1 Storage	500	Dead zone	11.7950	0.025	-
		5	24.9765	-	13.1815
		10	49.9530	-	24.9765
		15	74.9295	-	24.9735
		20	99.9060	-	24.9765
		25	124.8825	-	24.9225
		30	149.8590	1.080	24.9765
		50	249.7650	1.800	99.9060
		70	349.6710	2.520	99.9060
		90	449.5770	3.240	99.9060
		100	449.5300	3.600	49.9530
No.2 Storage	90	Dead zone	2.6070	0.105	-
		30	26.8150	1.080	24.208
		50	44.6920	1.800	17.877
		70	62.5690	2.520	17.877
		90	80.4460	3.240	17.877
		100	89.3850	3.600	8.9390
No.1 Service	35	Dead zone	1.3710	0.135	-
		30	10.9700	1.080	9.599
		50	18.2830	1.800	7.131
		70	25.5970	2.520	7.314
		95	34.7380	3.240	9.141
		100	36.5670	3.600	1.829
No.2 Service	35	Dead zone	1.3710	0.135	-
		30	10.9700	1.080	9.599
		50	18.2830	1.800	7.313
		70	25.5970	2.520	7.314
		95	34.7380	3.240	9.141
		100	36.5670	3.600	1.829
Over flow	18	Dead zone	0.5570	0.160	-
		30	5.8470	1.150	5.290
		50	9.7480	1.880	3.901
		70	13.7020	2.620	3.972
		90	17.6030	3.350	3.901
		100	19.5440	3.713	1.941
Drain	18	Dead zone	0.6110	0.370	-
		30	5.8470	1.150	5.246
		60	11.8250	2.250	5.878
		85	16.6120	3.165	4.887
		100	19.5440	3.713	2.932

Table 5. Improvement of aerial oil system in naval ship research and development

Stage	Improvement
Presentation and reflection as military requirements	<ul style="list-style-type: none"> TLR (or ORD), TLS (or SSDD), and shipbuilding specifications reflect revision of naval ship design/building standards
Improvement measures are reflected in all plans and special contract conditions related to test & evaluation	<ul style="list-style-type: none"> Reflecting plans related to special oil in the special conditions of the contract Reflect restrictions due to special oil in TEMP and DT/integrated test/OT plans
Revised ship design/construction standards	<ul style="list-style-type: none"> General placement application guidelines: size distribution of aviation oil tanks in general placement, on-site and ship floor avoidance design, so that the tank shape does not have rectangular and floor gradients Tank placement and capacity calculation criteria: arrangement and shape of the aviation oil tank shape in a rectangular shape so that the size of the specific aviation oil tank is not excessively biased and large Tank alert level design guidelines: reflecting the shape and functional requirements of the aviation oil tank level indicator, minimizing the deduction rate by minimizing the absence of the tank
Consideration of improvement measures for ship R&D (design/construction)	<ul style="list-style-type: none"> In accordance with TLR (or ORD), ship design/construction criteria are revised in the initial design to determine the size distribution, general placement, and shape of the aviation oil tank Minimize deduction rate in basic design and select type of level indicator sensor Detailed design and built-in specifications according to TLS (or SSDD) and built-in specifications

적용함으로써 신속하고 면밀한 분석 및 적기 검토를 통해 관계기관 간 입장 갈등을 조기에 해소하였다. 더불어 계약특수조건 및 방사청 표준화 업무지침 등 관련 규정/절차에 따른 조속한 문제해결 및 결실을 통해 JP-5가 적기 조달됨에 따라 연달아 수행되는 항공유 계통(수급, 이송, 공급, 스트리핑, 회수) 평가, 헬기 탑재 및 지원설비 평가, 흑한기 평가 적기 수행(흑서기 평가 적기 수행 가능)으로 공정 및 인도 지연을 방지하였고, 함 전력화일정을 준수할 수 있었다.

6. 함정 연구개발 시 항공유 계통 개선 방안

향후 유·무인 항공기 탑재 대형 수송함정 등 평가대상 함정 연구개발(설계/건조) 시에도 본 논문에서 제시한 개선방안을 적용하여 시험평가에서 발생하는 현안 문제 발생을 미리 방지할 수 있도록 Table 5와 같은 개선 방안을 제시하였다.

7. 결론

본 논문에서는 함정 시험평가 수행 중 항공유 계통(JP-5) 평가 간 발생한 현안 문제에 대해 Stephan

Langhans의 체계 공학적 문제 해결법을 실제 함정에 적용하여 시험평가의 신뢰성을 실증하였다. 더불어 항공유 불용 최소화로 예산 절감을 절감할 수 있는 효과를 확인하였다.

우크라이나 전쟁에서와 같이 현대전에서는 4세대 혁명으로 많은 수의 유·무인 항공기 전력을 장거리 투사하는 양상이 확대되고 있다. 이러한 많은 유·무인 전력을 함정에 탑재, 운용함에 있어서 제한된 함정 공간에 많은 양의 항공유를 탱크에 저장, 운용해야 하는 소요는 대폭 증가할 것이다. 따라서 본 논문에서 제시한 개선 방법을 적용할 경우 항공유 불용 최소화를 통한 예산 절감 효과가 더욱 증대될 수 있을 것이므로 이를 효율적으로 확대 적용하기 위한 후속 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Millard S. Firebaugh, 2001, eBusiness Knowledge Fair, 2001. 8. 30.
- [2] 김태훈, 2019, 함정 획득사업 특성이 고려된 제도 개선 및 SE Process를 고려한 효과적 함정 획득절차 연구, 시스템엔지니어링 춘계학술대회
- [3] 함정 설계/건조기준 “함정작업분할구조 적용 기준 [조함(수)-기-

0-022(1)”, 2019. 3. 20. 개정

[4] 함정 설계/건조기준 “항공유 계통 설계 지침 [조함(수)-실-5-002(2)”, 2019. 3. 20. 개정

[5] 해군본부, 2019, 대형함 항공유 적재기준 검토결과 [19년 해군 경영효율화 과제]

[6] (주)Haein, 해인파 제2019-1114-2호(2019. 11. 14.) S139 JP-5 (20%) 혼합 연료 사용 가능성 검토결과 [추진기관 제작사 공문]

[7] Stephan Langhans, Volker G. and Eike S., 2008,

A Holistic Approach to Evaluate the Airtransportation System, Conference: 26th ICAS 2008.

[8] 함정 설계/건조기준 “탱크 배치 및 용량 계산 기준 [조함(수)-기-0-017(3)”, 2019. 3. 20. 개정

[9] 방사청 000팀-1585호(2019. 12. 2.) ○○○함 I급 기술변경(안) 실무검토회의 계획 통보

[10] 방사청 000팀-2030호(2019. 12. 20.) ○○○함 '19-8차 형상통제심의회 결과 통보