



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사학위 청구논문

2023학년도

시스템 통합 관점의 복합 무기체계
기술성숙도 평가 프레임워크
개선에 관한 연구

Improved Technology Readiness Assessment Framework
for Complex Weapon System
from System Integration Perspective

광운대학교 대학원

방위사업학과

구 지 인

시스템 통합 관점의 복합 무기체계
기술성숙도 평가 프레임워크
개선에 관한 연구

Improved Technology Readiness Assessment Framework
for Complex Weapon System
from System Integration Perspective

광운대학교 대학원

방위사업학과

구 지 인

시스템 통합 관점의 복합 무기체계
기술성숙도 평가 프레임워크
개선에 관한 연구

Improved Technology Readiness Assessment Framework
for Complex Weapon System
from System Integration Perspective



지도교수 정 석 재

이 논문을 공학 박사학위 청구논문으로 제출함.

2023년 12월 일

광운대학교 대학원
방위사업학과
구 지 인

구지인의 공학 박사학위논문을 인준함

심사위원장 손 채 봉 인

심 사 위 원 김 장 엽 인

심 사 위 원 박 종 재 인

심 사 위 원 박 찬 봉 인

심 사 위 원 정 석 재 인

광운대학교 대학원

2023년 12월 일

감사의 글

“지금 뭐하냐? 박사 마무리는 안할거냐? 아무개는 박사가 되었단다.” 어떻게 아셨을까? 내가 이제야 숨을 쉴 수 있을 만큼 조금의 여유가 생겼다는 걸, 기나긴 3년간의 프로젝트를 마무리하고 기진맥진한 몸을 집에서 추스르고 있을 무렵, 올해 초 나에게 걸려온 전화 한통은 한해의 계획을 송두리째 바꾸어 놓았다. 아마도 그 전화가 없었다면 지금 현재의 나는 없었을 것이다. 한편으론 선배가 부럽기도 하고 Course Work을 끝내고 약 7년이 지난 지금 “과연 내가 해낼 수 있을까?”라는 스스로의 의구심이 나를 억눌렀다. “올해 하지 못하면 영영 없을 거야!”라는 으름장과 함께 “다시 박사”에 트리거를 날려주신 제 인생의 멘토 박종재 교수님 진심으로 감사드립니다. 또한 교정 운영으로 너무나 바쁘신 와중에도 시간을 내어 다양한 관점을 제시하여 논문의 품질을 높여주시고 해외 저널에 도전하도록 격려해주신 정석재 교수님 진심으로 감사합니다. 두분께서 던져주신 화두로 새로운 아이디어와 방향을 고민할 수 있었고 지금의 논문이 완성되었습니다. 두분은 진정한 스승님이십니다.

그리고 여전히 부족함이 많은데도 불구하고 심사를 이끌어 주신 손채봉 교수님, 논문 심사과정에서 완성도를 높여주신 김장엽 교수님과 박찬봉 교수님께도 감사드립니다. 논문 작성과 연구 과정에서 틈틈이 궁금증을 친절하게 해소해 주신 권재국 박사님께도 지면을 빌어 감사드립니다. 또한 In-depth 인터뷰에 참여하여 객관적 평가와 다양한 의견을 보내주신 국방전문가님들께도 감사드립니다.

끝으로 “당신이니까 할 수 있어”라고 늘 곁에서 응원해준 사랑하는 아내 정경화 여사와 항상 아빠에 대한 따뜻한 지지를 아끼지 않았던 귀염둥이 딸 구정연 양에게도 이 글을 빌어 감사의 마음 전합니다. 감사합니다.

국문 요약

시스템 통합 관점의 복합 무기체계 기술성숙도 평가 프레임워크 개선에 관한 연구

4차 산업혁명 시대에 무기체계는 지능화, 무인화 및 복합 체계화되고 있다. 한국의 무기체계 획득 정책은 국내 연구개발과 상용품 구매를 우선으로 추진하고 있다. 기술성숙도 평가는 현재의 국내 기술 수준을 정량적으로 평가하여 국내 연구개발 가능성에 대한 판단과 위험관리를 위한 핵심 도구로 활용되고 있다.

2000년대 초반 도입된 국내 TRA(Technology Readiness Assessment) 제도는 무기체계 연구개발 사업에 적용되어 국내 환경에 적합하도록 지속 개선되었다. 하지만 현재의 TRA는 하드웨어 중심의 TRL(Technology Readiness Level)을 활용하기 때문에 개별기술의 독립적 평가에는 적합하나 체계관점의 평가에는 한계가 있다. 또한 모호한 문구를 포함한 체크리스트 방식의 평가는 주관적 평가 개입 가능성이 크다. 이러한 한계 극복을 위해 통합성숙도(IRL, Integrated Readiness Level)와 체계성숙도(SRL, System Readiness Level)에 대한 연구가 진행되었지만 제도화되지는 못했다.

본 연구는 시스템 통합 관점에서 TRA 절차와 기준을 재정의하고 개선된 TRA 프레임워크를 제안한다. 제안 프레임워크를 통해 현재의 TRL과 TRA가 가진 한계를 극복하고 좀 더 쉽고 직관적인 평가가 가능하도록 하였다.

개선된 프레임워크에서는 주요 ROC(Required Operational Capability) 정량목표, 기술 난이도 및 COTS(Common Off The Shelf) 적용 여부를 CTE

(Critical Technology Element) 선정 프로세스에 반영했다. 개선된 CTE 선정 방법은 주관의 개입을 최소화하고 상용품 우선 정책에도 부합되는 장점을 가진다. 또한, 시스템 통합 관점을 적용하여 HW, SW 및 IF 측면에서 CTE와 TRL을 구분하고 3가지 관점에서 TRA를 수행하도록 한다. 개선된 TRA 방법은 체계공학 기반의 연구개발에 익숙한 전문가에게 쉬운 접근법을 제공하고 좀 더 체계적인 방법론을 제공한다. 시스템 수준의 기술성숙도는 위험관리에 비중을 두어 가장 낮은 기술성숙도를 활용하도록 하였다.

본 TRA 프레임워크는 전문가 In-depth Interview를 통해 보완되었고 3개의 Case Study를 통해 그 활용성을 확인하였다.

본 연구는 시스템 통합 관점에서 현재의 TRA 방법론을 개선하는 새로운 시각을 제공한다. 제안된 프레임워크의 지속적인 수정, 보완을 통해 좀 더 쉽고 직관적인 TRA 방법론으로 발전되어 제도에 정착될 수 있는 계기가 되길 바란다.

Abstract

Improved Technology Readiness Assessment Framework for Complex Weapon System from System Integration Perspective

In the era of the 4th industrial revolution, weapon systems tend to become intelligent, unmanned, and system of systems (SoS). Korea's weapons system acquisition policy prioritizes domestic R&D and purchase of commercial products.

The technology readiness assessment (TRA) of the military of the Republic of Korea quantitatively assesses the current level of domestic technology and is a key tool in determining potential in domestic R&D and performing risk management.

The domestic TRA system, introduced in the early 2000s, was applied to weapons system R&D projects and continuously improved to suit the domestic environment. As the current TRA utilizes hardware (HW)-oriented technology readiness levels (TRLs), it is suitable for independently assessing individual technologies; however, it has limitations in terms of evaluation from a system integration perspective. Additionally, checklist-based assessments are highly likely to involve subjective evaluations, which may offer limited quantitative insights.

In order to overcome these limitations, research on integrated readiness

level (IRL) and system readiness level (SRL) was conducted, but it was not institutionalized.

This study proposes an enhanced TRA framework in which TRA procedures and criteria are redefined from the system integration perspective of systems engineering. We focused on developing a framework that can overcome the limitations of the current TRL and TRA frameworks and enable easier and more intuitive assessments.

The proposed CTE selection method minimizes external evaluator interventions by considering the quantitative objectives of the key required operational capabilities, development difficulties, and applications of commercial off-the-shelf technologies. The improved CTE selection method has the advantage of conforming to the commercial product priority policy.

The proposed framework distinguishes between a technology element and critical technology element (CTE) in terms of HW, software (SW), and interface (IF) and also redefines TRLs. Under this framework, TRA is performed according to TRLs that are redefined in terms of HW, SW, and IF.

The improved TRA method provides an easy approach for experts familiar with systems engineering-based R&D and provides a more systematic methodology. The lowest evaluation value is used as the system maturity level for risk management considerations.

This TRA framework was supplemented through expert in-depth interviews, and its effectiveness was confirmed through three case studies.

These study provide a new perspective to improve the current TRA

methodology in terms of system integration. It is hoped that the proposed framework will be developed into an easier and more intuitive TRA methodology through continuous revision and supplementation, and be settled in the system.



차 례

국문요약	i
영문요약	iii
차 례	vi
그림차례	viii
표 차례	ix
I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적 및 범위	3
3. 논문의 구성	4
II. 이론적 고찰	5
1. 획득 정책 및 TRA 제도	5
1.1. 국내 연구개발 중심 획득 정책	5
1.2. 국내 기술수준 평가를 위한 TRA 제도	7
1.3. SE 기반 시스템 통합 관점의 무기체계 개발	13
1.4. 정책 및 제도 측면의 시사점	21
2. 선행연구 고찰	23
2.1. 해외 선행연구	23
2.2. 국내 선행연구	36
2.3. 선행연구 시사점	40
3. 연구방법 고찰	42
III. 연구모형 설계	45

1. 연구절차 및 방법	45
2. 문제 제기	47
2.1. 시스템 통합 관점의 CTE 선정 측면	47
2.2. 시스템 통합 관점의 TRL/TRA 측면	48
3. 시스템 통합 관점의 TRA 프레임워크	50
3.1. TRA 프레임워크 개요	50
3.2. 시스템 통합 관점의 CTE 선정 모델	53
3.3. 시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가 모델	63
3.4. 기존 프레임워크와 차이점	73
IV. 실증 분석	78
1. Case Study	78
1.1. TSS 체계	78
1.2. CTE 선정	80
1.3. TRA 수행	92
1.4. Case Study 결과	96
2. 전문가 In-depth Interview	98
2.1. 인터뷰 수행	98
2.2. 인터뷰 결과 종합	99
V. 결론	103
1. 연구 결과 요약	103
2. 정책적 제언	107
VI. 참고문헌	108

부록. Case Study 추가 수행 내역

그림 차례

[그림 1] 무기체계 획득 절차	6
[그림 2] TRA 수행 대상	10
[그림 3] TRA 수행 절차	11
[그림 4] 무기체계 연구개발 단계	13
[그림 5] 무기체계 연구개발 단계별 연구개발 수명주기	14
[그림 6] 복합체계(SoS)의 구조	18
[그림 7] 체계통합 대상 및 주요 활동	19
[그림 8] 미 국방부의 TRL 지표	24
[그림 9] IRL(Integration Readiness Level) 지표	26
[그림 10] SRL(System Readiness Level) 지표	26
[그림 11] AD2(Advanced Degree of Difficulty) 지표	28
[그림 12] 미 국방부의 CTE 정의	30
[그림 13] 미 국방부의 CTE 선정 조건	31
[그림 14] 미국의 국방획득체계	33
[그림 15] 기술성숙도(TRL) 수준별 정의	36
[그림 16] CTE 선정 조건	37
[그림 17] 질적 연구와 양적 연구 비교	43
[그림 18] 질적 연구 유형	44
[그림 19] 연구 절차 및 방법	45
[그림 20] 시스템 통합 관점의 TRA 개선 프레임워크	50
[그림 21] 시스템 통합 관점의 CTE 선정 모델	53
[그림 22] TBS(Technical Work Breakdown Structure)	54
[그림 23] 시스템 통합 관점의 TRL 평가 절차	63
[그림 24] 기존 방식과 TE 식별 방법의 차이	73
[그림 25] 기존 방식과 차이점 : IFTE 식별법 제공	74
[그림 26] 기존 방식과 차이점 : CTE 선정 방법론 제공	75
[그림 27] 기존 방식과 차이점 : 시스템 통합 관점의 분야별 TRL 제공	76
[그림 28] 기존 방식과 차이점 : 시스템 통합 관점의 TRA 수행	77
[그림 29] TSS 체계 개념	79
[그림 30] TSS의 TBS	80
[그림 31] TSS 인터페이스 매트릭스	82

표 차례

[표 1] 한국산 우선 획득 제도	6
[표 2] 핵심기술요소 성숙도에 따른 사업 영향 비교	8
[표 3] 국내 기술성숙도평가 도입 경과	9
[표 4] 기술적 인터페이스 유형	20
[표 5] 기존 방식과 차이점	52
[표 6] HWTE 및 SWTE 정의서(예시)	54
[표 7] 인터페이스 매트릭스(예시)	55
[표 8] IFTE 정의서(예시)	56
[표 9] 주요 ROC 정량목표와 관련된 HWTE와 SWTE(예시)	57
[표 10] 주요 ROC 정량목표와 관련된 IFTE(예시)	57
[표 11] 기술 난이도 지표	58
[표 12] HWTE와 SWTE의 기술 난이도 평가 결과(예시)	59
[표 13] IFTE의 기술 난이도 평가 결과(예시)	59
[표 14] CTE 후보(1차) 선정 결과(예시)	60
[표 15] CTE 후보 식별자 부여(예시)	60
[표 16] COTS 기술 적용 여부(예시)	61
[표 17] CTE 최종 선정 결과(예시)	62
[표 18] 하드웨어 TRL 지표	64
[표 19] 소프트웨어 TRL 지표	67
[표 20] 인터페이스 TRL 지표	70
[표 21] TSS HWTE 및 SWTE 정의서	81
[표 22] TSS IFTE 정의서	83
[표 23] 주요 ROC 정량목표와 관련된 TSS HWTE와 SWTE	84
[표 24] 주요 ROC 정량목표와 관련된 TSS IFTE	85
[표 25] TSS HWTE와 SWTE의 기술 난이도 평가 결과	86
[표 26] TSS IFTE의 기술 난이도 평가 결과	87
[표 27] TSS CTE 후보(1차) 선정 결과	88
[표 28] TSS CTE 후보 식별자 부여	89
[표 29] TSS COTS 기술 적용 여부	90
[표 30] TSS CTE 최종 선정 결과	91
[표 31] TSS HWCTE TRA 결과	92

[표 32] TSS SWCTE TRA 결과	93
[표 33] TSS IFCTE TRA 결과	94
[표 34] TSS TRA 결과	95
[표 35] In-depth Interview 요약	98
[표 36] 제안 프레임워크의 개선점	105



I. 서론

1. 연구배경

최근 세계 각국은 4차 산업혁명의 주도권을 확보하기 위해 인공지능, 무인 로봇, 양자컴퓨터, 사이버 등 첨단기술 개발에 총력을 기울이고 있으며, 국방과학기술에 대한 각국의 경쟁도 점점 더 치열해지고 있다[1].

무기체계는 더욱 첨단화, 복잡화되고 복합체계(System of System)화 되고 있으며 체계통합의 중요성 또한 더욱 확대되고 있다.

방위사업청은 첨단 무기체계의 적기 확보, 국내 연구개발을 통해 글로벌 방산 위상에 걸맞은 시스템 구축 및 국민경제에 이바지하는 방위산업 구현을 3대 중점 추진전략으로 방위사업을 추진하고 있다.

우리군의 무기체계 획득은 국내 연구개발과 상용품 구매를 우선으로 적용하고 있으며[2] 기술성숙도 평가는 현시점의 국내 기술수준을 정량적으로 제시하여 국내 연구개발 가능성에 대한 척도를 제공한다[3]. 이와 더불어, 무기체계 연구개발 수행시 발생 가능한 여러 문제들 중에서 기술적인 문제, 특히 미 성숙된 기술들로 인해 사업의 일정이 지연되거나 비용의 증가 또는 목표 성능 달성의 실패 등 위험요소를 미리 식별하여 위험관리에 활용하고 있다.

2000년대 초반 미국, 영국 등의 사례를 참고하여 도입한 기술성숙도 평가 제도는 국내 무기체계 연구개발 사업에 지속적으로 확대 적용되고 국내 환경에 적합하도록 지속 개선되었다.

그러나 TRA(Technology Readiness Assessment) 대상 선정부터 기초자료 입수, 핵심기술요소(CTE, Critical Technology Element) 선정, TRA 수행과 그 결과의 활용에 이르기까지 전 과정에서 본 제도를

효율적으로 수행하고 그 결과를 효과적으로 활용하는 데는 많은 제약사항이 있다. CTE 선정 측면에서는 각 항목별 기준이 모호한 문구가 존재하여 사업에 따라 해당분야 전문가의 주관적인 의견이 반영되어 CTE가 정해지는 문제점이 제시되었다[4]. CTE 선정은 기술성숙도 평가 대상을 선정하는 매우 중요한 활동 중의 하나로 누락 시 기술성숙도 평가 자체에서 제외되어 향후 사업의 실패 요인이 될 수 있기 때문에 매우 신중해야 한다.

미국 항공우주국에서 개발된 TRL의 단계별 정의는 평가자에 따라 주관적일 수 있으며 소프트웨어 보다는 하드웨어에 치우쳐 있다[5]. 현재 사용 중인 TRL 수준(Scale)은 체계를 구성하는 각 구성품의 기술을 독립적으로 평가하도록 설계되었으며 각 구성품들을 통합하여 목표 시스템을 구축하는 현실 세계를 반영하는데 한계가 있다. 체계개발 기간 동안 독립된 구성품을 부체계와 전체 체계로 통합하는 이슈는 사업 지연과 예산 초과와 주된 원인이 된다[6].

본 연구는 개별 기술의 성숙도 평가에는 유용하나 통합 관점에서 한계점을 가진 현행 기술성숙도 평가 방법에 문제를 제기하고 체계공학의 시스템 통합 관점에서 기술성숙도를 평가하는 프레임워크를 개발하고 검증한다.

특히, 시스템 통합 관점에서 CTE를 쉽고 직관적으로 도출할 수 있고 하드웨어, 소프트웨어, 인터페이스 관점에서 통합관계를 식별하여 TRL을 각각 산출할 수 있도록 하였다.

본 연구를 통해 시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가가 발전할 수 있는 계기가 되었으면 한다. 더불어 본 연구 결과를 활용하여 시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가 방법이 지속 발전되어 제도화되길 희망한다.

2. 연구목적 및 범위

본 연구의 목적은 개별기술의 성숙도 평가에는 유리하나 복잡도가 높은 무기체계의 통합 관점에서 기술성숙도를 평가하는 데 무리가 있는 현 기술성숙도 평가의 한계점을 도출하고 이를 해결할 수 있는 시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가 프레임워크를 연구, 개발하는 데 있다.

기준이 모호한 문구로 인해 해석의 차이에 따라 주관이 개입되기 쉬운 구조의 CTE 도출 방법, 개별기술에 한정된 현행 성숙도 평가의 한계 등을 고려하되 체계공학 기반의 무기체계 개발 및 통합 활동을 고려하여 시스템 통합 관점의 새로운 기술성숙도 평가 프레임워크를 고안하여 제시한다.

특히 복잡도가 높은 무기체계 연구개발시 체계공학을 기반으로 요구사항을 부체계의 HW, SW 구성항목으로 할당하고 설계, 개발 및 검증해 가는 것과 HW, SW 형상항목 간 인터페이스를 중심으로 통합하는 시스템 통합 관점을 새로운 프레임워크 개발에 활용하였다.

본 연구를 통해 시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가를 위한 시발점을 제공할 것으로 기대하며 사용자는 체계통합 관점에서 이전보다 더 쉽고 직관적인 기술성숙도 평가를 수행할 수 있을 것이다.

시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가 프레임워크는 체계공학 프로세스에 익숙한 사용자에게 훨씬 빠른 이해도를 제공하며 사용자는 무기체계 연구개발 사업 동안 체계공학 프로세스에 따른 개발 활동과 기술성숙도 향상 및 평가 활동을 쉽게 연계하여 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

또한, 주요 ROC(Required Operational Capability) 정량목표, 기술 난이도 및 COTS(Common Off The Shelf) 기술 적용 여부가 활용된

CTE 도출 방법과 시스템 통합 관점의 TRA 결과는 기술적 위험요소를 조기 식별하고 위험관리와 자연스럽게 연계할 수 있어 사업의 성공적 추진과 함께 무기체계의 적기 전력화 목표를 달성하는 데 일조할 것으로 판단한다.

연구 범위는 획득 정책 및 TRA 제도 분석, 국·내외 선행연구 분석을 통해 현행 기술성숙도 평가 업무의 한계점과 핵심 이슈를 도출한다. 이후 이를 해결할 수 있는 개선된 TRA 프레임워크를 제안한다. 본 연구는 시스템 통합 관점의 CTE 선정 방법과 TRL/TRA 수행 방법의 개선에 중점을 둔다.

3. 논문의 구성

I 장 서론은 연구배경, 목적 및 범위로 살펴본 바와 같다.

II 장 이론적 고찰은 기술성숙도 평가 관련 정책 및 제도에 대한 분석과 국·내외 주요 선행연구를 분석하여 시사점을 도출한다.

III 장 연구모형 설계에서는 질적 연구 절차 및 방법, 문제 제기, 그리고 이를 해결하기 위한 모형으로 시스템 통합 관점의 TRA 프레임워크를 제시하였다.

IV 장 연구 결과에서는 Case Study와 전문가 In-depth Interview를 통해 개선된 TRA 프레임워크를 보완하고 그 실효성을 확인한다.

V 장 결론에서는 제안 프레임워크 연구에 대한 결론을 도출하고 정책적 제언을 통해 향후 발전 방안을 제시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 획득 정책 및 TRA 제도

1.1. 국내 연구개발 중심 획득 정책

한국군은 무기체계를 획득하는데 국내 연구개발을 우선 추진하고 국내 연구개발 여부를 판단하기 위해 기술성숙도 평가를 활용하고 있다.

“무기체계”란 유도무기·항공기·함정 등 전장에서 전투력을 발휘하기 위한 무기와 이를 운영하는데 필요한 장비·부품·시설·소프트웨어 등 제반요소를 통합한 것을 말하고, “전력지원체계”란 무기체계 외의 장비·부품·시설·소프트웨어, 그 밖의 물품 등 제반요소를 말한다[2].

“국산화”란 무기체계·전력지원체계 획득과 관련하여 외국으로부터 도입했거나 도입하고 있는 장비·부품(소재, 소프트웨어 포함) 및 물자 등을 연구개발 또는 기술협력, 질충교역 등의 방법으로 확보한 기술과 국내·외 인력 및 설비를 사용하여 개발·생산하거나 부품의 성능·기능을 개선 또는 새로운 부품을 개발하여 추가 장착하는 것을 말한다[7].

방위사업법 제3장 제1절 11조 “방위력개선사업 수행의 기본원칙”에 따라 방위력 개선사업은 국방 과학기술 발전을 통한 자주국방의 달성을 위해 무기체계의 연구개발 및 국산화를 추진한다[8].

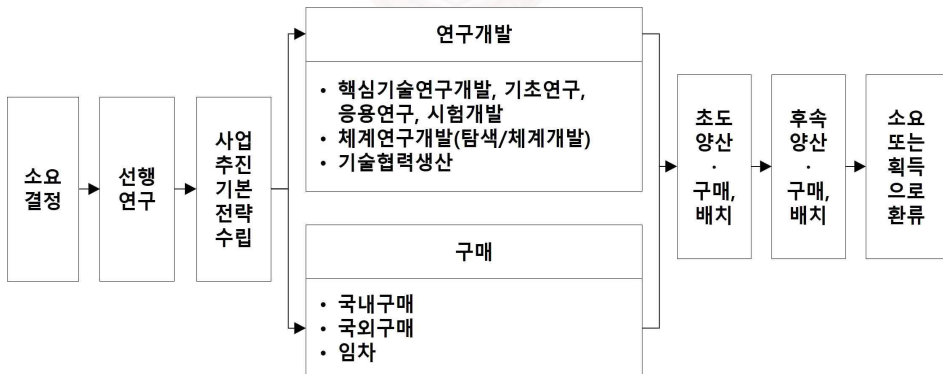
국방전력발전업무훈령 제121조 “획득업무 일반지침”에 따라 무기체계 획득은 국내개발과 상용품 구매를 우선으로 적용하며, 필요시 국외 구매를 할 수 있다.

2021년부터 방위사업청은 국내 방위산업 발전과 국방 과학 기술 수준 제고를 목적으로 표 1과 같이 “한국산 우선 획득 제도”를 추진하고 있다[9].

[표 1] 한국산 우선 획득 제도

구 분	주요내용
국내 연구개발 우선 추진	<ul style="list-style-type: none"> • 방위력개선비 국내 지출 확대를 위한 '지출 목표 관리제' 도입 • 국내 연구개발과 국외 구매 간 평가 방식 개선 • 진화적 개발전략 검토 의무화 • 대형사업의 국내 경제 파급효과를 필수 고려
국외 구매 시 국내업체 참여 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 국외 구매 사업에 대한 국내업체의 참여방안 강화 • 국외도입 무기에 대한 국산 부품 비율 평가 의무화 • 국내업체의 MRO(Maintenance, Repair and Overhaul) 참여 강화

무기체계 획득은 소요결정 결과에 따라 선행연구를 통해 사업추진 기본전략을 수립하고 그림 1과 같이 연구개발 또는 구매 형태로 추진한다.



[그림 1] 무기체계 획득 절차

국내 연구개발 우선 추진 정책에 따라 국내 연구개발 가능성을 판단하기 위해서 기술성숙도 평가 활동이 필요하며 우리군은 기술성숙도 평가(TRA) 업무 지침에 따라 기술성숙도 평가 업무를 수행하고 있다[3].

1.2. 국내 기술수준 평가를 위한 TRA 제도

2012년 TRA 제도 도입 후 우리군은 방위사업청(2019)에서 발행한 기술성숙도평가(TRA) 업무 지침에 근거하여 TRA를 수행하고 그 결과를 국내 연구개발 획득방안 수립, 연구개발 사업의 단계 전환 및 위험관리에 활용하고 있다.

(1) TRA 개념 및 의의

“기술성숙도평가(TRA, Technology Readiness Assessment)”란 연구개발을 위한 국내 기술수준을 판단하고 기술적 위험을 사전 식별하여 대안 수립 등 위험을 관리하는 목적으로 무기체계에 적용되는 핵심기술요소(CTE)들이 어느 정도로 성숙되어 있는지를 정량적으로 평가하는 공식적인 프로세스이다[3].

“핵심기술요소(CTE, Critical Technology Elements)”는 개별 무기체계 연구개발 사업의 범주에서 해당사업 완수를 위해 기술적으로 중요한 요소로 사업의 목표(성능, 비용, 일정)를 충족하는 데 결정적인 영향을 주거나, 기존 기술에 비해 개발 내용, 개발방식, 시연 환경, 설계 조건 등이 새롭게 적용되는 기술을 말한다[3].

“기술성숙도(TRL, Technology Readiness Level)”는 해당 기술이 실제로 응용되어 쓰일 수 있기까지 어느 정도 준비가 되었는지를 확인하는 정량적인 수준으로 CTE의 성숙도를 계량적으로 나타내는 척도로 사용된다[3].

미 GAO(Government Accountability Office, 2005)는 미 국방부 사업 54개에 대한 조사 결과(표 2 참조), 핵심기술요소가 성숙되지 않는 사업은 평균 41%의 개발 비용이 증가하고 13개월의 일정 지연이 발생한 반면 성숙된 기술을

적용한 사업은 비용 증가가 평균 9%, 일정 지연은 평균 7개월에 불과한 것으로 분석하였다[4].

[표 2] 핵심기술요소 성숙도에 따른 사업 영향 비교

항 목	핵심기술요소가 성숙된 사업	핵심기술요소가 미 성숙된 사업
개발비 증가 비율(%)	9%	41%
일정 지연 일수	7개월	13개월
단위체계 기준 획득 비용 증가 비율(%)	1%	21%

이후 미 GAO(1999년)는 기술의 성숙도가 연구개발 목표(일정, 비용 등) 달성과 매우 밀접한 관계에 있다는 것을 확인하고 미 국방부에게 새로운 기술이 무기체계의 연구개발에 성공적으로 적용되도록 기술성숙도를 평가할 수 있는 체계적인 접근법을 도입하도록 제안했다.

결론적으로 TRL 평가를 통해 무기체계 연구개발 사업의 성공적 수행을 위해 필요한 핵심 기술을 도출하고 현재 준비 수준을 객관적으로 확인하여 국내 연구개발 가능성을 판단한다. 그리고 성숙도가 낮은 기술을 보완하여 개발과정에서 이미 성숙된 기술이 적용되도록 하여 무기체계 연구개발의 신뢰성을 확보할 수 있도록 한다.

(2) TRA 국내 도입 현황

우리나라는 2003년 국방과학기술조사서 작성시 TRL을 최초로 평가한 이후 2006년 TRA 관련 조항을 방위사업청 방위력개선사업관리규정에 포함시켜 제도적 근거를 마련하였다. 2006년 방위사업청이 개청 되고

무기체계 연구개발단계에서 TRL을 평가하는 조항을 방위력개선사업관리 규정에 포함시켜 실질적인 TRA 방법론이 획득 관련 규정에 반영되었다. 그 이후 2011년까지 다양한 국방사업에 TRA가 적용되었으나 당시에는 TRL 평가를 위한 구체적인 지침이 없어 TRA 결과를 사업추진 여부를 판단하는 주요 의사결정 근거자료로 활용하는 데 제한되었다. 하지만, 2011년 방위사업청이 낮은 기술성숙도로 인한 사업 실패를 방지하기 위해 TRA 제도를 적극 도입함으로써 TRA는 무기체계 연구개발 사업을 추진하는 데 직접적인 영향을 주는 핵심적인 의사결정 요소 중 하나가 되었다[4].

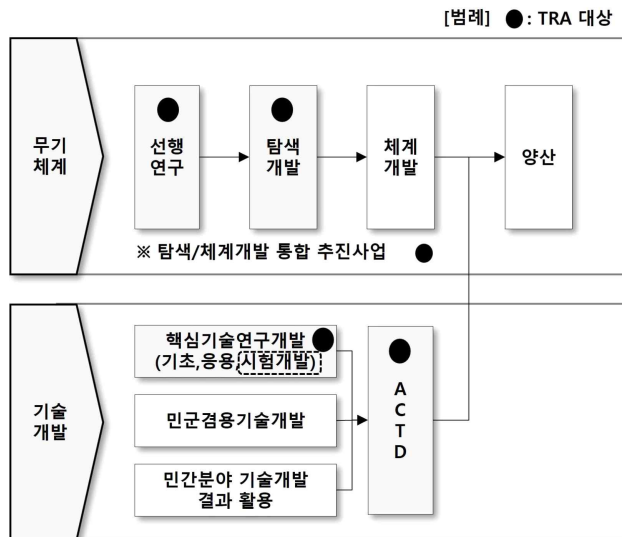
[표 3] 국내 기술성숙도평가 도입 경과

시 기	내 용	비 고
'03년	<ul style="list-style-type: none"> 2003년 국방과학기술조사서 작성 시 최초로 주요 기술별 기술성숙도 수준 조사 초음속 고등훈련기(T-50) 체계개발 기간 중 방법론에 준하는 기술성숙도 평가 	기술성숙도평가 (TRA) 제한적 수행
'06년	<ul style="list-style-type: none"> 방위사업관리규정에 기술성숙도평가와 관련된 조항 포함 	
'07년	<ul style="list-style-type: none"> '07년 국방과학기술조사서 작성 시 기술성숙도수준(TRL) 조사 	
'09년	<ul style="list-style-type: none"> 방위사업청 ACTD사업 관련 예규에 기술성숙도 평가(TRA) 관련 조항 포함 국내 기술성숙도평가(TRA) 적용 방안 개념연구 추진 	
'11년	<ul style="list-style-type: none"> 방위사업추진위원회에 무기체계 소 Life Cycle 동안 품질관리방안의 하나로 TRA/MRA 제도 적용 보고 	
'12년 이후	<ul style="list-style-type: none"> 기술성숙도평가(TRA) 업무지침 제정('12.4월) 이후 총 7차례 개정 → 무기체계 연구개발 사업 추진 중 핵심적인 의사결정요소 중 하나가 됨 	기술성숙도평가 (TRA) 본격 수행

(3) TRA 수행 체계

(가) TRA 수행 대상

기술성숙도 평가는 무기체계사업의 선행연구, 탐색개발 및 통합사업(탐색/체계개발 통합 추진 사업) 그리고, 기술개발사업의 ACTD 사업과 핵심기술 연구개발사업 중 시험개발을 대상으로 한다.

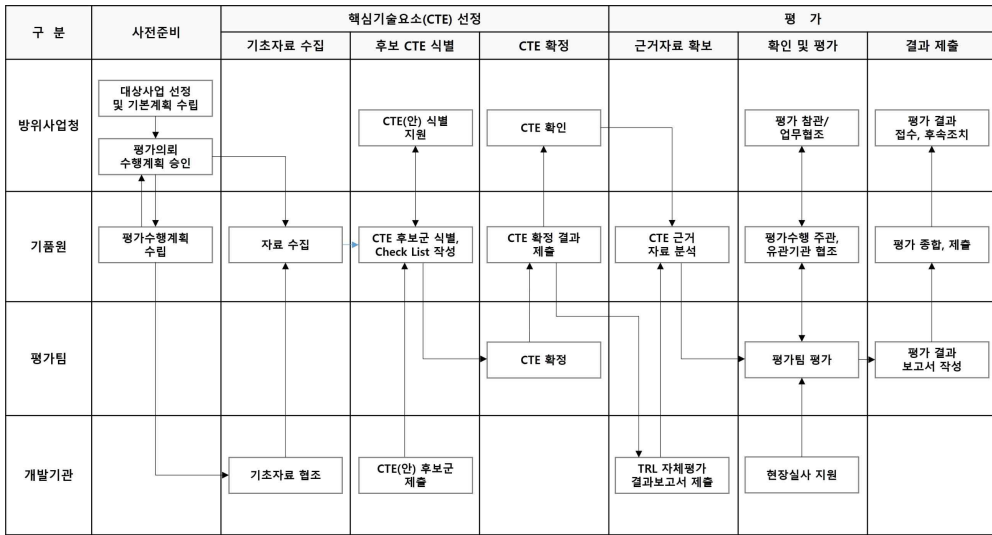


[그림 2] TRA 수행 대상

무기체계 연구개발 사업 중 총사업비가 200억 이상이면서 위험도가 높은 사업, 핵심기술 연구개발(시험개발)사업 중 총사업비가 100억 이상이면서 사업관리를 위해 필요하다고 판단되는 사업을 대상으로 한다. 전장관리정보체계사업과 함정사업의 플랫폼(Platform) 분야는 TRA 수행 대상에서 제외되나 사업관리를 위해 필요하다고 판단할 경우 TRA 수행 대상에 포함된다[3].

(나) TRA 수행 절차

TRA 절차는 그림 3과 같이 크게 ①사전준비, ②핵심기술요소(CTE) 선정, ③평가, 3단계로 구분된다.



[그림 3] TRA 수행 절차

* 출처 : 방위사업청 TRA 업무지침(2019)

1) 사전 준비 단계

방위사업청은 TRA 대상사업을 선정하고 기본계획을 수립한다. 기품원은 평가 수행계획을 수립하여 승인을 받는다.

2) 핵심요소기술(CTE) 선정 단계

CTE 선정을 위한 기초자료를 수집한다. 기초자료를 활용하여 무기체계 개발에 필요한 주요 기술요소를 식별하고 이러한 기술요소들 중에서 사업의 목표 즉 체계성능, 비용 및 일정 등에 중대한 영향을 미치는 기술요소를 CTE 후보군으로 선정한다. CTE 후보군의 선정은 TRA 업무지침에 포함된 Check List를 활용하여 수행한다.

사업과 직접적으로 관련이 없는 요소기술 전문가로 구성된 평가팀 회의를 통해 CTE를 최종 확정한다. 방위사업청 통합사업관리팀은 기품원에서 제출한 평가팀 회의 결과를 확인한다.

3) TRL 평가 단계

TRL 평가 단계에서는 선정된 CTE에 대한 기술성숙도를 평가하는 단계로 객관적인 평가 결과를 도출하기 위해 개별기술들에 대한 연구개발 산출물을 수집하고 이를 근거로 하여 현재 시점에서의 성숙도를 평가한다. CTE에 대한 TRL 평가는 평가팀 회의를 통해 이루어지며 기품원에서는 이를 종합하여 방위사업청으로 제출한다. 방위사업청 통합사업관리팀은 TRA 결과를 근거로 해당 무기체계 연구개발사업의 단계전환 여부를 판단한다[10].



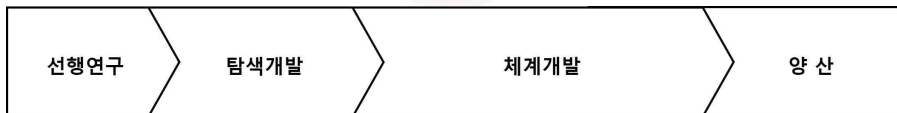
1.3. SE 기반 시스템 통합 관점의 무기체계 개발

국내 무기체계 연구개발은 체계공학(System Engineering)을 기반으로 수행되고 있다. 체계공학은 체계의 설계부터 구현, 운용 및 폐기에 이르기까지 하나의 방법론이자 절차화 된 기준을 제공하는 접근법이다. 제한 조건 내에서 최종 요구사항을 충족하는 운용 가능한 체계를 개발하는 과학적 접근방법을 제공한다[11].

본 연구는 체계공학의 시스템 통합 관점과 활동을 TRA 프레임워크 개선에 접목하였다.

(1) 무기체계 연구개발 단계

무기체계 연구개발은 방위사업관리규정 및 체계공학 관련 표준에 따라 그림 4와 같이 총 4단계로 수행된다.



[그림 4] 무기체계 연구개발 단계

선형연구 단계에는 방위력개선사업의 추진방법 결정을 위해 무기체계에 대한 연구개발의 가능성·소요시기 및 소요량, 국방과학기술수준, 방위산업육성효과, 기술적·경제적 타당성, 비용 대비 효과 등에 대한 조사·분석을 수행한다[8].

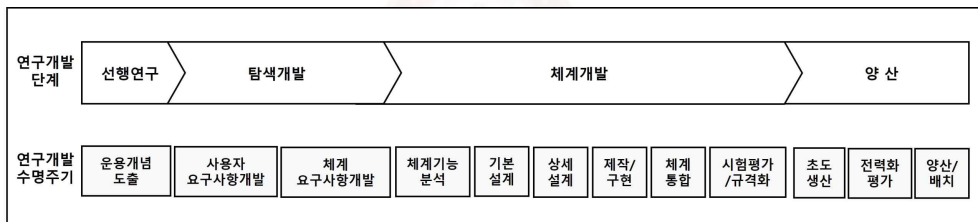
탐색개발 단계에는 무기체계의 핵심 부분에 대한 기술을 개발(필요한 경우 그 기술을 검증하기 위한 시제품을 제작하는 경우를 포함)하고, 기술의 완성도 및 적용 가능성을 확인하여 체계개발 단계로의 진행

여부를 판단한다. 체계개발 단계에는 무기체계를 설계하고, 그에 따른 시제품을 생산하여 시험평가를 거쳐 양산에 필요한 국방규격을 완성한다[12].

양산 단계에는 규격이 같은 장비를 계획 물량만큼 대량으로 생산하는 것으로 초도양산, 최소 전술단위 전력화 평가 및 후속양산 활동을 수행한다.

(2) 무기체계 연구개발 수명주기

2000년 방위사업청에서 발행한 체계공학(SE) 기반 기술관리업무 실무지침서의 연구개발 단계별 연구개발 수명주기는 그림 5와 같다.



[그림 5] 무기체계 연구개발 단계별 연구개발 수명주기

(가) 운용개념 도출

무기체계 운용개념 도출은 무기체계의 핵심 요구사항인 작전운용성능을 분석하여 예상되는 작전환경에서 요구되는 무기체계가 보유해야 하는 능력을 정의하기 위해 수행한다. 요구되는 무기체계의 세부적인 성능과 기능의 정의 보다는 작전시 해당 무기체계의 운용 방법과 절차 등에 중점을 둔다. 사용자 관점에서 무기체계를 정의하고 무기체계 운용개념 도출 결과는 운용개념서(OCD, Operational Concept Description) 또는 운용요구서(ORD, Operational Requirements Document) 등에 반영한다[11].

(나) 사용자 요구사항 개발

무기체계 운용개념 도출 결과를 바탕으로 요구되는 무기체계의 구체적인 사용자 요구사항을 정의한다. 소요군은 무기체계의 구체적인 체계 운용 요구사항을 운용요구서 초안에 포함하여 작성한다. 임무 수행시 체계 운용시나리오에 따른 기능과 프로세스 분석을 통하여 사용자 요구사항을 정의한다.

(다) 체계요구사항 개발

무기체계 개발을 위한 기술 요구사항을 정의한다. 운용요구서(ORD)에 정의된 사용자 요구사항의 구현 가능성(Feasibility)을 검토하고 요구사항이 적절히 도출되었는지 확인한다. 체계 수준의 기능 및 성능 분석 그리고 핵심 기술과 구성품의 검증 등을 통해 체계 요구사항을 확정한다.

체계요구사항 검토회의(SRR, System Requirements Review)를 통해 사용자 요구사항이 개발 수준의 요구사항으로 잘 정의되고 HW, SW 구성 수준까지 잘 반영되었는지 확인한다.

(라) 체계 기능 분석

무기체계 요구사항을 충족하는 체계기능을 정의한다. 부체계(구성품) 수준으로 요구사항을 할당하고 기능을 세분화하는 등 무기체계 수준의 기능을 확정한다.

체계기능검토(SFR, System Functional Review)를 활용하여 사용자 요구사항과 체계 요구사항이 목표체계의 기능으로 명확하게 정의되었는지 확인한다.

(마) 기본 설계

체계의 요구사항과 기능 요구사항을 충족하는 시스템을 설계한다. 주요 부체계(구성품) 수준까지 상세설계와 분석이 수행된다. 체계의 기능 분석을 통해 체계규격서의 요구사항과 기능에 대한 설계가 확정된다.

기본 설계 검토회의를 활용하여 상세 설계단계로 진입 여부와 비용, 일정 및 위험요소를 고려하여 성능 요구사항의 만족 여부를 확인한다.

(바) 상세설계

체계 요구사항과 기능 요구사항을 충족하는 체계 및 세부 구성품의 상세설계를 수행한다.

상세설계 검토회의(CDR, Critical Design Review)를 통해 시제 제작과 구현 준비가 되어 있는지 확인한다. HW, SW 형상항목에 대한 제품 기준선(Baseline)을 분석하고 상세설계 결과를 검토한다.

(사) 제작 및 구현

설계에 따라 하드웨어와 소프트웨어를 제작, 구현하는 단계이다. 이 단계에서는 다양한 설계변경이 발생한다. 구성품에 대한 단위시험을 통해 설계 요구사항의 충족 여부를 검증한다.

(아) 체계통합

구성품 또는 부체계 단위로 제작, 구현된 무기체계를 통합한다. 통합된 체계가 요구되는 모든 설계를 충족하는지 검증한다.

(자) 시험평가 및 규격화

개발된 무기체계가 사용자와 체계요구사항을 포함한 모든 요구사항을

충족하는지 최종 평가한다. 이후 국방 규격화를 수행한다.

(차) 초도양산

본격적인 후속양산 이전에 획득사업의 해당 사업 계획 물량 중 최소 전술단위 수량을 생산하는 단계이다[13].

(카) 전력화 평가

무기체계의 초도 배치 후 1년 이내에 소요군에서 각종 전장환경 하에서의 전술적 운용을 통해 최초 기획 단계에서 설정된 수준의 작전운용성능을 포함한 제반 전력화지원요소를 평가하여 후속 양산·구매 및 차기 무기체계의 생산·개발에 반영할 사항을 도출하는 단계이다.

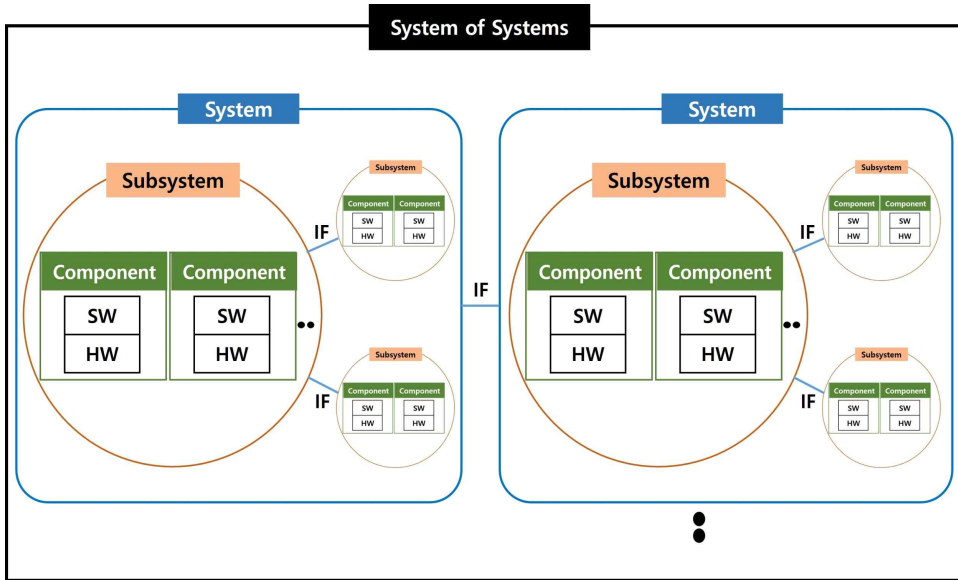
(타) 양산/배치

초도 생산 이후, 사업 승인된 무기체계를 양산하여 운용장소에 설치한다.

(3) 시스템 통합 관점의 주요 SE 활동

체계(System)는 상호 작용하는 서로 다른 구성요소들의 집합으로 특정 목표를 달성하기 위해 조직적으로 구성된 시스템이다. 최근 무기체계는 최신 기술의 발전과 더불어 기존 체계와 통합하여 목표를 달성하는 복합체계(SoS, System Of Systems)로 변모하고 있다.

복합체계는 그림 6과 같이 System→Subsystem→Component→HW/SW 구성요소로 세분화(breakdown) 될 수 있다. 복합체계의 통합은 Top Down 접근법으로 볼 때 System간 인터페이스(IF, Interface), Sub-system간 IF, Component간 IF, HW/SW 구성요소간 IF로 구체화 된다.

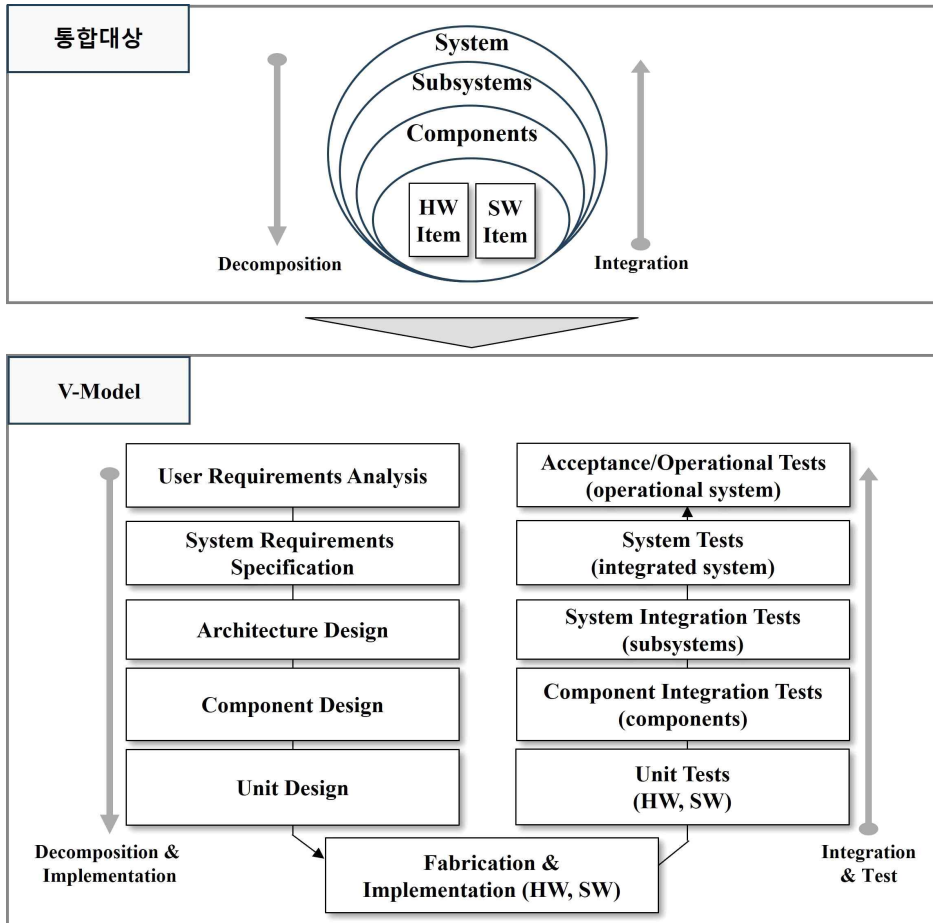


[그림 6] 복합체계(SoS)의 구조

체계공학 기반 무기체계 연구개발시 통합의 대상과 엔지니어링 활동은 그림 7과 같다.

V-Model의 원편은 Top Down 관점에서 요구사항이 분석, 설계 및 구현되는 과정이다. 작전운용성능(ROC)을 핵심으로 한 요구사항은 운용개념으로 정립된다. 요구사항 분석단계에서 잘 정의된 요구사항은 설계단계 동안 HW/SW 구성항목의 설계에 할당된다. 개발자는 구현단계에 요구사항이 반영된 설계대로 HW와 SW를 개발한다.

시스템 통합 관점에서 보면 체계 요구사항에 따라 체계 내·외부 인터페이스가 식별되고 설계에 반영된다. IF는 설계대로 구현단계에 개발된다. 시스템 통합 대상은 HW/SW 구성항목이 되고 IF는 HW-HW IF, HW-SW IF, SW-SW IF 형태로 구분될 수 있다.



[그림 7] 체계통합 대상 및 주요 활동

V-Model의 오른쪽은 Bottom Up 관점에서 HW/SW 구성항목의 단위 검증과 함께 Subsystem, System까지 역순으로 단계별 통합을 통해 검증해 가는 활동(체계통합시험, 개발·운용시험평가)을 나타낸다.

개발된 HW/SW 구성항목이 각각 설계대로 제작, 구현되었는지 단위시험을 통해 확인하고 통합 관점의 IF는 단계별 통합, 검증 (Verification) 및 확인(Validation)을 통해 요구사항 충족 여부를 확인한다.

체계공학에서 체계통합 수단은 기술적 인터페이스로 나타낼 수 있고 인터페이스 유형은 표 4와 같이 분류할 수 있다.

[표 4] 기술적 인터페이스 유형

인터페이스 유형	주요내용	적용 기술(예시)
HW - HW 인터페이스	<ul style="list-style-type: none"> 물리적 인터페이스로 서로 다른 HW 간 연결 및 데이터 전송을 위한 인터페이스 <ul style="list-style-type: none"> - 전기신호, 광신호, 무선신호 등 	<ul style="list-style-type: none"> 케이블 : 이더넷, RS-422, USB, HDMI 등 무선 연결 : Wifi, Bluetooth, NFC 등 광섬유 연결 Bus : PCI, SPI, VME, CAN 등
HW - SW 인터페이스	<ul style="list-style-type: none"> HW와 SW 간 상호작용을 위한 인터페이스 <ul style="list-style-type: none"> - HW 입력, 출력, 제어 등과 SW 데이터 처리, 제어 명령 등 	<ul style="list-style-type: none"> API : HW-SW 간 인터페이스 Driver : OS-HW 간 인터페이스 Firmware : HW에 내장된 SW 등
SW - SW 인터페이스	<ul style="list-style-type: none"> SW 간 상호작용을 위한 인터페이스 <ul style="list-style-type: none"> - 다른 SW 모듈 또는 시스템 간 데이터 교환, 제어 명령 전달 	<ul style="list-style-type: none"> API : SW 간 IF 정의, 상호작용 및 데이터 공유 (함수, 프로시저, 클래스 I/F 제공) Web Service : 인터넷상 SW 간 상호작용 Message : 비동기식 메시지 교환 RPC : NW상 타 컴퓨터 프로세스 호출

본 연구에서 바라본 시스템 통합 관점은 통합의 대상이 HW/SW 구성항목이 되고 IF는 HW, SW 구성항목간 통합의 수단이 된다. 따라서 TRA 대상이 되는 기술요소(TE, Technology Element)와 CTE는 HW, SW, IF 측면에서 구분되어야 하며 TRA 또한 각각 수행되어야 한다.

1.4. 정책 및 제도 측면의 시사점

한국군은 무기체계를 획득하는데 국내개발과 상용품 구매를 우선으로 하고 있으며 2021년부터는 한국산 우선 획득 제도를 추진하고 있다.

국내 TRA는 2006년 제도화되었고 2011년 기술성숙도 부족으로 인한 무기체계 사업의 실패를 사전에 방지하기 위해 본격적으로 추진되었다. 현재 TRA는 무기체계 연구개발사업 추진을 위한 핵심적인 의사결정 요소가 되었다. TRA는 국내 연구개발 가능성에 대한 의사결정 뿐만 아니라 연구개발 사업의 단계 전환 및 위험관리에도 적극 활용되고 있다.

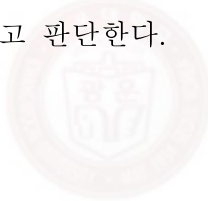
TRA는 방위력개선사업 추진을 위한 필수 업무로 수행되고 있으나 대상의 선정에서부터 결과의 활용까지 전 과정에서 본 제도를 저해하는 14가지 쟁점사항이 여전히 존재한다[4].

본 연구에서는 14가지 쟁점사항 중 CTE 선정과 TRL 평가 프로세스의 개선에 초점을 두어 좀 더 명확하고 직관적인 TRA가 수행될 수 있도록 하였다. 특히 현재 수행되고 있는 체크리스트를 기반으로 한 CTE의 선정과 TRA 수행은 모호한 문구로 인해 주관의 개입이 클 수 있으며 평가의 명확성을 저해하는 요소로 작용한다.

본 연구는 TRA 프레임워크 개선을 위해 체계공학(SE)의 시스템 통합 관점과 주요 활동을 접목한다. 체계공학에서 시스템 통합의 대상은 System, Subsystem, Component, HW/SW 구성항목으로 구체화 될 수 있다. 사용자 요구사항은 분석 과정을 통해 명확히 정의되어 설계단계에는 HW/SW 구성항목에 할당되고 개발 단계에 설계대로 구현된다. 이후 단위시험부터 SW통합시험, 체계통합시험, 개발시험 및 운용시험평가에 이르기까지 HW/SW 구성항목은 단계적으로 통합되어 검증된다. 시스템 통합 관점에서 보면 통합의 대상은 HW, SW

구성항목이 되며 통합의 수단은 각 구성항목 간 인터페이스가 된다. 따라서 TRA 프레임워크 개선을 위해 평가의 대상이 되는 기술요소(TE, Technology Element)는 HW, SW로 구분되어야 한다. 또한 체계공학에서는 체계 요구사항에 따라 내·외부 인터페이스를 식별하고 설계에 반영한다. 인터페이스는 설계대로 구현되고 단계별 통합을 통해 검증된다. 체계공학 측면에서 보면 TRL 평가시 기술적 WBS를 통해 식별된 HW/SW 구성항목 간 인터페이스를 식별하고 인터페이스에 필요한 기술요소를 확인하여 별도 기술성숙도 평가를 수행할 필요가 있다.

체계공학의 시스템 통합 관점과 주요 SE 활동을 TRA 프레임워크 개선에 활용한다면 체크리스트 중심의 기술성숙도 평가의 문제점을 해소하는 데 일조할 수 있다고 판단한다.



2. 선행연구 고찰

2.1. 해외 선행연구

(1) 기술성숙도수준(TRL) 지표

미 항공우주국(NASA)에서 개발된 TRL 지표는 CTE들이 목표체계에 적용할 수 있는데 어느 수준까지 성숙되어 있는지를 평가하기 위한 목적으로 활용되고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 NASA의 TRL 지표는 1974년 TRL 선구자인 Stan Sadin에 의해 7단계 수준으로 최초 개발되었다[14].

1990년 9단계 수준으로 정립되었고 1995년 Mankins는 현 9단계 수준의 TRL를 체계화했다[15].

이후 NASA의 TRL 시스템은 미 국방부(DoD, the Department of Defense), 에너지부(DoE, the U.S. Department of Energy), 국토부(DHS, the Department of Homeland Security)를 비롯하여 유럽 우주국(ESA, European Space Agency) 등으로 확대 적용되었다[16].

미 국방부에서 활용하는 9단계 TRL 지표는 그림 8과 같다.

TRL	DEFINITION
9	Actual system proven through successful mission operations.
8	Actual system completed and qualified through test and demonstration.
7	System prototype demonstration in an operational environment.
6	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment.

TRL	DEFINITION
5	Component and/or breadboard validation in a relevant environment.
4	Component and/or breadboard validation in a laboratory environment.
3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept.
2	Technology concept and/or application formulated.
1	Basic principles observed and reported.

[그림 8] 미 국방부의 TRL 지표

* 출처 : 미 DoD TRA Guidance(2011)

하지만 첨단 무기체계에 대한 수요가 높아가고 무기체계의 복잡도가 증가하면서 9단계의 단일 TRL 지표만으로 국방 획득사업의 추진 여부 또는 주요 마일스톤의 전환 등을 결정하는 데 제한요소가 많다는 의견들이 있었다[17].

Conford 외(2004)는 TRL 지표를 활용한 기술성숙도 평가방식의 5가지 한계 사항을 제시했다. 첫째, TRL 단계별 정의는 평가자에 따라 주관적일 수 있다. 둘째, 개별기술에 집중한 나머지 전체 시스템 관점의 평가가 부족하다. 셋째, 소프트웨어보다는 하드웨어에 치우쳐 있다. 넷째, 비용이나 위험관리 지표와의 통합이 어렵다. 다섯째, 다양한 용어를 사용하고 있으나 용어에 대한 정의가 추상적이다[5].

이후 미 국방부와 NASA는 TRL 지표와 프로젝트 위험, 비용과의 관계를 정의하는데 많은 연구를 수행하였고 개별기술의 성숙도 평가에서 탈피하여 시스템 관점에서 기술성숙도를 평가하는 연구로 발전되었다.

기술 간 통합에 대한 연구는 Mankins(2002)에 의해 처음 시도 되었고 Mankins는 통합기술분석방법(ITAM, Integrated Technology Analysis

Methodology)에서 통합기술기준(ITI : Integrated Technology Index)을 제안하였다. ITI는 TRA를 수행하는 데 있어서 예상되는 어려움을 고려한다. 대안을 선택하기 위해 기술 간 상대적 우선순위를 적용한다[18].

그러나 ITI는 시스템 통합 관점을 충분히 표현하지는 못했다. 영국 국방부에서는 체계개발에 필요한 기술을 성공적으로 확보하기 위해 기술통합메트릭스(Technology Insertion Metrics)를 개발하였다. 기술통합메트릭스에 통합성숙도수준(Integration Maturity Level)을 적용하였다.

Brian Sauser 외(2009)는 개별기술에 대한 성숙도를 측정하는 TRL의 한계를 벗어나 기술간 인터페이스 수준을 측정하는 IRL(Integration Readiness Level)을 개발하였다.

IRL은 CTE간 인터페이스 성숙도를 측정할 뿐만 아니라 타 기술과 통합 관점의 개선 방향을 제공한다[19]. 이후 IRL은 Gove 외(2007)에 의해 7단계서 최종 9단계 매트릭스로 확대되었으며 9단계 IRL 지표는 그림 9와 같다[20].

IRL	DEFINITION
9	Integration is mission proven through successful mission operations.
8	Actual integration completed and mission qualified through test and demonstration, in the system environment.
7	The integration of technologies has been verified and validated with sufficient detail to be actionable.
6	The integrating technologies can accept, translate, and structure information for its intended application.
5	There is sufficient control between technologies necessary to establish, manage, and terminate the integration.

IRL	DEFINITION
4	There is sufficient detail in the quality and assurance of the integration between technologies.
3	There is compatibility (i.e. common language) between technologies to orderly and efficiently integrate and interact.
2	There is some level of specificity to characterize the interaction (i.e. ability to influence) between technologies through their interface
1	An interface between technologies has been identified with sufficient detail to allow characterization of the relationship.

[그림 9] IRL(Integration Readiness Level) 지표

* 출처 : Gove 외(2007)

Sauser, Brian 외(2006)는 시스템 수준의 기술성숙도 지표인 SRL(System Readiness Level)을 제안했다. 시스템성숙도 SRL은 TRL과 IRL의 함수로 개별 기술간 연관성에 대한 성숙도를 나타낸다. Brian Sauser는 TRL과 IRL 지표를 고려하여 5단계 SRL 지표를 그림 10과 같이 제시하였다[19].

SRL	NAME	DEFINITION
5	Operations & Support	Execute a support program that meets operational support performance requirements and sustains the system in the most cost - effective manor over its total life cycle.
4	Production & Development	Achieve operational capability that satisfies mission needs.
3	System Development & Demonstration	Develop a system or increment of capability; reduce integration and manufacturing risk; ensure operational supportability; reduce logistics footprint; implement human systems integration; design for producibility; ensure affordability and protection of critical program information; and demonstrate system integration, interoperability, safety, and utility.
2	Technology Development	Reduce technology risks and determine appropriate set of technologies to integrate into a full system.
1	Concept Refinement	Refine initial concept. Develop system/technology development strategy

[그림 10] SRL(System Readiness Level) 지표

* 출처 : Sauser, Brian 외(2006)

그리고 전체 시스템 수준의 SRL은 TRL과 IRL의 함수로 아래 식과 같다.

$$SRL = F(IRL, TRL) = [IRL] \times [TRL]$$

Weiping Tan 외(2011)는 SRL 평가를 위해 다수의 기능과 능력에 대한 SRL 평가 방법을 제안했다. 먼저 체계를 System, Function, Capability 순으로 구분한다. Top-Down 순으로 구조화하고 Capability 수준의 SRL을 구한다. Capability 수준의 SRL 가운데 가장 큰 값을 Function 수준의 SRL로 산정한다. 전체 시스템 수준의 SRL은 Function 수준의 SRL 값들의 평균으로 계산한다[24].

개별 기술간 인터페이스를 다룬 IRL 접근법은 체계통합 관점의 부체계(구성품) 간 인터페이스를 설계, 구현해 가는 체계공학의 시스템 통합 개념과 유사성을 가지고 있다.

시스템 수준의 SRL은 TRL과 IRL을 활용하여 체계 전체 수준의 성숙도를 하나의 대표지수로 산출하는 것으로 시스템 간 성숙도를 상대적으로 비교하는 데는 의미가 있으나 실질적인 위험관리 측면에서는 현재와 같이 개별기술 중 가장 낮은 성숙도를 활용하는 것이 타당하다고 본다. IRL 개념 중 인터페이스 기술을 식별하는 방법은 체계공학에서 제공하는 인터페이스 식별 및 설계 개념을 활용하는 것이 좀 더 체계적이고 명확하게 인터페이스 기술을 식별할 수 있다고 판단한다. 따라서 TRA 프레임워크 개선에 인터페이스 기술을 별도 분리하고 식별하는 방법론을 제시하였다.

Mankins(2002)는 TRL 적용을 위해 특정 기술을 성숙시키는데 드는 어려움을 나타내는 R&D₃(Research and Development Degree of Difficulty) 개념을 최초 제시하였다. 체계개발 난이도(Difficulty)는

시스템, 서브시스템 및 컴포넌트 개발에 필요한 기술의 TRL 수준을 변경하는데 드는 기술적 난이도를 말한다[25].

Bilbro(2008)는 R&D₃와 비슷한 개념인 9단계의 AD2(Advanced Degree of Difficulty)를 그림11과 같이 제안하였다[26].

AD2 Scale	DEFINITION	Risk	Success Chance
9	Requires new development outside of any existing experience base. No viable approaches exist that can be pursued with any degree of confidence. Basic research in key areas needed before feasibility approaches can be defined	100%	Almost Certain Failure (Very High Reward)
8	Requires new development where similarity to existing experience base can be defined only in the broadest sense. Multiple development routes must be pursued	80%	High Likelihood of Failure (High Reward)
7	Requires new development, but similarity to existing experience base is sufficient to warrant comparison in only a subset of critical areas. Multiple development routes must be pursued	70%	High Likelihood of Failure (High Reward)
6	Requires new development, but similarity to existing experience is sufficient to warrant comparison on only a subset of critical areas. Dual development approaches should be pursued in order to achieve a moderate degree of confidence for success.(Desired performance can be achieved in subsequent block upgrades with high confidence).	50%	High Likelihood of Failure (High Reward)
5	Requires new development, but similarity to existing experience is sufficient to warrant comparison in all critical areas. Dual development approaches should be pursued to provide a high degree of confidence for success.	40%	Probably Will Succeed
4	Requires new development, but similarity to existing experience is sufficient to warrant comparison across the board. A single development approach can be taken with a high degree of confidence for success.	30%	Almost Certain Success
3	Requires new development well within the experience base. A single development approach is adequate.	20%	Almost Certain Success
2	Exists, but requires major modifications. A single development approach is adequate.	10%	Almost Certain Success
1	Exists with no or only minor modifications being required. A single development approach is adequate.	0%	Guaranteed Success

[그림 11] AD2(Advanced Degree of Difficulty) 지표

* 출처 : Bilbro(2008)

NASA(2016)는 TRL를 정의하는 것만으로는 기술 개발 위험을 완전히 평가할 수 없고 현재 TRL과 목표 TRL 간 차이는 TRL 격차를 해소하는데 필요한 노력과 자원 또는 계획 마일스톤을 달성하기 위한 위험을 나타내는 것이 아니라고 한다. 그리고 AD2 평가는 기술을 성숙시키는 데 드는 난이도를 정량화하고 위험 발생 확률과 연계하여 위험관리 수행을 위한 출발점을 제공한다[15].

Mahafza, Sherry(2006)는 기술적 성능에 대한 리스크를 측정하는 방법으로 기술 성능 리스크 측정(TPRM, Technology Performance Risk Measure) 방법을 제시하였다[27].

Olechowski, Alison 외(2015)는 전 세계 다양한 산업부문에서의 TRL 사용을 분석하였고 시스템 복잡성, 계획 및 검토, 평가 타당성 측면에서 15가지 개선과제를 제시하였다[28].

Tomaschek, Katharina 외(2016)은 전 세계 다양한 산업의 TRL 실무자들과 설문을 통해 시스템 복잡도, 기술간 통합 표현, 인터페이스 성숙도 및 시스템 수준 성숙도를 우선순위가 높은 4가지 개선과제로 식별하였다[29].

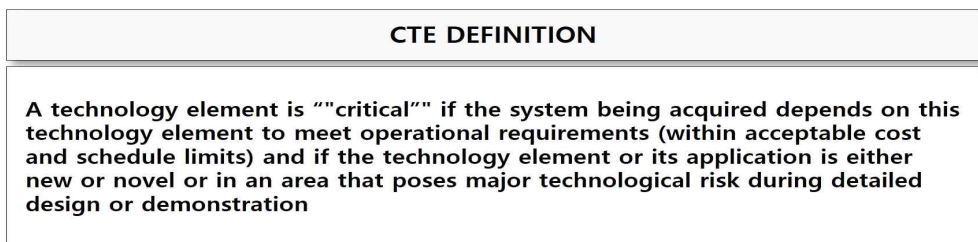
Tompkins, Zuhail, Michael Grenn 외(2018)는 복잡한 시스템의 SRL을 평가하기 위해 설계 구조 매트릭스(DSM, Design Structure Matrix)를 사용하는 새로운 접근 방식을 제안하였다. 또한 현재 SRL 계산 방법을 DSM 도구에 통합하기 위한 프레임워크를 제시하였다[30].

Jesus, Gabriel T 외(2020)은 설계 구조(design structure)와 도메인 매핑 매트릭스(domain mapping matrices)를 통해 아키텍처 뷰(architectural view)를 사용하여 IRL을 적용하는 방법론을 개발했다. 또한 이 방법을 사용하여 전체적인 시스템 분석 및 관리적

커뮤니케이션에 활용하는 방안을 제안하고 레거시 시스템(legacy system)의 IRL 평가를 위한 근거를 추천하였다[31].

(2) CTE 식별 방법

미 국방부 TRA Deskbook(2009)에서는 그림 12와 같이 핵심기술요소를 “합리적인 비용과 일정 내에 운용요구조건을 충족하는 데 필수적이고 기술 자체 혹은 그 기술의 적용대상이 새롭거나 상세설계 또는 시연 중 중요한 기술적 위험성을 초래하는 기술요소”로 정의하고 있다[21].



[그림 12] 미 국방부의 CTE 정의

* 출처 : 미 DoD TRA Deskbook(2009)

사업 성공을 위해서는 잘 훈련된 CTE 식별이 중요하며 만약 CTE가 간과되어 요구되는 성숙도 수준을 달성하지 못할 경우, 사업은 시스템 성능, 일정 및 비용 모든 측면에서 위험에 처하게 된다.

반대로 매우 보수적인 접근으로 CTE가 과다 식별될 경우 실질적으로 성숙되어야 할 기술에 에너지와 노력을 집중하지 못하게 되어 목표 달성과 멀어지게 된다.

미 국방부의 CTE 선정 기준은 그림 13과 같으며 CTE는 총 6개 질문 중 1번 질문을 충족하면서 나머지 2번부터 6번까지 질문 중 1개 이상을 충족해야 한다.

No	Question
1	Does the technology have a significant impact on an operational requirement, cost, or schedule?
2	Does this technology pose a major development or demonstration risk?
3	Is the technology new or novel?
4	Has the technology been modified from prior successful use?
5	Has the technology been repackaged such that a new relevant environment is applicable?
6	Is the technology expected to operate in an environment and/or achieve a performance beyond its original design intention or demonstrated capability?

[그림 13] 미 국방부의 CTE 선정 조건

* 출처 : 미 DoD TRA Deskbook(2009)

미 국방부 기준의 CTE 선정 항목을 살펴보면 “significant”, “new”, “major” 및 novel” 등과 같이 기준이 모호하고 주관적인 판단이 필요한 문장이 포함되어 있다.

미 국방부는 하드웨어 기술 중심으로 TRL을 개발하여 활용하였다. 다만 미 국방부 TRA Deskbook(2009)에 와서는 하드웨어와 소프트웨어가 다르기 때문에 CTE를 각각 구분하여 식별하고 평가하는 가이드를 제공한다[21]. 그러나 미 국방부 TRA Guidance(2011)는 다시 하드웨어 중심의 TRL로 복귀하였다.

그리고 TRA는 주요 국방 획득 프로그램 (MDAP, Major Defense Acquisition Program)과 기술적 위험이 존재하는 사업에 한하여 수행하도록 하였다. DoD TRA Guidance(2011)는 기존 주요 의사결정 시점마다 TRL 목표 달성을 의무화하던 것을 축소하고 체계개발단계 진입 시점인 마일스톤 B(탐색개발 종료시점)에서만 TRA를 수행하도록 했다[22].

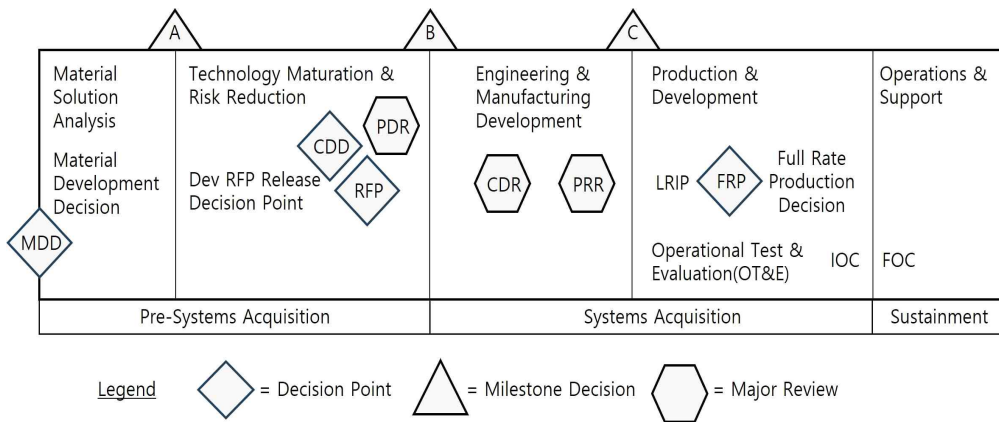
미 NASA(2016)는 CTE 식별기준으로 첫째, 신기술이고 둘째, 목표로 하는 체계 운용 요구사항을 만족시키기 위해 새로운 기술에 의존해야 하고 셋째, 새로운 기술이 프로젝트의 비용과 일정에 미치는 영향이 중대한 기술로 모든 조건을 만족해야 CTE로 간주했다[15]. 미 GAO(2022)는 기술 위험에 대한 포괄적 평가를 위해 중요한 모든 기술이 식별되어야 한다고 말한다. CTE를 정확하게 식별할수록 무기체계 획득사업의 예산과 일정 등 주요 자원의 낭비를 막을 수 있다. 또한, 선정된 CTE 수에는 제한이 없지만 CTE를 너무 보수적으로 과도하게 식별하는 경우, 기술 성숙 노력을 위한 자원이 많이 투입될 뿐 아니라 자원의 집중이 분산될 수 있다. 반면 너무 낙관적으로 CTE를 과소 식별할 경우, 체계 요구사항을 만족시키지 못해 시스템 오류가 발생할 수 있다고 한다[22]. 미 GAO(2020)는 TE가 사업적(Programmatic), 기술적(Technical) 측면의 질문을 충족할 경우 CTE 후보에 포함되도록 권고하고 있다[23]. GAO에서 제시한 CTE 선정 기준도 모호하거나 주관적 판단이 요구되는 문구(직접적인, 중대한 등)가 포함되어 있다. 동일 사업이었던 Columbia program의 경우 관련 기관별로 CTE 선정 기준을 다르게 적용하여 기관별로 서로 다른 CTE 후보를 선정한 사례가 있다. 콜롬비아 잠수함 개발사업의 5가지 CTE 후보(원자로, 추진기, 전원통합시스템, 미사일, 스텔스시스템) 중 해군이 1개, 국방부가 5개, GAO가 4개의 CTE를 선정하여 기관별 차이를 보였다[4].

CTE 선정은 TRA의 시작이자 사업의 성공 여부를 결정하는 매우 중요한 요소이기 때문에 현재 사용되고 있는 모호한 기준(문구)을 가진 체크리스트 방식의 문제를 해결할 수 있는 방법론 관점의 해결책이 필요하다. 이와 더불어 앞서 설명한 바와 같이 CTE도 시스템 통합

관점에서 HW, SW 및 IF CTE로 구분되어야 하며 체계공학 활동을 참조하여 체계적인 과정을 통해 식별되어야 한다.

(3) 기술성숙도평가(TRA)

미 국방부는 2000년대부터 무기체계 연구개발 사업에 대해 TRA를 수행하고 그 결과를 참조하여 주요 의사결정에 활용하고 있다.



[그림 14] 미국의 국방획득체계

* 출처 : <http://acqnotes.com>

그림 14는 미국 무기체계 연구개발 프로세스를 보여주는 국방획득체계로 각 단계에서 수행되는 마일스톤 A(선행연구 종료시점), B(탐색개발 종료시점), C(체계개발 종료시점)에서 단계 전환 의사결정이 수행된다.

획득 대상체계가 첨단화, 복잡화 및 고가화되면서 미 국방부는 획득 정책의 주안점을 성능과 비용보다는 위험관리에 더 중점을 두었다.

따라서 소요 기술은 체계개발 착수 이전까지 성숙 되어야 한다는 원칙을 정하고 TRA Deskbook(2009)에 세부 수행지침을 포함했다. 주요

획득 단계 전환을 위해서 마일스톤 B에서는 TRL6 이상, 마일스톤 C에서는 TRL 7 이상을 요구했다[21]. 그러나 2011년 획득 프로그램 간소화를 목적으로 주요 국방 획득 프로그램에 해당하는 사업과 기술적 위험이 있다고 판단하는 사업에 대해서만 TRA를 수행하도록 하였다. 개정된 2011년 TRA 가이드는 국방획득체계의 주요 마일스톤마다 TRL 목표 달성을 의무화하던 것을 축소하고 체계개발단계 진입 시점인 마일스톤 B에서만 TRA를 수행하도록 했다.

미 국방부는 다음 5단계 절차에 따라 TRA를 수행한다. ①TRA 계획을 수립한다. ②SME(Subject Matter Expert)팀을 구성한다. ③평가 대상 기술을 식별한다. ④성숙 여부를 판단하는 근거를 수집한다. ⑤최종 기술성숙도를 평가한다[22].

미 GAO 또한 미 국방부와 유사한 5단계 TRA 절차를 가지고 있다. ①TRA 계획을 수립하고 팀을 구성한다. ②핵심기술을 식별한다. ③핵심 기술을 평가한다. ④TRA 보고서를 작성한다. ⑤TRA 보고서 결과를 활용한다[23].

기술성숙도 평가는 반드시 독립된 전문가팀이 수행하여 객관성을 확보하는 것이 가장 중요하다. 평가팀은 확보된 근거자료를 바탕으로 CTE를 평가한다. CTE 평가 결과를 뒷받침하는 근거자료를 재확인하고 체계개발 진입을 위한 기술성숙도를 확보하였는지 결정한다. TRA 결과 보고서를 작성하여 관련기관에 공유한다.

미 국방부(2011)는 TRL 가운데 소프트웨어 기술성숙도에 대한 정의를 삭제했다. 그리고 사업관리자(PM, Project Manager)가 기술적 위험이 있다고 판단하는 사업에 대해서만 TRA를 수행하도록 했다[22].

NASA(2016)는 TRL에 소프트웨어 정의가 사용되지 않고 CMMI와

같은 다른 수단이 소프트웨어 성숙도를 특성화 하는데 사용되고 있다고 검토하였다[15].

미 GAO(2020)는 하드웨어의 경우 물리적 속성으로 인해 가시적이지만 소프트웨어는 보이지 않는 특성 때문에 본질적으로 하드웨어에 비해 평가하기 어렵다고 주장한다. 그러나 지난 10년 동안 프로토타입 사용에 중점을 두어 소프트웨어 개발관리를 잘 할 수 있는 방법에 대한 지식이 증가된 것으로 분석하였다. 또한, 일부 전문가들은 특정 평가도구가 소프트웨어 개발 노력을 평가하는데 적합하지 않다고 지적하지만 새로운 평가도구 또는 기존 도구의 변형이 소프트웨어 프로젝트에 대한 TRA를 수행하는 데 사용되고 있다고 한다[23].

결론적으로 SW 기술이 HW 기술과 다른 점을 확인하였고 체계공학의 시스템 통합 관점을 활용하게 되면 TRL 또한 HW, SW 및 IF 측면에서 별도 정의될 필요가 있다. 따라서 TRA도 HW, SW 및 IF 측면에서 구분된 CTE에 대해 각 분야별로 정의된 TRL를 기준으로 수행되어야 한다. 다만 시스템 수준의 성숙도는 현재와 같이 가장 낮은 기술성숙도를 채택하여 위험관리 목적에 맞도록 활용되어야 한다.

2.2. 국내 선행연구

(1) 기술성숙도수준(TRL) 지표

국내 국방 분야 기술성숙도 평가에 적용하는 TRL 지표는 그림 15와 같으며 미 국방부의 TRL 지표를 도입하여 활용하고 있다.

TRL	정의	설명
1	기본 원리 이해 단계	기술개발의 가장 낮은 단계로, 과학적 연구 결과가 응용연구개발 단계로 전이되기 직전 단계
2	기술개념 형성 및 응용분야 식별 단계	기본원리가 이해된 후 응용분야를 식별함. 응용내용이 아직은 이론 수준으로서 추론을 뒷받침할 실험적 증명이나 상세 분석이 이루어 지지 않은 상태임
3	주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념 입증 단계	활발한 연구개발이 시작됨. 기술을 적절한 대상에 응용하기 위한 분석적 연구, 분석 결과가 물리적으로 유효함을 입증하는 실험실 수준의 연구를 포함. 타 부품에 적용되지 않았거나 성능이 완전하지 않은 부품 수준도 포함됨
4	실험실 환경에서 구성품 또는 조립품 (Breadboard) 수준의 성능 입증 단계	부품이 결합되어 구성품 또는 조립품 수준에서 불안정하지만 기본적인 성능을 보임
5	유사 운용환경에서 구성품 또는 조립품 (Breadboard) 수준의 성능 입증 단계	구성품 및 조립품(Breadboard)의 성능 안정성이 상당히 향상됨. 성능의 충실성을 높이도록 실험실에서 구성품을 조립하는 것도 포함
6	유사 운용환경에서 체계·부체계 모델 또는 시제품의 성능시험 단계	TRL 5 수준 이상의 대표적인 모델 또는 시제품이 유사 운용 환경에서 시험됨
7	운용환경에서 체계 시제품의 성능 시연 단계	운용환경에서 시제품에 대한 성능 시연을 수행하는 단계로서, 체계공학과 개발 관리 신뢰성을 보증하는데 목적이 있음
8	시험 및 시범을 통해서 실제체계의 완성 및 시연 단계	예상되는 조건하에서 최종 완성된 형태로 기술이 입증됨. TRL은 거의 모든 상태에서 실제 체계의 개발이 완성된 상태를 표현함(최초생산품에 대한 초도시험평가가 완료됨)
9	성공적인 임무 운용을 통한 실제체계의 입증 단계	최종 형태 및 임무조건 하에서 기술의 실제적인 운용이 완성된 상태(최초 운용능력 (IOC, Initial Operating Capability) 확인으로 임무 및 운용성이 입증됨)

[그림 15] 기술성숙도(TRL) 수준별 정의

* 출처 : 방위사업청 TRA 업무지침(2019)

국내 TRL 역시 하드웨어 중심이고 SW에 대한 기술 수준은 별도 정의되어 있지 않다. 다만 TRL 수준별 체크리스트에 SW관련 질의와 가중치를 일부 포함하고 있다. 국방 분야에서는 TRL 지표 자체에 대한 특별한 연구 활동이 진행되지 않았다.

(2) CTE 식별 방법

한국군은 그림 16에서 제시한 표준 체크리스트를 활용하여 CTE를 도출한다. CTE는 1번 항목을 충족시키고 동시에 2번~5번 항목 중 하나 이상을 충족시켜야 한다.

No	표준 체크리스트	비고
1	해당 기술이 운용 요구사항, 비용, 일정 등에 중대한 영향을 주는가?	반드시 충족 적어도 하나 이상 충족
2	해당 기술이 개발 또는 시연 시 실패 위험을 포함하는가?	
3	해당 기술이 무기체계에 적용된 실적이 없는 새로운 기술인가?	
4	기존에 성공적으로 적용된 기술인 경우, 금번 개발 시 변경된 사항이 있는가?	
5	해당 기술이 새로운 운용환경에 적용되는가?	
6	해당 기술이 개발과정에서 초기 설계목표 혹은 요구 성능을 초과하여 개발해야 할 것으로 예상되는가?	

[그림 16] CTE 선정 조건

* 출처 : 방위사업청 TRA 업무지침(2019)

안보경영연구원(2018)은 CTE 도출 기준이 되는 표준 체크리스트에 주관적인 판단이 개입될 수 있는 문구가 포함되어 있고 그 결과로

CTE를 선정하는 과정에서 일관성 있는 결과의 도출이 어려울 수 있으며 충실한 CTE 선정이 이루어지지 않을 가능성을 제시했다.

배윤호 외(2009)는 정성적인 현행 CTE 선정기준에 추가하여 체계공학을 기반으로 시스템 구성 기술간 통합관계를 정량화하고 잠재적 위험을 보유한 하부 기술 요소를 식별하여 위험성을 보유한 기술 요소의 관리 방안을 제안했다[33].

국내 연구 활동을 보면 CTE 선정이 TRA에 있어서 매우 중요한 활동임에도 불구하고 개선을 위한 연구가 활발하게 이루어지지 않는 상태이다. 평가자의 주관적 판단 개입 가능성을 최소화하고 일관성 있는 판단을 내릴 수 있는 절차와 기준 개발이 필요하다.

(3) 기술성숙도평가(TRA)

우리군은 방위사업청의 기술성숙도평가 업무지침(2019)에 근거하여 TRA를 수행하고 있다.

안보경영연구원(2018)은 우리군의 TRA 수행실적 및 활용 실태를 다각적으로 분석하여 TRA 단계별 쟁점사항 및 내실화 방안을 제시하였다[4].

권일호 외(2013)는 체계개발시 작전운용성능(ROC)를 충족하면서 위험관리를 위한 방법으로 시스템 성숙도 평가 모델을 제안했다. 제안 모델은 시스템 성숙도를 평가하기 위해 TE간 통합과 TE의 개발난이도를 동시에 고려하였다[34].

김미선 외(2021)는 TRA를 위한 정성적 판단항목의 ‘미충족 항목이 사업에 미치는 영향도’를 기술성숙도 평가 결과에 정량적으로 반영하기 위해 가중치 산출 방법을 활용한 개선방안을 제안했다[35].

그동안 TRA에 대한 연구는 제도적 개선을 위한 노력과 시스템 성숙도

평가를 포함한 정략적 평가의 개선에 중점을 두고 있었다.

TRA는 분야별 전문가에 의해 수행된다. 실질적으로 TRA에 처음 참여하는 전문가는 TRL, TRA 방법을 짧은 시간에 숙지하기 어렵다. 현재의 체크리스트 방식의 TRA는 모호한 문구가 포함되어 있어 평가자 주관이 개입되기 쉽다. 좀 더 쉽고 직관적인 TRL의 개발과 TRA 절차의 개선이 필요하다.



2.3. 선행연구 시사점

우리나라를 포함하여 대부분의 국가는 NASA에서 개발한 9단계 TRL 지표를 TRA에 활용하고 있다. 하지만 9단계 TRL은 개별기술에 대한 성숙도 평가에 특성화 되어 있고 전체 체계관점에서의 평가가 부족한 점, 하드웨어에 치우쳐 있는 점, 용어에 대한 정의가 추상적인 점 등 한계 사항이 존재한다.

Mankins(2002)는 ITAM에서 ITI를 처음 제안했고 Gove(2007)에 의해 기술간 인터페이스 성숙도를 측정하는 IRL이 개발되었다. 이후 Sauser Brian은 TRL 9단계 지표와 IRL을 활용하여 전체 시스템 수준의 SRL을 산출하는 방법을 연구하였다. 9단계 TRL과 IRL 평가 결과를 활용하여 전체 시스템 관점의 SRL를 계산하는 것은 전체 시스템을 대표하는 성숙도를 하나의 값으로 도출하거나 시스템 간 성숙도를 상대 비교하는데 의미가 있다. 그러나 위험관리 관점에서는 현행과 같이 가장 낮은 기술성숙도를 전체 시스템의 기술성숙도 값으로 채택하는 것이 좀 더 합리적이라 판단한다.

무기체계 연구개발에서 소프트웨어가 차지하는 비중이 높아지고 그 중요성은 날로 커지고 있다. 하드웨어와 다른 특성을 가진 소프트웨어는 미 GAO와 같이 상호 구분되어 관리되어야 한다. 소프트웨어 CTE는 하드웨어와 구분되어 도출되고 TRL도 별도 정의되어 기술성숙도 평가가 수행될 필요가 있다.

개별 기술간 인터페이스 기술의 성숙도를 나타내는 IRL은 체계공학의 시스템 통합 측면과 유사한 개념을 가지고 있다. 다만 시스템 통합 대상, 인터페이스 식별 방법 등은 체계공학 활동을 도입하여 기술전문가에게 익숙한 방법으로 가이드를 제시할 필요가 있다.

국내 연구는 관련 조직의 역할과 절차를 수정하는 제도적 개선 측면의 연구와 시스템 성숙도 평가의 도입을 포함한 정량적 평가의 개선에 중점을 두었다. 현재의 CTE 선정을 포함한 TRA는 체크리스트 방식으로 주관이 개입되기 쉬운 한계점이 발견되었다. 좀 더 명확한 CTE 선정 방법에 대한 연구와 시스템 통합 관점의 TRA 방법에 대한 연구가 필요하다.

이와 더불어 획득 프로그램 간소화 차원에서 TRA 대상을 축소하고 마일스톤 B(탐색개발 종료시점)에서만 수행하도록 제한한 미국의 조치는 제도 개선 측면에서 긍정적인 시사점을 제공한다.

TRA는 기술전문가가 평가한다. 하지만 모든 기술전문가들이 TRL과 TRA를 잘 이해하고 있지는 않다. 따라서 이해하기 쉽고 사용하기 쉬우며 간단하고도 직관적인 TRA 도구가 필요하다.

무기체계 연구개발에 참여하는 기술전문가는 대부분 체계공학에 익숙하다. 체계공학의 시스템 통합 관점에서 HW, SW 및 IF 측면에서 CTE를 도출하고 분야별로 TRL을 정의하여 TRA를 수행한다면 TRA 수행법을 익히는데 시간을 훨씬 절약하게 될 뿐만 아니라 체계적 접근법을 제공할 것이다. 또한 체크리스트 기반의 평가보다는 수준별 Output 이미지를 떠올릴 수 있는 간단한 TRL 기준과 세부적인 평가 절차를 가진 방법론을 제공한다면 훨씬 쉽고 직관적인 평가가 가능할 것이다.

3. 연구방법 고찰

본 연구는 문헌 고찰을 통해 도출된 현 TRA의 문제점을 해결하기 위해 TRA 프레임워크를 개선하는 연구이다.

개선된 프레임워크는 Case Study와 질적 연구의 In-depth 인터뷰를 활용하여 그 실효성을 확인하였다.

임도빈(2009)은 계량화되지 않은 이해관계자들의 의견을 종합, 분석하여 이견 등을 체계적으로 합의해 가는 접근법으로 질적 연구방법론(Qualitative Research)를 정의했다[32].

질적 연구는 양적 연구방법(Quantitative Research)이 양적 자료를 바탕으로 한 기계적인 연구라는 비판과 함께 후기 실증주의에 근거하여 출현하였다.

질적 연구 과정은 양적 연구와 같이 엄격한 절차에 따라 진행되지는 않는다. 질적 연구는 논리적인 연구 절차를 반복하고 절차보다는 연구 내용에 비중을 두어 양적 연구와 차별을 두었다.

질적 연구 방법에는 질적 면접, 참여 관찰 및 문헌 분석 등이 있다.

질적 면접은 심층적(In-depth) 면접, 반 구조화된(Semi-structured) 형태의 면접과 느슨하게 구조화된(Loosely structured) 형태의 면접으로 나눌 수 있다. 그러나 일부에서는 구조화된 질문에 사용된 개방형 질문도 질적 면접의 범위에 포함하기도 한다. 1:1 또는 그룹 형태로 수행된다.

참여 관찰은 조사(Survey)의 기초로 양적 조사와 질적 조사에 모두 사용된다. 연구자의 개입 정도가 조사 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다.

문헌 분석은 기존의 문헌, 자료, 문서, 출판물 등을 분석하여 정보를 수집하고 이해하는 과정을 말한다.

질적 연구와 양적 연구의 차이는 그림 17과 같다[36].

구 분	질적 연구	양적 연구
사회 이론	작용, 행동	구조(Structure)
방 법	면접(Interview), 관찰, 문헌 분석	실험, 조사(survey)
연구 주제	X가 필요한가? (합의)	X가 유의미한가? (계량)
추론 방법	귀납적 (시간 경과에 따른 종단적 의견 도출)	연역적 (실험 방식으로 제3변수 통제)
표본 추출 방법	이론적/관찰적	통계적
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 정확도, 타당도 • 자료의 일차적 의미 파악 • 비표준화 • 연구대상을 총체적으로 파악 • 사례사, 관찰, 면접 	<ul style="list-style-type: none"> • 신뢰도 • 일반화에 유용 • 표준화 • 특정변수의 효과 분리 • 상관성, 인과성

[그림 17] 질적 연구와 양적 연구 비교

* 출처 : 권재국(2018)

질적 연구는 “X가 필요한가?”와 같은 주제로 합의 도출을 목적으로 접근하며 시간 경과에 따른 종단적 의견 도출을 위해 귀납적 추론법을 사용한다. 또한 질적 연구는 비표준화 되어 있지만 연구 대상을 총체적으로 파악하는 특징이 있다.

연구 유형에는 그림 18과 같이 크게 4가지가 있다. 유형 I은 대표적인 양적 연구 유형이다. 유형 II는 자료 수집을 위해 개방적 접근법을 활용하지만 실 연구의 주장하는 바를 수치로 판별한다는 점에서 좁은 의미에서는 질적 연구에 해당하지 않는다[36].

유형 II를 제외하면 진정한 의미의 질적 연구 유형은 유형 III와 유형 IV가 된다. 이 두 유형의 공통점은 분석단계에서 연구자의 주관적인 해석 능력에 의존도가 크다는 점이다.

유형Ⅲ는 상향(근거) 이론으로 철저히 개방적인 태도로 사실을 이해하고 귀납적 방법으로 결론에 도달한다. 유형Ⅳ는 분석단계에서 연구자의 주관적 해석이 무엇보다 중요하며 부분적 분석보다는 사회를 전체적으로 이해하려고 한다[32].



[그림 18] 질적 연구 유형

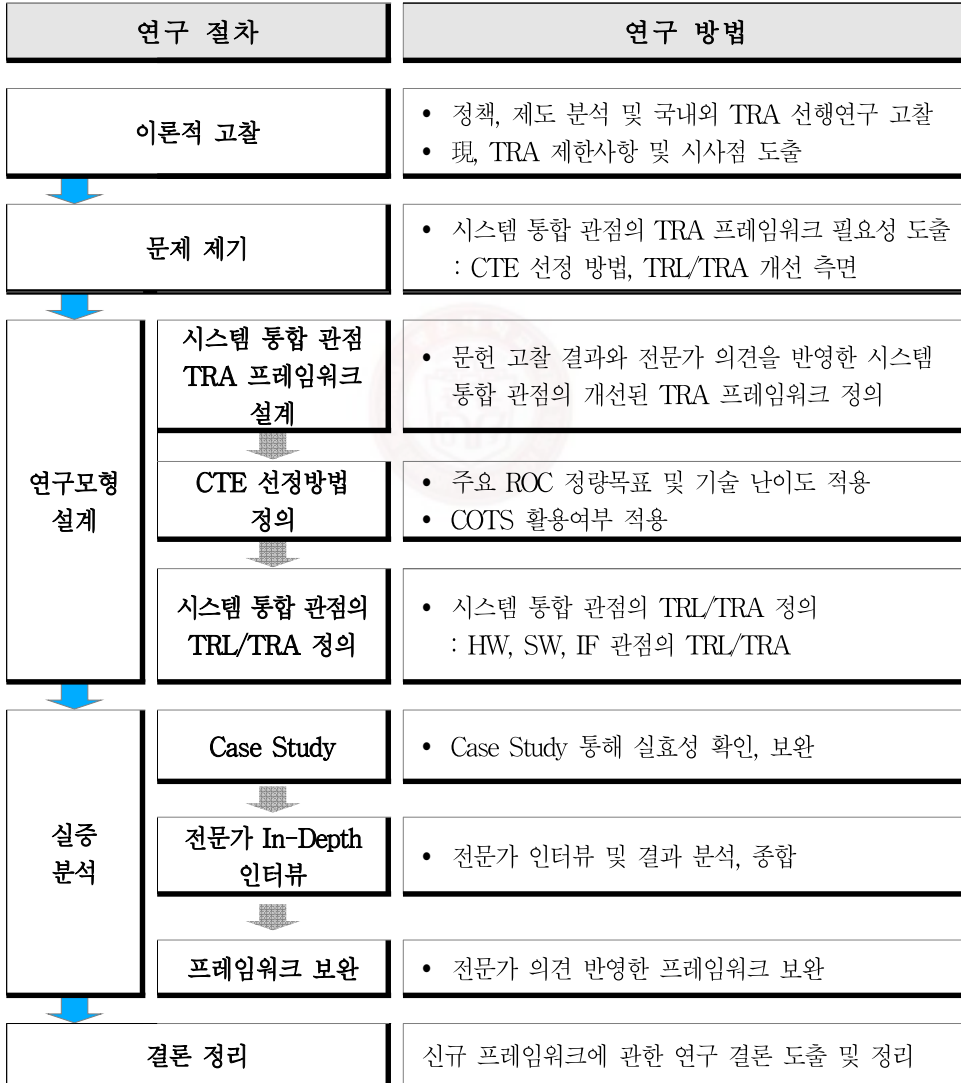
본 연구는 시스템 통합 관점에서 TRA 프레임워크를 새롭게 개선하여 선행연구에서 제기된 현행 TRA의 한계점을 극복하는 것이다. 새로운 TRA 프레임워크는 선행연구 결과물을 근거로 연구자가 새롭게 고안한 것으로 전문가의 깊은 검토와 의견을 기준으로 검증해 나가는 질적 연구방법론의 적용(유형Ⅲ,Ⅳ)이 적합할 것으로 판단한다.

이와 더불어 연구진이 실제 개발에 참여했던 3가지 사업을 대상으로 Case Study를 수행하였다. Case Study는 제안 프레임워크의 효용성을 확인하고 보완점을 찾아내는 도구로 활용하였다.

III. 연구모형 설계

1. 연구절차 및 방법

본 연구는 그림 19와 같은 연구 절차 및 방법에 따라 수행하였다.



[그림 19] 연구 절차 및 방법

이론적 고찰 단계는 국내 연구개발 중심의 획득 정책을 확인하고 국내 획득 가능성에 대한 의사결정 수단으로 활용되고 있는 TRA 제도를 분석하였다. 이와 더불어 TRL, TRA 측면에서 현재까지 수행된 국내외 선행연구를 고찰하여 NASA에서 최초 개발되어 각 기관의 특성에 맞춰 활용하고 있는 9단계 TRL과 TRA의 제한사항과 시사점을 도출하였다.

문제 제기 단계에서는 연구자 관점에서 이론적 고찰단계에서 도출된 제한사항과 시사점으로부터 CTE 선정 측면, 시스템 통합 관점의 TRL/TRA 측면에서 문제점을 정의하였다.

연구모형 설계단계에서는 식별된 문제점을 해결하기 위해 시스템 통합 관점의 TRA 프레임워크를 설계하고 TRA 평가 경험이 많은 국방전문가의 의견을 반영하여 보완하였다. 새로운 TRA 프레임워크는 시스템 통합 관점의 CTE 선정과 그에 따른 TRL, TRA 절차를 포함하도록 하였다.

실증 분석 단계에서는 연구진이 참여한 3개의 사업에 적용하여 실효성을 확인하고 미흡한 사항은 보완하였다. 이후 전문가 In-depth 인터뷰를 통해 제안 TRA 프레임워크에 대한 의견을 청취한 후 결과를 정리하고 프레임워크를 보완하였다.

결론 정리 단계에서는 Case Study 및 전문가 인터뷰에 따른 다양한 결과를 분석, 종합하고 문제 제기 단계에서 식별된 문제점과 제안된 TRA 프레임워크에 대한 종합적인 결론을 도출하였다.

본 연구는 현행 정책, 제도 및 국내외 선행연구에서 도출된 문제점을 개선할 수 있는 TRA 프레임워크를 개발하는 중점을 두었다. Case Study와 In-Depth 인터뷰를 통해 제안 프레임워크를 보완하고 실효성을 확인함과 동시에 다양한 의견을 수렴하였다.

2. 문제 제기

2.1. 시스템 통합 관점의 CTE 선정 측면

TRA 수행을 위한 선행 활동 중 가장 중요한 활동이 CTE 선정이다.

국내에서 활용되는 CTE 선정 방법은 추상적인 용어가 포함되어 주관이 개입되기 쉬운 체크리스트 방식을 활용한다. 따라서 CTE 선정 회의 시 CTE 진위 여부에 대한 논란이 늘 있다. 좀 더 명확한 CTE 선정 방법에 대한 연구가 필요하다.

미 GAO(2020)에 따르면 CTE는 수에 제한이 없어야 하며 CTE를 과도하게 선정할 경우 정작 중요한 기술에 집중되어야 할 자원의 집중이 분산될 소지가 있고 과소 식별될 경우 요구사항을 충족하지 못하여 시스템 성능을 만족시킬 수 없다고 한다. 두 경우 모두 사업 성공을 저해하는 요소가 된다. 따라서 CTE 선정기준을 명확히 하고 현재의 체크리스트 방식에서 벗어나 방법론 차원으로 절차를 세분화하여 주관의 개입을 최소화할 필요가 있다.

참고문헌 고찰에서 보면 SW는 HW와 다른 특성을 가짐으로 구분될 필요가 있다. 개별 기술간 인터페이스 기술을 식별하여 통합성속도를 나타내는 IRL은 체계공학의 시스템 통합 활동과 유사한 점이 많다. 따라서 CTE 선정시 HW와 SW CTE를 구분하고 IF CTE는 기술적 WBS로부터 HW와 SW 구성항목간 인터페이스 관계를 활용하여 식별할 수 있도록 하였다.

시스템 통합 관점의 TRA가 수행되기 위해서는 TE를 HW, SW 및 IF 기술로 구분하고 CTE는 제안 프레임워크가 제공하는 명확한 기준과 절차에 따라 분야별로 선정되어야 한다.

2.2. 시스템 통합 관점의 TRL/TRA 측면

TRL/TRA 측면에서 보면 국내외 거의 모든 제도권 내에서 사용되고 있는 9단계 TRL은 개별기술에 특화되어 있으며 다음과 같은 한계가 여전히 존재한다. ①주관적 평가 가능성 ②시스템 간 통합을 다루는 데 한계성 ③SW보다는 HW에 집중 ④용어에 대한 정의 부족이다.

이후 이러한 제한사항을 보완하기 위하여 IRL과 SRL에 대한 연구 활동이 진행되었으나 제도화되지 않았다.

IRL은 개별 CTE간 인터페이스 기술을 식별하고 인터페이스 기술 성숙도를 평가한다. 체계공학의 시스템 통합 관점에서 보면 통합 대상에 대한 정의, 인터페이스 식별 방법, 인터페이스 소요기술 도출 측면에서 보강이 필요하다.

SRL은 기존 TRL과 IRL를 활용한 매트릭스로 전체 시스템의 기술성숙도를 하나의 숫자로 정량화한다. SRL 또한 HW에 치우친 TRL을 사용하기 때문에 HW, SW 및 IF 기술을 별도 구분하지 않는다. 시스템 통합 관점에 따라 HW, SW 및 IF TRL이 구분되어 각각 TRA가 수행될 필요가 있다.

SRL은 시스템간 성숙도를 상대적으로 비교하기 위한 수단으로 의의가 있다. 그러나 기술성숙도 평가는 근원적으로 미성숙 기술을 바탕으로 한 위험관리에 있기 때문에 시스템 수준의 성숙도는 HW, SW 및 IF CTE 중 가장 낮은 기술성숙도를 활용하는 것이 합리적이라 판단한다.

현행 TRA은 체크리스트 방식을 채택하고 있어 평가자의 주관에 개입될 수 있고 HW, SW를 구분하여 평가하지 않는다. 체크리스트 항목을 명확히 하고 세분화하는 것도 도움이 될 수 있지만 각 지표의 Output 수준과 검증 환경(Environment) 등을 차별화하여 각 수준을

명확히 구분할 수 있다면 TRL 지표만으로도 직관적인 평가가 가능할 것이다.

새로운 프레임워크는 시스템 통합 관점에서 HW, SW 및 IF CTE를 평가할 수 있도록 TRL를 별도 정의하고 분야별 TRA가 수행될 수 있도록 세부 절차를 제공해야 한다.

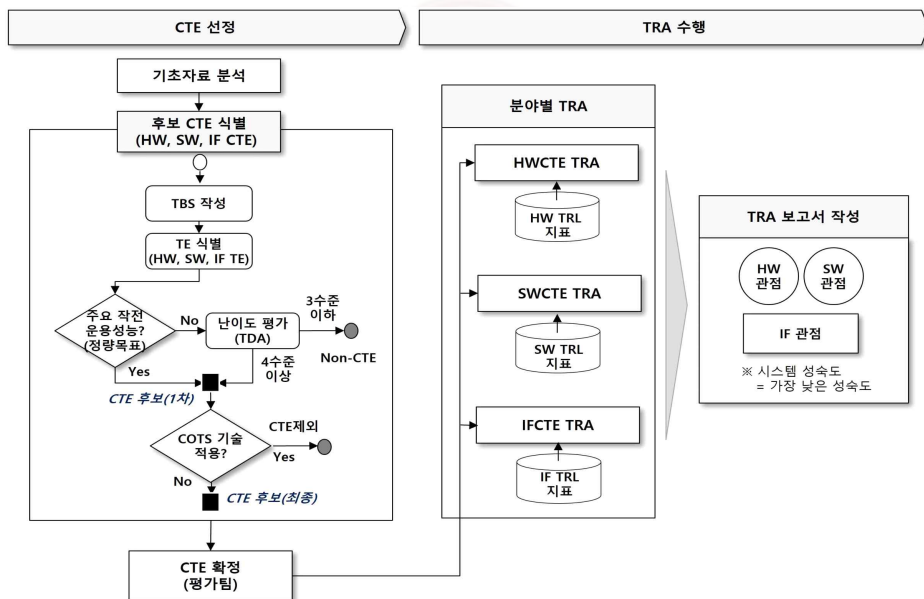


3. 시스템 통합 관점의 TRA 프레임워크

3.1. TRA 프레임워크 개요

시스템 통합 관점의 TRA 프레임워크는 그림 20과 같다. TRA는 CTE 선정 단계와 TRA 수행 단계로 나누어 수행한다.

현재 국내에서 시행되고 있는 3단계 TRA 절차(①사전준비, ② CTE 선정, ③평가)에서 1단계 TRA 평가계획 수립 활동은 개선 활동 대상에서 제외하였다. 본 연구는 CTE 선정 단계와 TRA 수행 단계의 프로세스 개선에 중점을 두었다.



[그림 20] 시스템 통합 관점의 TRA 개선 프레임워크

CTE 선정 단계는 총 3단계(①기초자료 분석, ②후보 CTE 식별, ③ CTE 확정)로 나누었다.

사전 준비 활동을 통해 수집된 기초자료를 분석하여 후보 CTE를 식별한다. 후보 CTE는 하드웨어, 소프트웨어 및 인터페이스 관점에서 식별한다. 후보 CTE 식별은 총 5개의 부 프로세스로 구성된다. ①TBS(Technical Work Breakdown Structure)를 작성한다. ②체계 구성요소별 기술요소(TE)를 식별한다. 하드웨어, 소프트웨어 기술요소를 식별하고 각 기술요소 간 인터페이스 관계를 규명하여 필요한 인터페이스 기술을 식별한다. ③식별된 기술요소에서 주요 작전운용성능(정량목표) 여부를 판단한다. 분야별 기술요소(TE)가 주요 작전운용성능(정량목표)와 관련된 항목인 경우, CTE 후보(1차) 항목으로 분류하고 아닐 경우, 난이도 평가 대상이 된다. ④기술요소에 대한 난이도를 판단한다. 난이도는 기술적 난이도(TDI, Technical Difficulty Index)를 통해 판단한다. 난이도가 3수준 이하이면 기술적 위험이 낮음으로 CTE에서 제외한다. 난이도가 4수준 이상이면 CTE 후보(1차) 목록에 포함한다.

CTE 후보(1차) 목록을 대상으로 ⑤상용(COTS, Common Off The Shelf) 기술의 적용 여부를 판단한다. 적용 가능한 상용기술이 존재할 경우 CTE에서 제외한다. 적용 가능한 상용기술이 존재하지 않는 기술은 개발 대상으로 최종 CTE 후보가 된다. 이렇게 식별된 최종 CTE 후보 목록은 근거자료와 함께 제출하고 전문가로 구성된 평가팀에 의해 최종 확정된다.

TRL 평가는 2단계 프로세스로 구성하였다. ①분야별 TRA 단계에선 식별된 분야별 CTE를 해당 TRL 지표에 따라 기술 수준을 평가한다. 선정된 전문가는 하드웨어 CTE, 소프트웨어 CTE 및 인터페이스 CTE에 대한 기술성숙도를 평가한다. ②TRA 보고서 작성 단계에서는 TRA 보고서를 작성한다. 전체 시스템 성숙도는 기술 수준이 가장 낮은 CTE의

기술성속도로 한다.

개선된 프레임워크와 기존 방식의 차이점은 표 5와 같다. 시스템 통합 관점을 적용하여 HW, SW 및 IF 측면에서 TE와 CTE를 식별하고 TRL를 각각 정의하여 분야별 TRA를 수행한다.

체계공학 기법을 활용하여 HW, SW를 구분하여 HWTE와 SWTE를 식별하고 HW, SW 구성항목 간 인터페이스를 식별하여 IFTE를 도출하는 방법을 제시하였다.

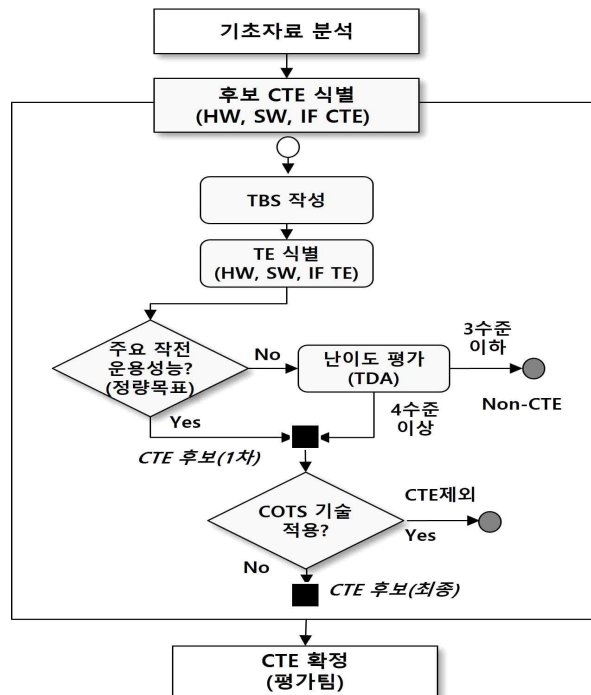
CTE 선정은 주요 ROC 정량목표, 기술 난이도 평가 및 COTS 기술 적용여부를 순차적으로 활용하여 쉽고, 명확한 선정이 가능하게 하였다.

[표 5] 기존 방식과 차이점

구 분	기존 방식	제안 방식
TRA 관점	<ul style="list-style-type: none"> • HW 관점 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 관점 - HW/SW/IF 관점 포함
TE 식별	<ul style="list-style-type: none"> • TBS(Technical Work Breakdown Structure)의 Component 수준에서 단일 유형의 TE를 직관적으로 식별 	<ul style="list-style-type: none"> • TE 식별 절차 제시 ① TBS의 HW, SW 구성항목 수준에서 HWTE, SWTE 식별 ② HW, SW 구성항목 간 연동성 고려하여 IFTE 식별
CTE 식별	<ul style="list-style-type: none"> • 체크리스트 기반 단일유형의 CTE 식별 - 필수항목+선택항목 1개 이상 충족시 CTE로 선정 	<ul style="list-style-type: none"> • CTE 기준 및 절차 제시 ① 주요 ROC 정량목표 관련 TE를 CTE 후보(1차)로 선정 ② Non-주요 ROC 정량목표 TE 중 기술 난이도 4 이상의 TE를 CTE 후보(1차)에 추가 ③ CTE 후보(1차) 대상으로 COTS 기술 적용 대상 제외
TRL 기준	<ul style="list-style-type: none"> • HW 중심 단일 TRL 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 관점의 HW, SW, IF TRL 적용
TRA 수행	<ul style="list-style-type: none"> • HW 중심의 TRL을 기준으로 체크리스트 기반 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 관점의 직관적인 TRL 활용하여 평가 - HW/SW/IF TRL 기준

3.2. 시스템 통합 관점의 CTE 선정 모델

CTE 선정을 위한 개선모델은 그림 21과 같이 수행한다. CTE 선정은 총 6단계 절차에 따라 최종 후보 CTE를 식별하고 그 결과를 활용하여 독립적으로 구성된 평가팀에 의해 확정한다.



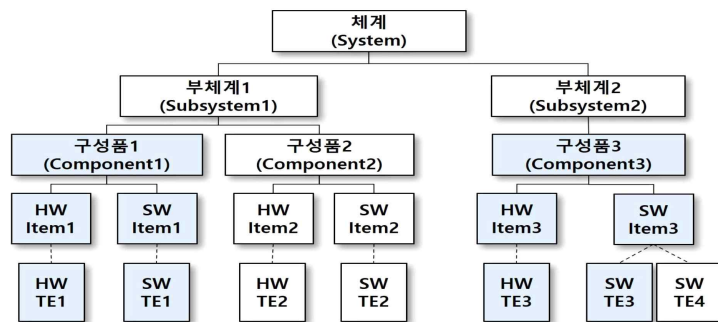
[그림 21] 시스템 통합 관점의 CTE 선정 모델

첫째, 기초자료 분석을 통해 획득 대상체계에 대한 TBS(Technical Work Breakdown Structure)를 작성한다. TBS는 대상체계를 부체계, 컴포넌트 및 HW/SW 구성항목으로 세분화한 것이다.

둘째, TBS 최하위 단계의 HW/SW 구성항목을 개발하는 데 필요한 기술요소를 HW 기술요소(HWTE, Hardware Technology Element)와

SW 기술요소(SWTE, Software Technology Element)로 구분하여 식별한다. 그리고 체계 운용개념의 데이터 흐름을 추적하여 HW 구성항목과 SW 구성항목 간 인터페이스를 식별하고 그 인터페이스를 구현하는 데 필요한 기술요소를 IFTE(Interface Technology Element)로 식별한다.

대상체계에 대하여 기술적으로 세분화한 TBS와 HW/SW 구성항목별 TE간 관계는 그림 22와 같다.



[범례] □ = 주요 ROC(정량목표) 관련 항목

[그림 22] TBS(Technical Work Breakdown Structure)

TBS를 통해 식별한 기술요소(TE) 도출 결과는 표 6과 같이 HWTE 및 SWTE 정의서로 작성한다.

[표 6] HWTE 및 SWTE 정의서(예시)

TBS		HWTE/SWTE	
Level2	Level3	TE ID	TE 정의
부체계 1	구성품 1	HWIE1	HWIE1 정의
		SWIE1	SWIE1 정의

TBS		HWTE/SWTE	
Level2	Level3	TE ID	TE 정의
	구성품 2	HWIE2	HWIE2 정의
		SWIE2	SWIE2 정의
부체계 2	구성품 3	HWIE3	HWIE3 정의
		SWIE3	SWIE3 정의
		SWIE4	SWIE4 정의

시스템 구성요소 간 인터페이스 관계는 표 7과 같이 인터페이스 매트릭스(Matrix)를 활용하여 작성한다.

[표 7] 인터페이스 매트릭스(예시)

TBS		구성품1		구성품2		구성품3		
Level3	Level4	HW Item 1	SW Item 1	HW Item 2	SW Item 2	HW Item 3	SW Item 3	SW Item 4
구성품 1	HW Item 1		IFTE1			IFTE2		
	SW Item 1	IFTE1					IFTE3	
구성품 2	HW Item 2				IFTE4	IFTE5		
	SW Item 2			IFTE4				IFTE6
구성품 3	HW Item 3	IFTE2		IFTE5			IFTE7	IFTE8
	SW Item 3		IFTE3			IFTE7		
	SW Item 4				IFTE6	IFTE8		

시스템 구성요소 간 인터페이스 관계를 통해 식별된 인터페이스 기술요소는 표 8과 같이 IFTE 정의서를 활용하여 작성한다.

[표 8] IFTE 정의서(예시)

인터페이스 구간 (TBS level4)		IFTE	
		TE ID	TE 정의
HW Item 1	SW Item 1	IFTE1	IFTE1 정의
	HW Item 3	IFTE2	IFTE2 정의
SW Item 1	SW Item 3	IFTE3	IFTE3 정의
HW Item 2	SW Item 2	IFTE4	IFTE4 정의
	HW Item 3	IFTE5	IFTE5 정의
SW Item 2	SW Item 4	IFTE6	IFTE6 정의
HW Item 3	SW Item 3	IFTE7	IFTE7 정의
	SW Item 4	IFTE8	IFTE8 정의

셋째, 시스템 통합 관점에서 식별된 기술요소, 즉 하드웨어, 소프트웨어 및 인터페이스 기술요소가 주요 작전운용성능의 정량목표에 해당하는지 여부를 식별한다. 주요 작전운용성능의 정량목표에 해당하는 기술요소를 찾는 활동은 체계공학에서 요구사항을 HW/SW 구성항목의 설계에 할당하는 행위와 유사하다.

무기체계 성능은 전쟁의 승패를 좌우하는 중요한 요소이며, 획득 단계에서는 작전운용성능(ROC, Requirement of Operational Capability)을 통하여 표현한다. 작전운용성능은 소요결정 단계에서 확정되어 총수명주기 동안 주요 의사결정에 결정적 역할을 미친다. 작전운용성능을 만족하지 못할 경우 체계성능 미달은 물론이고 일정 지연 및 획득 비용의 증가 등 지대한 영향을 초래한다. 국방전력발전업무훈령(2022)에서는 작전운용성능을 주요 ROC, 합동성·상호운용성, 보안대책 및 기술적·부수적 성능으로 구분한다. 주요 ROC는 범위형, 오차형 및 이상형/이하형 등으로 무기체계 핵심 성능을 정량화한 것이다.

CTE 선정 첫 번째 활동은 주요 ROC의 정량목표에 해당하는 기술요소를 찾는 것이다. 다만 아직 수치화되지 않는 ROC는 제외한다. 주요 ROC의 정량목표와 관련된 HWTE와 SWTE를 식별한 결과는 표 9와 같이 작성한다.

[표 9] 주요 ROC 정량목표와 관련된 HWTE와 SWTE(예시)

TBS		HWTE/SWTE		주요 ROC 관련 여부
Level2	Level3	TE ID	TE 정의	
부체계 1	구성품 1	HWIE1	HWIE1 정의	●
		SWIE1	SWIE1 정의	●
	구성품 2	HWIE2	HWIE2 정의	×
		SWIE2	SWIE2 정의	×
부체계 2	구성품 3	HWIE3	HWIE3 정의	●
		SWIE3	SWIE3 정의	●
		SWIE4	SWIE4 정의	×

주요 ROC 정량목표와 관련 있는 인터페이스 기술요소는 표 10과 같이 식별하여 작성한다.

[표 10] 주요 ROC 정량목표와 관련된 IFTE(예시)

인터페이스 구간 (TBS level4)		IFTE		주요 ROC 관련 여부
		TE ID	TE 정의	
HW Item 1	SW Item 1	IFTE1	IFTE1 정의	●
	HW Item 3	IFTE2	IFTE2 정의	●
SW Item 1	SW Item 3	IFTE3	IFTE3 정의	●
HW Item 2	SW Item 2	IFTE4	IFTE4 정의	×

인터페이스 구간 (TBS level4)		IFTE		주요 ROC 관련 여부
		TE ID	TE 정의	
	HW Item 3	IFTE5	IFTE5 정의	×
SW Item 2	SW Item 4	IFTE6	IFTE6 정의	×
HW Item 3	SW Item 3	IFTE7	IFTE7 정의	●
	SW Item 4	IFTE8	IFTE8 정의	×

주요 ROC 정량목표와 관련된 기술요소는 모두 CTE 후보(1차) 목록에 포함한다.

넷째, 주요 ROC 정량목표와 관련이 없는 항목을 대상으로 기술 난이도 평가(TDA, Technical Difficulty Assessment)를 수행한다. 기술 난이도 평가시 유사사업 기술자료 등 관련근거를 반드시 확인하고 별도 보관한다. TDA 평가 결과 난이도가 4 이상이면 CTE 후보(1차) 항목에 포함한다. 평가에 활용할 기술 난이도 지표(Technology Difficulty Index)는 표 11과 같다.

[표 11] 기술 난이도 지표

기술 난이도 지표	기술 난이도 정의
1	현재 존재하는 기술
2	현재 존재하는 기술이나 일부 수정이 필요한 기술
3	새로운 기술이나 기존 기술을 활용하여 충분히 개발 가능한 기술
4	새로운 기술이면서 기존 기술이 존재하나 유사도가 낮아 새로운 개발이 필요한 기술
5	유사 기술이 없는 완전 새로운 기술

본 연구에 사용할 기술 난이도 지표는 Bilbro(2007)가 제안한 시스템, 서브 시스템 및 컴포넌트 TRL의 변경에 대한 난이도를 활용하여 재정의한 것이다. 기술 난이도 평가 결과 3수준 이하는 CTE에서 제외하고 나머지 4수준 이상은 CTE 후보에 포함하는 것으로 한다. 새롭게 정의된 난이도 수준은 명확하고 이해하기 쉽도록 9단계 수준에서 5단계 수준으로 재조정하였다. 주요 ROC 정량목표와 관련이 없는 HWTE와 SWTE에 대한 기술 난이도 평가 결과는 표 12와 같이 정리한다.

[표 12] HWTE와 SWTE의 기술 난이도 평가 결과(예시)

TBS		HWTE/SWTE		난이도
Level2	Level3	TE ID	TE 정의	
부체계 1	구성품 2	HWIE2	HWIE2 정의	1
		SWIE2	SWIE2 정의	1
부체계 2	구성품 3	SWIE4	SWIE4 정의	1

주요 ROC 정량목표와 관련이 없는 IFTE에 대한 기술 난이도 평가 결과는 표 13과 같이 정리한다.

[표 13] IFTE의 기술 난이도 평가 결과(예시)

인터페이스 구간 (TBS level4)		IFTE		난이도
		TE ID	TE 정의	
HW Item 2	SW Item 2	IFIE4	IFIE4	1
	HW Item 3	IFIE5	IFIE5	1
SW Item 2	SW Item 4	IFIE6	IFIE6	1
HW Item 3	SW Item 4	IFIE8	IFIE8	4

기술 난이도 평가 결과, 난이도 4 이상인 기술요소만 CTE 후보(1차)에 추가한다. 따라서 CTE 후보(1차)는 표 14와 같이 작성된다.

[표 14] CTE 후보(1차) 선정 결과(예시)

TE		주요 ROC 관련 여부	난이도
TE ID	TE 정의		
HWIE1	HWIE1 정의	●	N/A
SWIE1	SWIE1 정의	●	N/A
HWIE3	HWIE3 정의	●	N/A
SWIE3	SWIE3 정의	●	N/A
IFIE1	IFIE1 정의	●	N/A
IFIE2	IFIE2 정의	●	N/A
IFIE3	IFIE3 정의	●	N/A
IFIE7	IFIE7 정의	●	N/A
IFIE8	IFIE8 정의	×	4

선정된 CTE 후보에 식별자를 별도 부여하여 표 15와 같이 CTE 후보를 정리한다.

[표 15] CTE 후보 식별자 부여(예시)

CTE 후보 ID	CTE 후보(1차)	TE ID
C-HWIE1	C-HWIE1 정의	HWIE1
C-HWIE2	C-HWIE2 정의	HWIE3
C-SWIE1	C-SWIE1 정의	SWIE1
C-SWIE2	C-SWIE2 정의	SWIE3
C-IFIE1	C-IFIE1 정의	IFIE1

CTE 후보 ID	CTE 후보(1차)	TE ID
C-IFTE2	C-IFTE2 정의	IFTE2
C-IFTE3	C-IFTE3 정의	IFTE3
C-IFTE4	C-IFTE4 정의	IFTE7
C-IFTE5	C-IFTE5 정의	IFTE8

다섯째, CTE 후보(1차) 목록으로부터 상용기술을 통해 확보할 수 있는 기술은 제외한다. 만약 상용기술이 해외기술이고 국내에서 기술적 리더십을 위해 반드시 연구개발에 필요하다고 판단하면 그 기술은 상용기술 적용 가능 기술에서 제외할 수 있다.

CTE 후보(1차)를 대상으로 상용기술 가능성을 판단한 결과는 표 16과 같이 정리한다.

[표 16] COTS 기술 적용 여부(예시)

CTE 후보 ID	CTE 후보(1차)	COTS 기술 적용 여부
C-HWIE1	C-HWIE1 정의	×
C-HWIE2	C-HWIE2 정의	●
C-SWIE1	C-SWIE1 정의	×
C-SWIE2	C-SWIE2 정의	●
C-IFTE1	C-IFTE1 정의	●
C-IFTE2	C-IFTE2 정의	●
C-IFTE3	C-IFTE3 정의	●
C-IFTE4	C-IFTE4 정의	●
C-IFTE5	C-IFTE5 정의	×

상용기술 적용이 가능한 CTE를 제외한 최종 CTE 후보를 선정한다. CTE는 기존과 같이 분야별 전문가로 구성된 평가팀이 회의를 통해 표 17과 같이 확정한다.

[표 17] CTE 최종 선정 결과(예시)

CTE ID	CTE 명	CTE 후보 ID
HWCTE1	HWCTE1정의	C-HWIE1
SWCTE1	SWCTE1정의	C-SWIE1
IFCTE1	IFCTE1정의	C-IFTE5

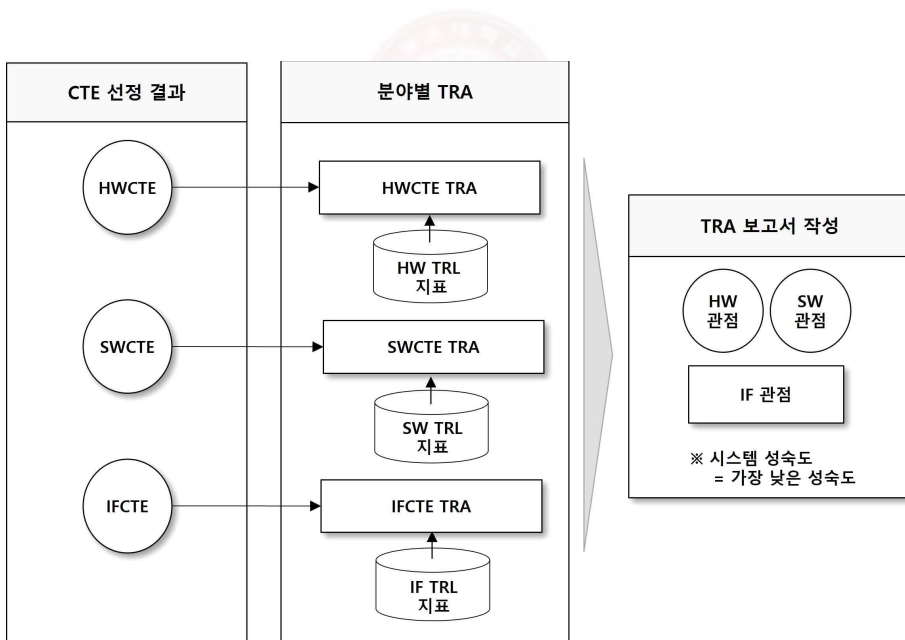


3.3. 시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가 모델

하드웨어, 소프트웨어 및 인터페이스 CTE가 평가팀에 의해 최종 확정되면 3가지 관점에서 개발된 TRL 지표에 따라 그림 23과 같이 기술성숙도를 평가한다.

전체 시스템 관점의 성숙도 수준은 위험관리 본연의 목적에 맞게 CTE 중 가장 낮은 성숙도를 사용한다. 최종 평가된 기술성숙도는 획득 단계 주요 마일스톤 전환을 위한 의사 결정 자료로 활용한다.

본 연구에서는 시스템 통합 관점의 TRA가 가능하도록 하드웨어, 소프트웨어 및 인터페이스 관점의 TRL 지표 개발에 중점을 두었다.



[그림 23] 시스템 통합 관점의 TRL 평가 절차

분야별 TRL 지표는 국내외 다양한 선행연구 결과를 활용하여 재정의하였다. HW TRL은 현재 사용 중인 TRL을 준용하였고 SW

TRL은 SW를 분리하여 정의한 선행연구 결과를 활용하였다. IF TRL은 IRL을 활용하여 재정의하였다.

(1) 하드웨어 TRL 지표

하드웨어 TRL 지표는 표 18과 같이 재정의하였다. 현재 사용 중인 하드웨어 중심의 9단계 TRL을 활용하되 수준 간 차이를 명확히 할 수 있도록 하였다.

[표 18] 하드웨어 TRL 지표

HW TRL 지표	정의	검증환경	HW 형태
1	기본원리 이해 단계	논문	-
2	개념 형성 단계	논문	-
3	개념 입증 단계	실험실	-
4	기술 시연 단계	실험실	Breadboard 수준
5	시험용 HW 수준 시연 단계	실험실	Brassboard 수준
6	시제품 시연 단계	유사 운용환경	Prototype 수준
7	부체계 단위 통합 검증 단계	유사 운용환경	부체계에 통합된 수준
8	시스템 단위 시험평가 완료 단계	운용환경	목표시스템에 통합된 수준
9	임무 수행 중인 단계	운용환경	목표시스템에 통합된 수준

HW TRL 1수준은 기본원리 이해 단계이다. HW CTE의 기술에 대한 기본원리가 관찰되어 논문으로 보고되는 수준을 말한다. 산출물과 검증환경 모두 논문 형태이다.

HW TRL 2수준은 개념 형성단계로 대상 하드웨어 기술에 대한 개념이

형성되고 발명이 시작되는 단계이다. 응용 분야가 식별되나 아직 이론적인 논문 형태로 구체적인 분석, 증명이 없는 상태이다. 산출물과 검증환경은 1단계와 같은 논문 형태이다.

HW TRL 3수준은 개념 입증 단계로 하드웨어 기술에 대한 개념을 입증하는 단계이다. 기술 연구가 적극적으로 시작되어 분석과 분석 결과를 실험실에서 입증하는 단계이다. 검증환경은 실험실이며 산출물은 M&S 등을 활용한 분석 결과, 실험 결과 등이 된다.

HW TRL 4수준은 기술 시연 단계이다. Breadboard 수준의 낮은 충실도(Low Fidelity)를 가진 하드웨어를 사용하여 기본 기능을 시연하는 단계이다. Breadboard는 임시로 전자회로를 구성할 수 있는 보드이다. 검증환경은 실험실이며 산출물은 일반 설계서, Breadboard 수준의 하드웨어, 시연 결과 보고서 등이다.

HW TRL 5수준은 시험용 하드웨어 수준으로 시연하는 단계이다. Brassboard 수준의 중간 정도 충실도(Medium Fidelity)를 가진 하드웨어를 시험용으로 제작하여 요구 기능 및 성능을 입증하는 단계이다. Brassboard는 기능 및 물리적 형상을 갖춘 시험용 보드이다. 검증환경은 실험실이며 산출물은 설계서, Brassboard 수준의 하드웨어, 시연 결과 보고서 등이다.

HW TRL 6수준은 하드웨어 시제품을 시연하는 단계이다. 높은 충실도(High Fidelity)를 가진 시제품(Prototype) 수준의 하드웨어가 제작되어 유사 운용환경에서 기능과 성능이 입증된 상태이다. 검증환경은 유사 운용환경이며 산출물은 설계서, 시제품(Prototype), 시연 결과 보고서 등이다.

HW TRL 7수준은 부체계 단위로 통합되어 검증된 단계이다. 시제품이

부체계에 탑재되어 운용환경에서 모든 요구기능과 성능이 입증된 상태이다. 검증환경은 유사 운용환경이며 산출물은 설계서, 시제품, 시연 결과 보고서 등이다.

HW TRL 8수준은 체계 단위에서 시험평가 완료된 단계이다. 시제품이 탑재되고 목표시스템에 통합되어 실 운용환경에서 시험평가가 완료된 상태이다. 검증환경은 실 운용환경이며 산출물은 설계서, 시제품, 시험평가 결과 보고서 등이다.

HW TRL 9수준은 임무 수행 중인 단계이다. 개발 제품이 목표 시스템에 통합되어 실제 운용환경에서 임무 수행 중인 상태 또는 양산되어 판매되고 있는 상태이다. 검증환경은 실 운용환경이며 산출물은 설계서, 제품, 매뉴얼 등이다.

HW TRL을 재정의하기 위해 방위사업청 TRA 업무 평가지침(2019), NASA TRA Best Practice Guide(2020), 미 GAO TRA Guide(2020), 미 DoD TRA Guide(2011)를 참조하였다.

HW TRL 수준은 개발되는 단계별 수준을 나타낸다. HW TRL 수준에 대한 정의와 더불어 검증환경, HW형태(Output 수준)를 보조지표로 표현하여 HW TRL 수준별 이미지가 구분될 수 있도록 하였다.

(2) 소프트웨어 TRL 지표

소프트웨어 TRL 지표는 표 19와 같이 재정의하였다. Jeremy Straub(2015)의 TRL 10과 같이 소프트웨어 기술 수준을 별도 정의한 선행연구 결과를 활용하였다. 소프트웨어 TRL 역시 수준 간 차이를 명확히 하는 데 중점을 두었다.

[표 19] 소프트웨어 TRL 지표

SW TRL 지표	정의	검증환경	SW 형태
1	기본 개념 생성 단계	논문	-
2	기본원리 코딩 단계	논문, 실험실	기본원리 소스 코드
3	SW 컴포넌트 개발 단계	실험실	SW 컴포넌트
4	SW 컴포넌트 통합 단계	실험실	SW 컴포넌트
5	Prototype SW 개발 단계	실험실 또는 유사 환경	Prototype SW
6	SW Beta Version 단계	유사 운용환경	Beta Version SW
7	SW 및 시스템 통합 시험 단계	유사 운용환경	Test Bed에 통합된 수준
8	운용시험평가 및 SW 개발 종료 단계	운용환경	목표시스템에 통합된 수준
9	임무 수행 단계	운용환경	목표시스템에 통합된 수준

SW TRL 1수준은 기본 개념 생성 단계이다. 소프트웨어 아키텍처, 알고리즘의 기본 속성을 뒷받침하는 과학적 지식이 생성되는 단계이다. 산출물과 검증환경은 모두 논문이다.

SW TRL 2수준은 기본원리에 대한 코딩 단계이다. SW 알고리즘의 기본 속성 및 개념이 확립되고 기본원리가 코딩되었다. 하지만 가정을 뒷받침할 근거 또는 분석 결과가 존재하지 않는다. 검증환경은 논문, 실험실이며 산출물은 논문, 개발된 소스 코드 등이다.

SW TRL 3수준은 소프트웨어 컴포넌트를 개발하는 단계이다. 분석 활동을 포함하여 소프트웨어 컴포넌트가 개발되었다. 검증환경은 실험실이며 산출물은 소프트웨어 컴포넌트이다.

SW TRL 4수준은 소프트웨어 컴포넌트가 통합되는 단계이다. 주요 기능의 핵심 소프트웨어가 통합되고 기능적으로 검증되는 단계이다. 검증환경은 실험실이며 산출물은 통합된 소프트웨어 컴포넌트이다.

SW TRL 5수준은 시제품(Prototype) 소프트웨어 개발 단계이다. 예상 성능을 만족하는 프로토타입 소프트웨어를 개발하여 유사 운용환경에서 시험을 완료한 상태이다. 검증환경은 유사 운용환경이고 산출물은 프로토타입 소프트웨어이다.

SW TRL 6수준은 소프트웨어 베타 버전이 완성되는 단계이다. 개발환경 하드웨어에 부분적으로 탑재되어 모든 기능에 대한 검증이 완료되어 베타 버전의 소프트웨어가 만들어진 단계이다. 엔지니어링 관점에서 타당성 검증이 완료된 상태이다. 소프트웨어 형상 관리가 시작되는 단계이다. 검증환경은 유사 운용환경이며 산출물은 유사 운용환경이다.

SW TRL 7수준은 소프트웨어 및 시스템 통합 시험 단계이다. 실제 운용할 하드웨어와 소프트웨어 시스템에 통합된 테스트베드(Test Bed)에서 모든 핵심 소프트웨어에 대한 기능시험이 완료된 상태이다. 대부분의 소프트웨어 버그(Bug)가 제거된 상태이다.

검증환경은 유사 운용환경이며 산출물은 시스템 통합 시험에 통과된 소프트웨어이다.

SW TRL 8 수준은 운용시험평가 및 소프트웨어 개발 종료 단계이다. 모든 소프트웨어의 디버깅이 완료되어 실 운용 하드웨어와 소프트웨어 시스템에 통합되고 모든 기능이 검증되어 개발이 완료된 상태이다. 검증환경은 운용환경이며 산출물은 배포용 소프트웨어이다.

SW TRL 9 수준은 임무 수행 단계이다. 소프트웨어가 실 임무 환경에서 운영되고 있는 상태이다. 검증환경은 운용환경이며 산출물은 운영 소프트웨어이다.

SW TRL을 재정의하기 위해 미 GAO TRA Guide(2020), Jeremy Straub TRL 10(2015), 미 DoD TRA Guide(2009) 및 CMU Draft SW TRL(2004)을 참조하였다.

SW TRL 수준은 개발되는 단계별 수준을 나타낸다. SW TRL 수준에 대한 정의와 더불어 검증환경, SW형태(Output 수준)를 보조지표로 설명하여 SW TRL 수준별 이미지가 구분될 수 있도록 하였다.

(3) 인터페이스 TRL 지표

인터페이스 TRL 지표는 표 20과 같이 재정의하였다. Sauser(2009)의 IRL과 같이 인터페이스 기술 수준을 별도 정의한 선행연구 결과를 활용하였다. 인터페이스 TRL 역시 수준 간 차이를 명확히 하는 데 중점을 두었다.

[표 20] 인터페이스 TRL 지표

IF TRL 지표	정의	검증환경	IF 형태
1	인터페이스 식별 단계	문서	
2	인터페이스 상호작용 정의 단계	문서	
3	인터페이스 개념 설계 단계	문서	
4	인터페이스 상세설계 단계	문서	
5	인터페이스 기술 시연 단계	실험실, 유사 환경	시뮬레이터, M&S
6	인터페이스 Prototype 시연 단계	유사 운용환경	IF Prototype
7	부체계 단위 인터페이스 검증 단계	유사 운용환경	Test Bed에 통합된 수준
8	실 운용환경 검증 단계	운용환경	목표시스템에 통합된 수준
9	임무 수행 단계	운용환경	목표시스템에 통합된 수준

IF TRL 1수준은 인터페이스 식별 단계이다. 운용개념 또는 요구사항에 따라 인터페이스 요구사항을 식별하고 정의하는 단계이다. 검증환경 및 산출물은 문서이다.

IF TRL 2수준은 인터페이스 상호작용 정의 단계이다. 운용개념 또는 요구사항에 따라 기술간 입력(Input)과 출력(Output) 요구사항을 정의하는 단계이다. 인터페이스 위한 통신 방법, 매체를 식별한다. 검증환경 및 산출물은 문서이다.

IF TRL 3수준은 인터페이스 개념 설계 단계이다. 인터페이스 접점, 입출력관계, 데이터를 포함한 시스템 인터페이스 다이어그램(Diagram)을 완성한다. 검증환경 및 산출물은 문서이다.

IF TRL 4수준은 인터페이스 상세설계 단계이다. 데이터 소통이 보장될 뿐만 아니라 인터페이스를 검증하는 구조, 관리 구조 등 상세설계가 완료된 상태이다. 검증환경 및 산출물은 문서이다.

IF TRL 5수준은 인터페이스 기술 시연 단계이다. 시뮬레이터, M&S 기법 등을 활용하여 인터페이스를 구현하고 시연하는 단계이다. 검증환경은 실험실 또는 유사 환경이며 산출물은 시뮬레이터, M&S 결과 보고서이다.

IF TRL 6수준은 인터페이스 시제품(Prototype) 시연 단계이다. 인터페이스 상세설계를 반영한 시제품을 개발하여 실제 운영될 하드웨어와 소프트웨어에서 시연한다. 검증환경은 유사 운용환경이며 산출물은 설계문서, 시제품이다.

IF TRL 7수준은 부체계 단위 인터페이스 검증 단계이다. 인터페이스 대상 부체계에 개발된 제품이 탑재되어 시연되는 단계이다. 검증환경은 유사 운용환경이고 산출물은 문서, 인터페이스 제품(HW, SW)이다.

IF TRL 8수준은 실 운용환경 검증 단계이다. 실 운용체계에 탑재되어 통합에 대한 시험평가를 마친 상태이다. 검증환경은 운용환경이며 산출물은 문서, 인터페이스 제품(HW, SW)이다.

IF TRL 9수준은 임무 수행 단계이다. 실 임무 환경에서 기술이 통합되어 임무 수행 중인 단계이다. 검증환경은 운용환경이며 산출물은 인터페이스 제품(HW, SW) 이다.

IF TRL을 재정의하기 위해 미 GAO TRA Guide(2020), Sauser(2009) IRL을 참조하였다.

IF TRL 수준은 개발되는 단계별 수준을 나타낸다. IF TRL 수준에 대한 정의와 더불어 검증환경, IF형태(Output 수준)를 보조지표로 설명하여 IF TRL 수준별 이미지가 구분될 수 있도록 하였다.

(4) 시스템 통합 관점의 기술성숙도 평가

분야별 기술전문가로 구성된 평가팀이 새롭게 정의된 TRL 지표를 활용하여 기술성숙도를 평가한다. 시스템 통합 관점의 HW, SW 및 IF TRL을 활용한다.

TRL은 기술성숙도에 대해 상호 합의된 규약이다. 따라서 수준별 차이를 평가자가 이미지로 떠올릴 수 있다면 별도의 수준별 체크리스트는 불필요하다고 판단하였다. 단순하면서도 명확한 TRL 지표는 TRA에 익숙하지 않은 기술전문가가 TRA 평가에 참여할 경우 단시간에 TRL/TRA를 이해시키는 데 큰 도움이 될 것이다.

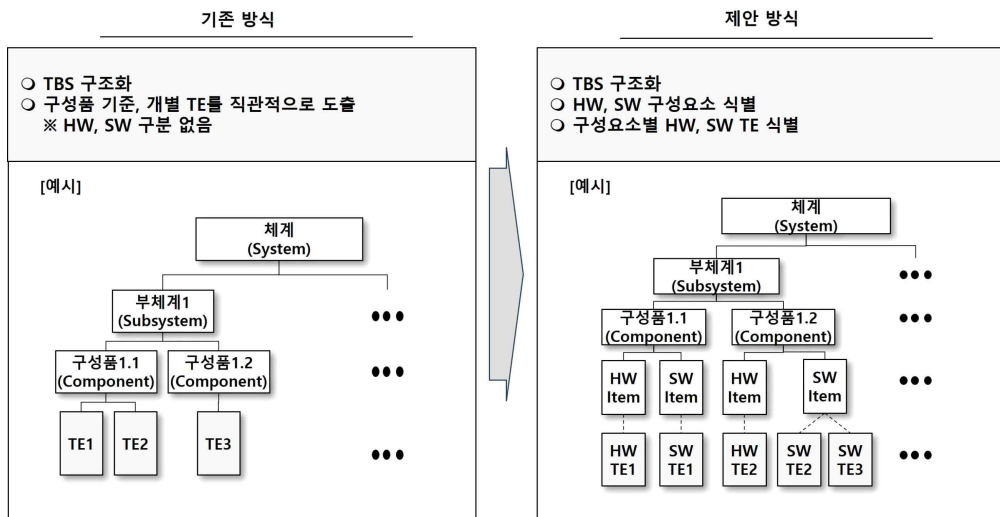
시스템 수준의 성숙도는 위험관리 목적에 맞게 가장 낮은 수준의 값으로 정하였다. 획득단계별 기준에 미치지 못하는 성숙도가 존재할 경우 성숙 계획을 별도로 작성하여 결과 보고서에 포함하도록 한다.

개선된 프레임워크에서 기술성숙도 평가의 차이는 HW, SW 및 IF 관점에서 평가를 수행한다는 점이다.

3.4. 기존 프레임워크와 차이점

(1) 시스템 통합 관점의 기술요소 식별 방법 제시

개선된 TRA 프레임워크는 기술요소(TE)를 HWTE, SWTE 및 IFTE로 구분한다. 먼저 TBS로부터 HWTE와 SWTE를 식별하고 구성품 간 인터페이스를 식별하여 IFTE를 찾도록 했다. HW와 SW 기술요소를 식별하는 방법 측면에서 기존 방식과 차이점은 그림 24와 같다.

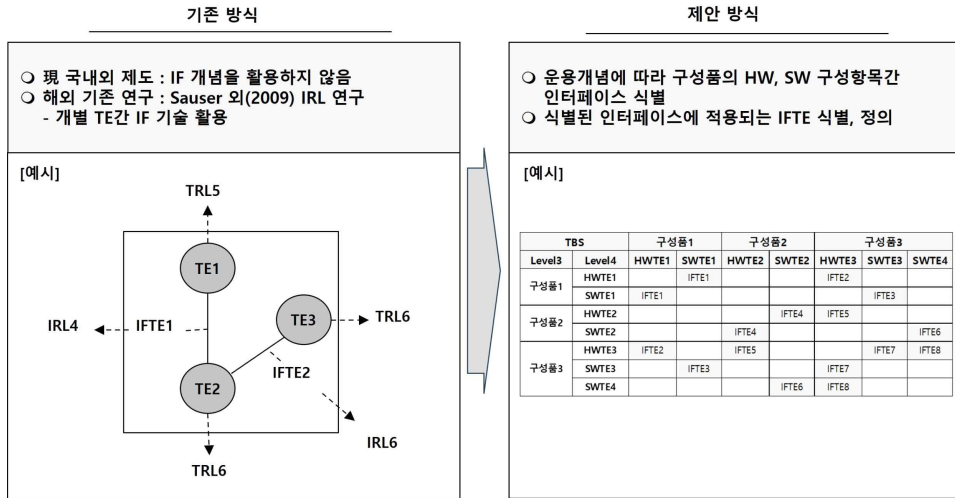


[그림 24] 기존 방식과 TE 식별 방법의 차이

기존의 방식은 TBS를 3레벨 수준으로 구조화하고 평가자가 직관적으로 단일유형의 기술요소를 식별하였다. 그리고 SW 기술을 별도 구분하지 않았다.

개선된 방식은 TBS를 HW/SW 구성항목 수준까지 세분화하고 HW/SW 구성항목과 관련된 기술을 식별할 수 있도록 하였다.

다음은 운용개념 분석을 통해 HW, SW 구성항목 간 인터페이스 관계를 활용하여 그림 25와 같이 IFTE를 식별하도록 하였다.



[그림 25] 기존 방식과 차이점 : IFTE 식별법 제공

현재 국내외에서는 기술성숙도 평가에 인터페이스 개념을 활용하지 않고 있다. 시스템 통합 측면에서 Sauser 외(2009)는 IRL을 연구했고 개별 기술간 인터페이스를 식별하였다.

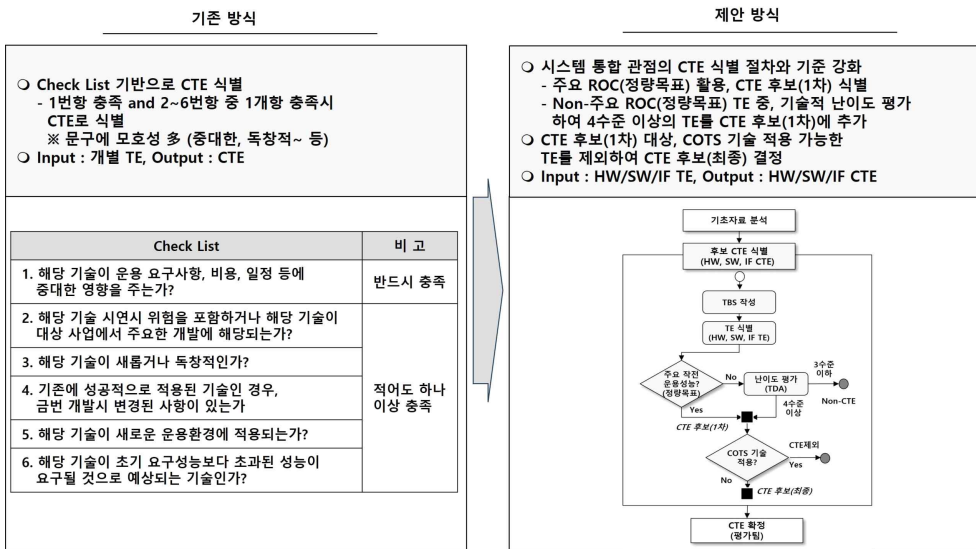
개선된 방식에서는 체계공학 절차에 따라 운용개념에 따른 구성품간 인터페이스 관계를 우선 식별한다. 식별된 인터페이스 구현을 위해 소요되는 기술을 찾는다. 식별된 인터페이스 기술은 IFTE 정의서로 정리한다. 일반적으로 인터페이스 유형은 HW-HW 인터페이스, HW-SW 인터페이스, SW-SW 인터페이스로 구분될 수 있다.

시스템 통합 관점의 기술요소 식별 방법은 체계공학에 익숙한 방산분야의 기술전문가에게 쉽고 빠른 접근방법을 제공할 것이다.

(2) 시스템 통합 관점의 CTE 선정 방법론 제시

개선된 TRA 프레임워크는 현재 수행되고 있는 체크리스트 방식의 문제점을 해결하기 위해 보다 구체적인 CTE 선정 방법론을 제공한다.

기존 방식과의 차이점은 그림 26과 같다.



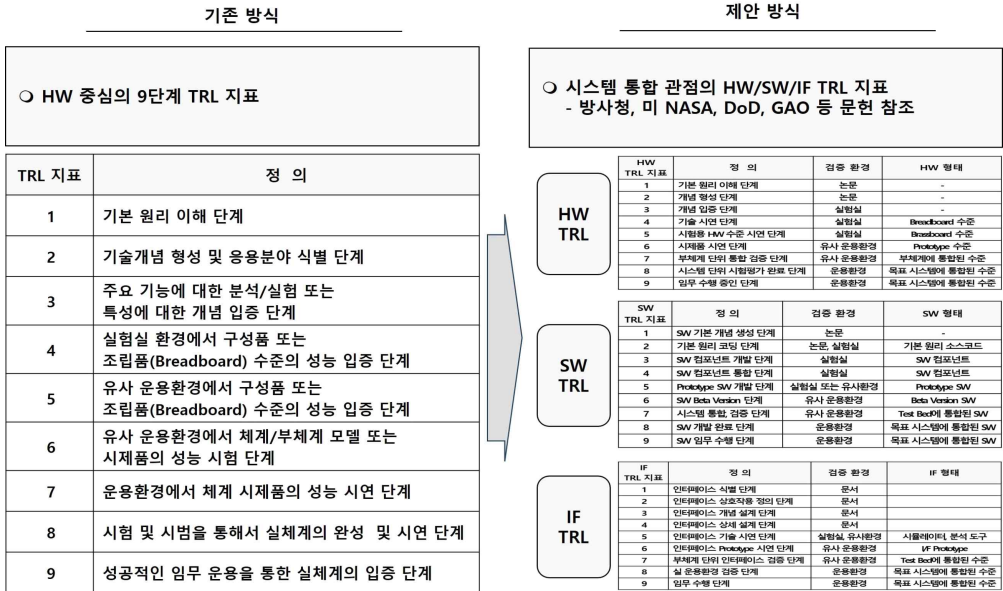
[그림 26] 기존 방식과 차이점 : CTE 선정 방법론 제공

CTE 선정을 현재는 체크리스트 방식을 사용한다. 그러나 체크리스트 방식은 모호한 문구가 포함되어 평가자 주관의 개입 가능성이 크다.

개선된 방식은 주요 ROC 정량목표, 기술 난이도 평가 및 COTS 기술의 적용 여부를 활용한 필터링(Filtering)으로 보다 체계적인 접근방법을 제공한다. 특히 COTS 기술의 적용 여부는 상용품 중심의 국내 획득 정책과도 부합되는 장점이 있다.

(3) 시스템 통합 관점의 TRL 제시

개선된 TRA 프레임워크는 시스템 통합 관점에서 HW, SW 및 IF TRL을 제공한다. 기존 방식과의 차이점은 그림 27과 같다.



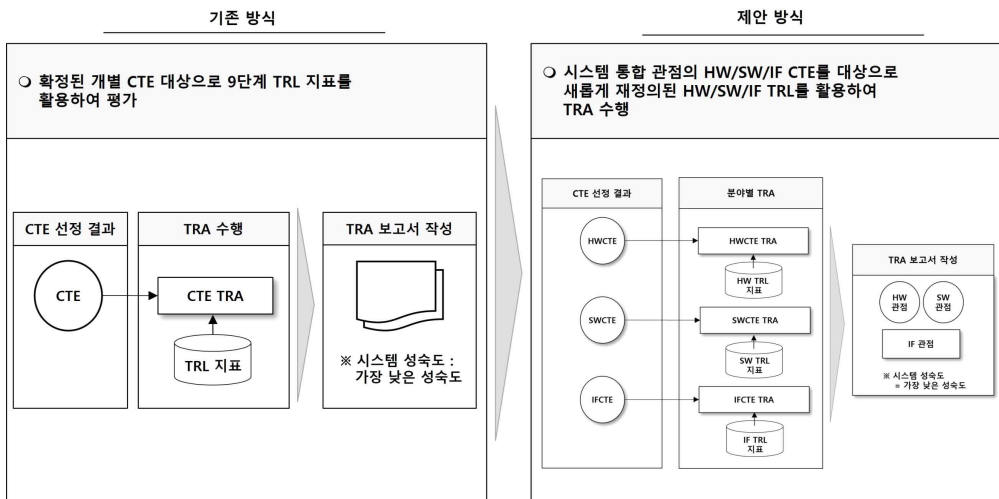
[그림 27] 기존 방식과 차이점 : 시스템 통합 관점의 분야별 TRL 제공

현재는 HW 중심의 9단계 TRL을 활용하고 있다. 그러나 HW에 편향된 기준을 제공하는 제한점이 있다. 본 연구에서는 시스템 수준의 TRA를 위해 체계공학의 통합개념을 도입하였고 이에 따라 3가지 관점의 TRL을 각각 정의하여 사용한다.

각 분야별 TRL은 수준별 정의와 함께 검증환경, Output 형태를 추가하여 TRL 지표만으로 수준별 Output Image를 구분할 수 있도록 하였다. 모호한 문구가 포함되는 별도의 설문을 추가하지 않고 조직 내 상호 합의된 명확한 TRL 지표를 활용하는 것에 중점을 두었다.

(4) 시스템 통합 관점의 TRA 제안

개선된 TRA 프레임워크는 시스템 통합 관점에서 TRA를 수행한다. 따라서 TRA는 하드웨어, 소프트웨어 및 인터페이스 측면에서 구분하여 수행해야 한다. 기존 방식과의 차이점은 그림 28과 같다.



[그림 28] 기존 방식과 차이점 : 시스템 통합 관점의 TRA 수행

기존의 방식은 하드웨어 중심의 TRL을 기준으로 선정된 CTE의 기술전문가가 TRA를 수행한다.

개선된 방식은 HW, SW 및 IF 관점에서 식별된 CTE의 기술전문가가 새롭게 정의된 HW, SW 및 IF TRL을 기준으로 TRA를 수행한다. 시스템 수준의 성숙도는 TRA 수행 결과 중 가장 낮은 값을 채택한다. TRA 결과 보고서는 개선된 TRA 프레임워크가 제공하는 방법론의 산출물을 활용하여 작성한다.

IV. 실증 분석

1. Case Study

시스템 통합 관점의 TRA 프레임워크에 대한 Case Study를 통해 실제 사업에 대한 실효성을 검증하였다.

Case Study는 다음 2가지 조건을 만족하는 3개 체계를 선정하여 수행하였다.

첫째, 복합 무기체계여야 한다. 획득하고자 하는 대상체계가 단독으로 존재하지 않고 상급 체대의 지휘통제체계 등과 연동되는 복합체계여야 한다. 둘째, 연구진이 직접 그 무기체계의 연구개발 또는 체계개발 사업에 참여한 경험이 있어 대상체계에 대한 높은 이해도가 있어야 한다.

위 2가지 조건을 만족하는 TSS(Target Surveillance System), ADARMS(Airfield Damage Assessment and Recovery Management System) 및 NTDS(Naval Tactical Data System) 체계를 Case Study 대상으로 선정하였다.

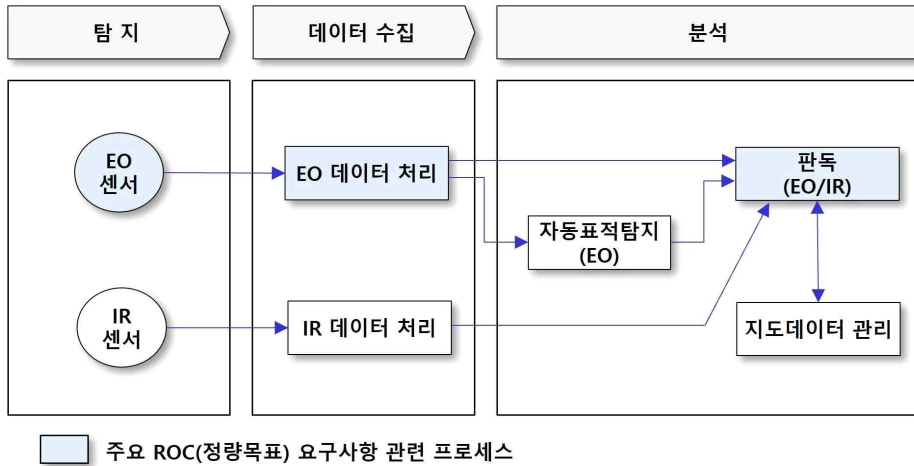
IV장에서는 TSS 체계의 Case Study 결과를 중심으로 기술했으며 ADARMS와 NTDS 체계의 Case Study 결과는 부록(Case Study 추가 수행내역)에 첨부하였다.

이와 더불어 Case Study는 정보보안을 고려하여 군 기밀사항을 제외하고 프레임워크 검증에 필요한 업무만을 추출하여 사용하였다.

1.1. TSS 체계

TSS 체계는 그림 29와 같이 EO(Electro Optical), IR(Infrared) 영상을 활용하여 적 상황을 신속하게 파악하고 분석할 수 있도록 지원하는 감시체계이다.

TSS 체계는 적 활동 상황을 파악하기 위해 설치된 EO, IR 센서로부터 영상데이터를 근 실시간으로 수집한다. 수집된 EO, IR 영상은 작전지역의 분석업무를 수행하는 담당관에게 신속하게 전송된다.



[그림 29] TSS 체계 개념

EO 영상에 대해서는 영상처리와 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 기능을 활용하여 감시 표적을 자동으로 탐지하는 기능을 제공한다.

TSS 체계는 EO, IR 영상을 디지털 지도에 전시하고 담당관이 쉽게 분석할 수 있는 기능을 지원한다.

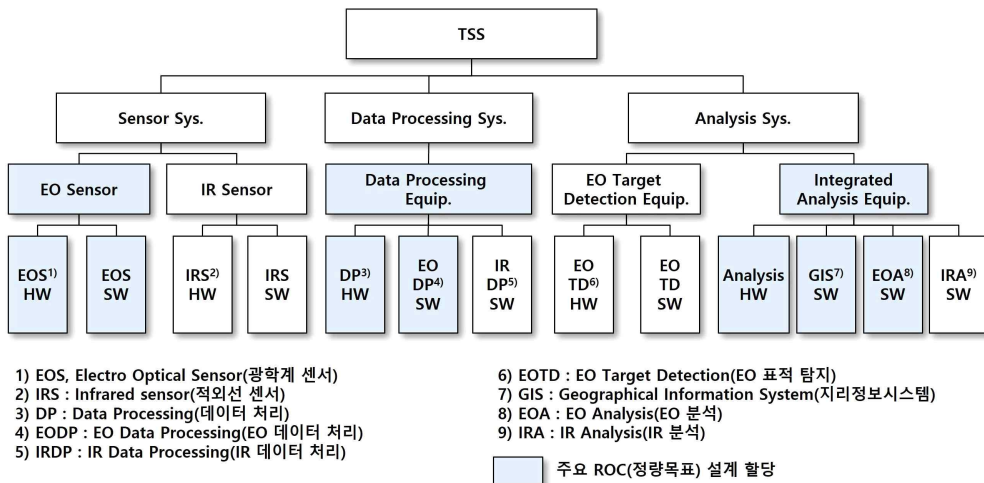
주요 작전운용성능의 정량목표는 5초(가정)로 EO 센서가 수집한 영상을 처리하여 갱신하는 데까지 걸리는 시간이다.

TSS 체계는 5초 이내에 EO 센서가 수집한 영상을 네트워크를 통해 센터에 전송하고 접수된 영상을 이미지 프로세싱 후 인공지능 기법으로 자동으로 표적을 탐지하고 탐지된 표적을 담당관이 분석할 수 있도록 디지털 지도에 준비해야 한다.

1.2. CTE 선정

(1) TBS(Technical Work Breakdown Structure) 작성

TSS 체계의 TBS는 그림 30과 같다.



[그림 30] TSS의 TBS

TSS 체계를 부체계, 구성품, HW/SW 구성항목 순으로 구조화하였다. 체계는 총 3개의 부체계(Sensor System, Data Processing System, Analysis System)로 구조화 할 수 있다.

Sensor System은 EO, IR 센서로 구성되고 Data Processing System은 Data Processing Equipment로 구성된다. Analysis System은 EO Target Detection Equipment와 Integrated Analysis Equipment로 구성된다. 각 구성품은 그림 30과 같이 HW, SW 구성항목으로 세분화 된다.

구성품 수준에서 보면 EO, IR Sensor는 EO, IR Target 영상을 수집한다. Data Processing Equipment는 Sensor로부터 수집된 EO/IR

영상을 가공하여 네트워크(NW, Network)를 통해 Analysis System으로 전달한다. EO Target Detection Equipment에는 AI 기능이 탑재되어 EO 영상 중 Target을 자동으로 탐지하고 탐지된 영상을 Integrated Analysis Equipment로 전달한다. Integrated Analysis Equipment는 지도데이터를 기반으로 EO, IR 영상을 쉽게 분석할 수 있는 기능을 지원한다.

HW, SW 구성항목 수준에서 보면 EO/IR Sensor는 각각의 HW와 임베디드(Embedded) SW로 구성된다. Data Processing Equipment는 HW와 EO/IR 영상데이터를 처리할 수 있는 각각의 SW로 구성된다. Target Detection Equipment는 HW와 AI SW로 구성된다. Integrated Analysis Equipment는 HW와 GIS SW를 포함하여 EO, IR 영상 분석을 지원하는 SW로 구성된다.

(2) 기술요소 식별

HW, SW 구성항목 수준으로 세분화된 TBS를 활용하여 HWTE와 SWTE를 표 21과 같이 도출하였다.

[표 21] TSS HWTE 및 SWTE 정의서

TBS		HWTE/SWTE	
Level2	Level3	TE ID	TE 정의
Sensor Sys.	EO Sensor	HWTE1	고해상도 EO 디텍터 제작 기술
		HWTE2	고해상도 EO 광학계 제작 기술
		SWTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술
	IR Sensor	HWTE3	고해상도 IR 디텍터 제작 기술
		HWTE4	고해상도 IR 광학계 제작 기술
		SWTE2	IR 영상처리 펌웨어 기술
Data Processing Sys.	Data Processing Equip.	HWTE5	고성능 CPU 기반 HW 제작 기술
		SWTE3	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술
		SWTE4	IR 메타 데이터 및 영상처리 기술

TBS		HWTE/SWTE	
Level2	Level3	TE ID	TE 정의
Analysis Sys.	EO Target Detection Equip.	HWTE6	고성능 GPU 기반 HW 제작 기술
		SWTE5	AI 기반 자동 표적 탐지 기술
	Integrated Analysis Equip.	HWTE7	고성능 CPU 기반 병렬처리 기술
		SWTE6	위치 기반 영상 매핑 기술
		SWTE7	EO 영상 분석, 편집 기술
		SWTE8	IR 영상 분석, 편집 기술

TBS 작성 결과를 기준으로 HW, SW 구성항목에 필요한 기술요소를 도출하였다. HWTE가 총 7개, SWTE가 총 8개 식별되었다. 구성품 단위로 보면 기술요소는 EO Sensor 3개, IR Sensor 3개, Data Processing Equipment 3개, EO Target Detection Equipment 2개, Integrated Analysis Equipment 4개가 도출되었다.

TSS 체계의 운용개념을 활용하여 그림 31과 같이 각 구성품 간 인터페이스를 식별하였다. 운용개념에 따른 데이터 흐름을 확인하여 총 19개의 인터페이스를 도출하였다.

TBS		EO Sensor		IR Sensor		Data Processing Equip.			EO Target Detection Equip.		Integrated Analysis Equip.			
Level3	Level4	EOS HW	EOS SW	IRS HW	IRS SW	DP HW	EODP SW	IRDP SW	EOTD HW	EOTD SW	Analysis HW	GIS SW	EOA SW	IRA SW
EO Sensor	EOS HW		IFTE1			IFTE2								
	EOS SW	IFTE1					IFTE3							
IR Sensor	IRS HW				IFTE4	IFTE5								
	IRS SW			IFTE4				IFTE6						
Data Processing Equip.	DP HW	IFTE2		IFTE5			IFTE7	IFTE8	IFTE9		IFTE11			
	EODP SW		IFTE3			IFTE7				IFTE10			IFTE12	
	IRDP SW			IFTE6	IFTE8									IFTE13
EO Target Detection Equip.	EOTD HW					IFTE9				IFTE14	IFTE15			
	EOTD SW						IFTE10		IFTE14				IFTE16	
Integrated Analysis Equip.	Analysis HW					IFTE11			IFTE15			IFTE17	IFTE18	IFTE19
	GIS SW										IFTE17			
	EOA SW									IFTE16	IFTE18			
	IRA SW							IFTE13			IFTE19			

[그림 31] TSS 인터페이스 매트릭스

식별된 19개의 인터페이스를 구현하기 위해 소요되는 인터페이스 기술을 표 22와 같이 정의하였다.

[표 22] TSS IFTE 정의서

인터페이스 구간 (TBS level4)		IFTE	
		TE ID	TE 정의
EOS HW	EOS SW	IFTE1	EO 데이터 버스 기술
	DP HW	IFTE2	기가급 광통신 기술(EO)
EOS SW	EODP SW	IFTE3	EO MTF 기술
IRS HW	IRS SW	IFTE4	IR 데이터 버스 기술
	DP HW	IFTE5	광통신 기술(IR)
IRS SW	IRDP SW	IFTE6	IR MTF 기술
DP HW	EODP SW	IFTE7	DP EO API 기술
	IRDP SW	IFTE8	DP IR API 기술
	EOTD HW	IFTE9	기가급 광통신 기술(EO/IR)
EODP SW	EOTD SW	IFTE10	EODP-EOTD API 기술
DP HW	Analysis HW	IFTE11	기가급 광통신 기술(EO/IR)
EODP SW	EOA SW	IFTE12	Rest API (EODP-EDA)
IRDP SW	IRA SW	IFTE13	Rest API (IRDP-IRA)
EOTD HW	EOTD SW	IFTE14	Web 기반 Middleware 기술
	Analysis HW	IFTE15	기가급 광통신 기술(EO)
EOTD SW	EOA SW	IFTE16	Rest API (EOTD-EDA)
Analysis HW	GIS SW	IFTE17	GIS API
	EOA SW	IFTE18	IAE EDA API
	IRA SW	IFTE19	IAE IRA API

(3) 주요 ROC 정량목표 관련 TE 식별

TSS 체계의 주요 ROC 정량목표는 EO 영상을 수집하여 영상을 Analysis System에 전송하여 담당관이 분석할 수 있도록 지도데이터에 전시하는 데 소요 되는 시간이다.

TSS 체계의 구성품 수준에서 보면 EO Sensor, Data Processing Equipment 및 Integrated Analysis Equipment가 해당한다.

EO Sensor에서는 EO 영상을 수집하는 Sensor의 제작과 관련된 HWTE 2건, SWTE 2건이 식별되었다. Data Processing Equipment에서는 EO 영상을 가공하여 Integrated Analysis Equipment에 전달하는 HWTE 1건, SWTE 1건이 식별되었다. Integrated Analysis Equipment에서는 EO 영상을 가공하여 담당관이 분석할 수 있도록 전시하는 기능과 관련된 HWTE 1건, SWTE 2건이 식별되었다.

TSS 체계의 주요 ROC 정량목표와 관련된 HWTE와 SWTE는 표 23과 같이 정리하였다.

[표 23] 주요 ROC 정량목표와 관련된 TSS HWTE와 SWTE

TBS		HWTE/SWTE		주요 ROC 관련 여부
Level2	Level3	TE ID	TE 정의	
Sensor Sys.	EO Sensor	HWTE1	고해상도 EO 디텍터 제작 기술	●
		HWTE2	고해상도 EO 광학계 제작 기술	●
		SWTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술	●
	IR Sensor	HWTE3	고해상도 IR 디텍터 제작 기술	×
		HWTE4	고해상도 IR 광학계 제작 기술	×
		SWTE2	IR 영상처리 펌웨어 기술	×
Data Processing Sys.	Data Processing Equip.	HWTE5	고성능 CPU 기반 HW 제작 기술	●
		SWTE3	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술	●
		SWTE4	IR 메타 데이터 및 영상처리 기술	×
Analysis Sys.	EO Target Detection Equip.	HWTE6	고성능 GPU 기반 HW 제작 기술	×
		SWTE5	AI 기반 자동 표적 탐지 기술	×
	Integrated Analysis Equip.	HWTE7	고성능 CPU 기반 병렬처리 기술	●
		SWTE6	위치 기반 영상 매핑 기술	●
		SWTE7	EO 영상 분석, 편집 기술	●
	SWTE8	IR 영상 분석, 편집 기술	×	

TSS 체계의 주요 ROC 정량목표와 관련된 IFTE를 표 24와 같이 식별하였다. EO 영상을 EO Sensor로부터 Data Processing Equipment를 거쳐 Integrated Analysis Equipment에 전달하기 위해 필요한 모든 인터페이스 기술이 해당된다.

[표 24] 주요 ROC 정량목표와 관련된 TSS IFTE

인터페이스 구간 (TBS level4)		IFTE		주요 ROC 관련 여부
		TE ID	TE 정의	
EOS HW	EOS SW	IFTE1	EO 데이터 버스 기술	●
	DP HW	IFTE2	기가급 광통신 기술(EO)	●
EOS SW	EODP SW	IFTE3	EO MTF 기술	●
IRS HW	IRS SW	IFTE4	IR 데이터 버스 기술	×
	DP HW	IFTE5	광통신 기술(IR)	×
IRS SW	IRDP SW	IFTE6	IR MTF 기술	×
DP HW	EODP SW	IFTE7	DP EO API 기술	●
	IRDP SW	IFTE8	DP IR API 기술	×
	EOTD HW	IFTE9	기가급 광통신 기술(EO/IR)	×
EODP SW	EOTD SW	IFTE10	EODP-EOTD API 기술	×
DP HW	Analysis HW	IFTE11	기가급 광통신 기술(EO/IR)	●
EODP SW	EOA SW	IFTE12	Rest API (EODP-EDA)	●
IRDP SW	IRA SW	IFTE13	Rest API (IRDP-IRA)	×
EOTD HW	EOTD SW	IFTE14	Web 기반 Middleware 기술	×
	Analysis HW	IFTE15	기가급 광통신 기술(EO)	×
EOTD SW	EOA SW	IFTE16	Rest API (EOTD-EDA)	×
Analysis HW	GIS SW	IFTE17	GIS API	●
	EOA SW	IFTE18	IAE EDA API	●
	IRA SW	IFTE19	IAE IRA API	×

(4) 주요 ROC(정량목표) 비대상 기술요소에 대한 난이도 평가

주요 ROC 정량목표에 해당하지 않는 HWTE와 SWTE를 대상으로 기술 난이도 평가를 수행한 결과는 표 25와 같다.

고해상도 IR 디텍터 제작 기술, 고성능 GPU 기반 HW 제작 기술, AI 기반 자동 표적 탐지 기술이 4 이상으로 평가되었다. 나머지 HWTE와 SWTE는 해안감시 TOD 사업, 함정용 EOTS 사업, O급 UAV 사업 등에서 개발 경험을 확보하고 있다.

[표 25] TSS HWTE와 SWTE의 기술 난이도 평가 결과

TBS		HWTE/SWTE		난이도
Level2	Level3	TE ID	TE 정의	
Sensor Sys.	IR Sensor	HWTE3	고해상도 IR 디텍터 제작 기술	4
		HWTE4	고해상도 IR 광학계 제작 기술	2
		SWTE2	IR 영상처리 펌웨어 기술	2
Data Processing Sys.	Data Processing Equip.	SWTE4	IR 메타 데이터 및 영상처리 기술	2
Analysis Sys.	EO Target Detection Equip.	HWTE6	고성능 GPU 기반 HW 제작 기술	5
		SWTE5	AI 기반 자동 표적탐지 기술	4
	Integrated Analysis Equip.	SWTE8	IR 영상 분석, 편집 기술	2

※ 기술 난이도 수준

- 난이도 2 : 현재 존재하는 기술이나 일부 수정이 필요한 기술
- 난이도 4 : 새로운 기술이면서 기존 기술이 존재하나 유사도가 낮아 새로운 개발이 필요한 기술
- 난이도 5 : 유사 기술이 없는 완전 새로운 기술

주요 ROC 정량목표에 해당하지 않는 IFTE를 대상으로 기술 난이도 평가를 수행한 결과는 표 26과 같다.

[표 26] TSS IFTE의 기술 난이도 평가 결과

인터페이스 구간 (TBS level4)		IFTE		난이도
		TE ID	TE 정의	
IRS HW	IRS SW	IFTE4	IR 데이터 버스 기술	4
	DP HW	IFTE5	광통신 기술(IR)	1
IRS SW	IRDP SW	IFTE6	IR MTF 기술	2
DP HW	IRDP SW	IFTE8	DP IR API 기술	2
	EOTD HW	IFTE9	기가급 광통신 기술(EO/IR)	1
EODP SW	EOTD SW	IFTE10	EODP-EOTD API 기술	2
IRDP SW	IRA SW	IFTE13	Rest API (IRDP-IRA)	2
EOTD HW	EOTD SW	IFTE14	Web 기반 Middleware 기술	2
	Analysis HW	IFTE15	기가급 광통신 기술(EO)	1
EOTD SW	EOA SW	IFTE16	Rest API (EOTD-EDA)	2
Analysis HW	IRA SW	IFTE19	IAE IRA API	2

※ 기술 난이도 수준

- 난이도 1 : 현재 존재하는 기술
- 난이도 2 : 현재 존재하는 기술이나 일부 수정이 필요한 기술
- 난이도 4 : 새로운 기술이면서 기존 기술이 존재하나 유사도가 낮아 새로운 개발이 필요한 기술

(5) CTE 후보(1차) 선정 결과

TSS 체계의 CTE 후보(1차) 필터링 결과는 표 27과 같다. 주요 ROC 정량목표에 해당하는 기술요소 16건과 주요 ROC 정량목표가 아닌 기술요소 중 난이도 평가 결과 4 이상인 기술요소 4건이 선정되었다.

[표 27] TSS CTE 후보(1차) 선정 결과

TE		주요 ROC 관련 여부	난이도
TE ID	TE 정의		
HWTE1	고해상도 EO 디텍터 제작 기술	●	N/A
HWTE2	고해상도 EO광학계 제작 기술	●	N/A
HWTE3	고해상도 IR디텍터 제작 기술	×	4
HWTE5	고성능 CPU 기반 HW 제작 기술	●	N/A
HWTE6	고성능 GPU 기반 HW 제작 기술	×	5
HWTE7	고성능 CPU 기반 병렬처리 기술	●	N/A
SWTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술	●	N/A
SWTE3	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술	●	N/A
SWTE5	AI 기반 자동 표적 탐지 기술	×	4
SWTE6	위치 기반 영상 매핑 기술	●	N/A
SWTE7	EO 영상 분석, 편집 기술	●	N/A
IFTE01	EO 데이터 버스 기술	●	N/A
IFTE02	기가급 광통신 기술(EO)	●	N/A
IFTE03	EO MTF 기술	●	N/A
IFTE04	IR 데이터 버스 기술	×	4
IFTE07	DP EO API 기술	●	N/A
IFTE11	기가급 광통신 기술(EO/IR)	●	N/A
IFTE12	Rest API (EODP-EDA)	●	N/A
IFTE17	GIS API	●	N/A
IFTE18	IAE EDA API	●	N/A

선정된 CTE 후보에 식별자를 별도 부여하여 표 28과 같이 CTE 후보를 정리하였다.

[표 28] TSS CTE 후보 식별자 부여

CTE 후보 ID	CTE 후보(1차)	TE ID
C-HWTE1	고해상도 EO 디텍터 제작 기술	HWTE1
C-HWTE2	고해상도 EO광학계 제작 기술	HWTE2
C-HWTE3	고해상도 IR디텍터 제작 기술	HWTE3
C-HWTE4	고성능 CPU 기반 HW 제작 기술	HWTE5
C-HWTE5	고성능 GPU 기반 HW 제작 기술	HWTE6
C-HWTE6	고성능 CPU 기반 병렬처리 기술	HWTE7
C-SWTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술	SWTE1
C-SWTE2	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술	SWTE3
C-SWTE3	AI 기반 자동 표적 탐지 기술	SWTE5
C-SWTE4	위치 기반 영상 매핑 기술	SWTE6
C-SWTE5	EO 영상 분석, 편집 기술	SWTE7
C-IFTE1	EO 데이터 버스 기술	IFTE01
C-IFTE2	기가급 광통신 기술(EO)	IFTE02
C-IFTE3	EO MTF 기술	IFTE03
C-IFTE4	IR 데이터 버스 기술	IFTE04
C-IFTE5	DP EO API 기술	IFTE07
C-IFTE6	기가급 광통신 기술(EO/IR)	IFTE11
C-IFTE7	Rest API (EODP-EDA)	IFTE12
C-IFTE8	GIS API	IFTE17
C-IFTE9	IAE EDA API	IFTE18

(6) COTS 기술 적용 가능성 판단

CTE 선정 후보(1차)를 대상으로 COTS 기술 적용 여부를 판단한 결과는 표 29와 같다. 총 20건의 CTE 후보(1차)를 대상으로 조사한 결과, 국내외 판매 및 운영 실적이 있는 11건의 기술요소가 식별되었다.

[표 29] TSS COTS 기술 적용 여부

CTE 후보 ID	CTE 후보(1차)	COTS 기술 적용 여부
C-HWTE1	고해상도 EO 디텍터 제작 기술	●
C-HWTE2	고해상도 EO광학계 제작 기술	×
C-HWTE3	고해상도 IR디텍터 제작 기술	●
C-HWTE4	고성능 CPU 기반 HW 제작 기술	●
C-HWTE5	고성능 GPU 기반 HW 제작 기술	●
C-HWTE6	고성능 CPU 기반 병렬처리 기술	●
C-SWTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술	×
C-SWTE2	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술	×
C-SWTE3	AI 기반 자동 표적 탐지 기술	×
C-SWTE4	위치 기반 영상 매핑 기술	×
C-SWTE5	EO 영상 분석, 편집 기술	×
C-IFTE1	EO 데이터 버스 기술	●
C-IFTE2	기가급 광통신 기술(EO)	●
C-IFTE3	EO MTF 기술	×
C-IFTE4	IR 데이터 버스 기술	●
C-IFTE5	DP EO API 기술	×
C-IFTE6	기가급 광통신 기술(EO/IR)	●
C-IFTE7	Rest API (EODP-EDA)	●
C-IFTE8	GIS API	●
C-IFTE9	IAE EDA API	×

(7) CTE 최종 선정 결과

최종 선정된 CTE는 총 9건으로 표 30과 같다. 총 20건의 CTE 후보(1차) 목록 가운데 COTS 기술의 적용이 가능한 11건은 CTE에서 제외되었다. 나머지 기술요소 9건이 CTE로 선정되었고 연구진 내부 회의를 통해 최종 확정되었다.

[표 30] TSS CTE 최종 선정 결과

CTE ID	CTE 명	CTE 후보 ID
HWCTE1	고해상도 EO 광학계 제작 기술	C-HWTE2
SWCTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술	C-SWTE1
SWCTE2	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술	C-SWTE2
SWCTE3	AI 기반 자동 표적탐지 기술	C-SWTE3
SWCTE4	위치 기반 영상 매핑 기술	C-SWTE4
SWCTE5	EO 영상 분석, 편집 기술	C-SWTE5
IFCTE1	EO MTF 기술	C-IFTE3
IFCTE2	DP EO API 기술	C-IFTE5
IFCTE3	IAE EDA API	C-IFTE9

1.3. TRA 수행

(1) 하드웨어 TRA 수행

HWCTE에 대한 기술성숙도 평가 수행 결과는 표 31과 같다. 고해상도 EO 광학계 제작 기술은 기술성숙도 6으로 평가되었다.

HWCTE1은 합정용 EOTS 사업을 통해 EO 광학계를 설계하고 시제품을 제작한 경험을 보유하고 있다. TSS 체계 스펙에 맞게 설계를 조정, 구현하면 성숙도 7수준 이상으로 진행 가능할 것으로 판단하였다.

[표 31] TSS HWCTE TRA 결과

CTE		TRA 결과	
CTE ID	CTE 명	기술성숙도	관련근거
HWCTE1	고해상도 EO 광학계 제작 기술	6	합정용 EOTS EO 광학계 설계 및 시제품 제작 경험 보유

※ HW TRL 수준

- HW TRL 6 : 시제품 시연 단계

(검증환경 : 유사 운용환경, HW 형태 : Prototype 수준)

(2) 소프트웨어 TRA 수행

SWTE에 대한 기술성숙도 평가 수행 결과는 표 32와 같다.

SWCTE4, 5는 O급 UAV 사업에서 사용된 SW와 유사도가 매우 높아 기술성숙도 7로 평가되었다. SWCTE1, 2는 합정용 EOTS에 적용된 기술로 TSS 체계에 맞게 최적화하여 사용할 수 있어 기술성숙도 6으로 평가되었다. SWCTE3는 핵심과제를 통해 개발되어 EO 영상에 대한 자동 표적탐지 기능이 확인된 수준으로 성숙도 5로 평가되었다.

[표 32] TSS SWCTE TRA 결과

CTE		TRA 결과	
CTE ID	CTE 명	기술성숙도	관련근거
SWCTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술	6	합정용 EOTS EO 광학계 설계 및 시제품 제작 경험 보유
SWCTE2	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술	6	합정용 EOTS EO 광학계 설계 및 시제품 제작 경험 보유
SWCTE3	AI 기반 자동 표적 탐지 기술	5	자동 표적탐지 기술 핵심과제 수행
SWCTE4	위치 기반 영상 매핑 기술	7	O급 UAV 사업 영상지도 매핑 기술 경험 보유
SWCTE5	EO 영상 분석, 편집 기술	7	O급 UAV 사업 영상 분석 편집 기술 경험 보유

※ SW TRL 수준

- SW TRL 5 : SW 컴포넌트 통합 단계
(검증환경 : 실험실, SW 형태 : SW 컴포넌트 수준)
- SW TRL 6 : SW Beta Version 단계
(검증환경 : 유사 운용환경, SW 형태 : Beta Version SW 수준)
- SW TRL 7 : 시스템 통합 검증 단계
(검증환경 : 유사 운용환경, SW 형태 : Test Bed에 통합된 SW 수준)

(3) 인터페이스 TRA 수행

IFTE에 대한 기술성숙도 평가 수행 결과는 표 33과 같다.

IFCTE1은 EO 영상을 MTF로 연동하는 기술로 M사업에서 구현되어 운용되고 있어 기술성숙도 8로 평가되었다. IFCTE2, 3은 O급 UAV 사업을 통해 부체계 단위의 인터페이스가 검증되어 기술성숙도 7로 평가하였다.

[표 33] TSS IFCTE TRA 결과

CTE		TRA 결과	
CTE ID	CTE 명	기술성숙도	관련근거
IFCTE1	EO MTF 기술	8	M사업 EO 영상 MTF 연동 처리 경험 보유
IFCTE2	DP EO API 기술	7	O급 UAV 사업 영상 분석, 편집 기술 경험
IFCTE3	IAE EDA API	7	O급 UAV 사업 영상 분석, 편집 기술 경험

※ IF TRL 수준

- IF TRL 7 : 부체계 단위 인터페이스 검증 단계
(검증환경 : 유사 운용환경, IF 형태 : Test Bed 통해 검증된 수준)
- IF TRL 8 : 실 운용환경 검증 단계
(검증환경 : 운용환경, IF 형태 : 목표시스템에 통합된 수준)

(4) TSS 체계 TRA 결과

총 9건의 CTE를 대상으로 TRA를 수행한 결과는 표 34와 같다. SWCTE3을 제외한 모든 CTE의 기술성숙도는 6 이상으로 평가되었다.

AI 기반 자동 표적탐지 기술은 가장 낮은 성숙도인 5로 평가되었다. 전체 시스템 수준의 성숙도는 CTE 중 가장 낮은 성숙도 평가 결과를 활용함으로써 5이다.

만약 TSS 체계가 체계개발로 전환되어야 한다면 AI 기반 자동 표적탐지 기술에 대한 기술 성숙 계획을 작성하여 제출해야 하며 사업의 위험관리를 위해 획득 정책 수립 시 반드시 고려해야 한다.

[표 34] TSS TRA 결과

CTE ID	CTE 주요내용	기술성숙도
HWCTE1	고해상도 EO 광학계 제작 기술	6
SWCTE1	EO 영상처리 펌웨어 기술	6
SWCTE2	EO 메타 데이터 및 영상처리 기술	6
SWCTE3	AI 기반 자동 표적 탐지 기술	5
SWCTE4	위치 기반 영상 매핑 기술	7
SWCTE5	EO 영상 분석, 편집 기술	7
IFCTE1	EO MTF 기술	9
IFCTE2	DP EO API 기술	7
IFCTE3	IAE EDA API	7

1.4. Case Study 결과

TRA 프레임워크는 시스템 통합 관점의 TRA를 위한 세부 절차와 산출물을 함께 제공한다. TSS, ADARMS 및 NTDS 체계의 Case Study를 통해 TRA 프레임워크의 실효성을 확인하였다. TRA 프레임워크는 체계공학을 근간으로 하기 때문에 체계공학 기반의 무기체계 연구개발 경험이 있는 전문가라면 쉽게 이해하고 사용할 수 있다. Case Study를 통해 확인된 사항은 다음과 같다.

TE 식별 측면에서는 TBS로부터 HWTE와 SWTE를 우선 식별하고 구성항목의 인터페이스 관계를 통해 IFTE를 식별하기 때문에 체계적이고 누락없는 TE의 식별이 가능하였다. 다만 IFTE를 식별하기 위해서는 대상체계에 대한 깊은 이해가 선행되어야 한다.

CTE 선정 측면에서 보면 첫째, 주요 ROC 정량목표에 해당하는 TE를 찾는 것은 매우 직관적이어서 활용도가 높을 것으로 기대한다. 목표체계의 운용개념에 따라 주요 데이터 흐름을 분석하고 TBS의 구성항목에 해당하는 주요 ROC 정량목표를 할당하면 쉽게 식별할 수 있다. 둘째, 기술 난이도를 평가하는 것은 각 수준 간 차이가 분명하여 해당 기술요소의 난이도를 평가하는데 어렵지 않았다. 셋째, COTS 기술 적용 여부를 활용하는 것은 해당 기술이 현재 판매, 운영된 실적을 기준으로 함으로 쉽게 판단할 수 있었다. 이는 국내 연구개발을 우선시 하는 획득 정책과도 부합하는 장점이 있다. 다만 해당 기술이 해외에만 존재하여 기술적 리더십을 우리나라가 가지도록 전략을 수립한다면 COTS 기술 적용에서 제외해야 한다.

시스템 통합 관점의 TRA 측면에서 보면 3가지 관점에서 재정의된 TRL을 사용하는데 기존 대비 큰 어려움은 없었다.

다만 평가 대상 기술이 현재 국내에서 보유하고 있는 기술과 유사하지만 차이가 있어 판단이 모호할 경우가 발생하기도 했다. 대부분의 TRL은 기술이 태동하여 임무 영역에 활용되기까지 기술의 발전 과정을 포함하고 있다. 현재 보유하고 있는 국내 유사 기술이 TRL의 어느 특정 수준에 해당하는지가 모호할 경우는 전문가로 구성된 평가팀 회의를 통해 최종 조율되어야 한다.

TRL 보조지표로 출력형태(Output Image)을 제공하는 것은 TRL에서 해당하는 기술의 성숙도 수준을 찾는 데 용이성을 제공하는 것으로 확인되었다.

TRA는 궁극적으로 사람에 의해 수행된다. 좀 더 쉽고 명확한 기준과 세부적인 절차를 제공하는 TRA 프레임워크는 현재의 체크리스트 방식의 문제점을 해결하는 데 일조할 수 있을 것으로 판단한다.

하지만 획득하려는 체계에 대한 이해도가 낮거나 아는 지식이 부족한 데 짧은 시간에 TRA를 수행해야 할 경우 IFTE를 찾는 데 발생할 수 있는 어려움은 해결해야 할 과제이다. 또한 HW, SW 및 IF 측면의 TRL은 좀 더 쉽게 기술 수준을 구분할 수 있는 지표로 발전시키기 위해 많은 전문가들의 참여와 함께 지속 개선되어야 한다.

2. 전문가 In-depth Interview

2.1. 인터뷰 수행

방위사업청을 포함한 정부기관, 소요군, 연구소 및 업체의 국방사업 전문가를 대상으로 In-depth Interview를 표 35와 같이 진행하였다. TRA 프레임워크 개선 연구에 대한 분야별 의견을 다음과 같이 청취하였다.

[표 35] In-depth Interview 요약

개요	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일 자 : 2023.5.20 ○ 관련기관 : 정부기관(6명), 소요군(2명), 연구소(4명), 업체(1명) ○ 대 상 자 : 국방사업전문가 ○ 진행방법 <ul style="list-style-type: none"> - 공청회 형식의 연구 결과 발표 및 의견 수렴 - 인터뷰 질의에 대한 참가자 의견 접수, 토론
주요 의견 수렴 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 現 TRA 수행 시 문제점 ○ 시스템 통합 관점의 CTE 선정 방법에 대한 의견 <ul style="list-style-type: none"> - 주요 ROC 정량목표 활용에 대한 의견 - 기술 난이도 평가 적용에 대한 의견 - COTS 기술 적용에 대한 의견 ○ 시스템 통합 관점의 TRL에 대한 의견 <ul style="list-style-type: none"> - HW, SW 및 IF TRL 사용에 대한 의견 - TRL 보조지표 활용에 대한 의견 ○ 시스템 통합 관점의 TRA에 대한 의견 <ul style="list-style-type: none"> - HW, SW 및 IF 측면의 TRA 수행에 대한 의견 - TRL 지표만으로 평가를 단순화한 것에 대한 의견

2.2. 인터뷰 결과 종합

In-depth 인터뷰에는 총 13명의 국방사업전문가가 참여하였다. 참여자는 정부기관 6명(46%), 소요군 2명(15%), 연구소 4명(31%) 및 기업체 1명(18%) 이다. 국방사업 경험 10년 이상이 8명(62%), 5년 이상에서 10년 미만인 3명(23%), 5년 미만 2명(15%)이 참여하였다.

시스템 통합 관점의 TRA 프레임워크 연구 결과에 대해서는 참여자의 92%가 긍정적인 평가를 하였다.

현행 지침을 기준으로 TRA를 수행할 경우 문제점을 다음과 같이 제시하였다. CTE를 도출하기 어려움, TRL 평가 요소의 투명성이 부족함, TRL 기준에 맞는 HW 수준을 찾기 어려움, 국과연과 업체가 도출한 기술간 차이가 존재함, 평가자에게 대상체계의 정보 공유가 늦음이었다.

CTE 선정 방법이 모호하여 어렵고 사전 도출된 후보 CTE에 대한 진위 논란이 있다는 의견은 본 연구의 출발점이 되었던 것과 정확히 일치했다. TRL 수준 간 차이가 불명확하고 평가 요소의 투명성이 부족한 문제 제기는 쉽고 직관적인 평가를 위한 본 연구의 목적과도 부합되었다.

시스템 통합 관점의 CTE 선정 방법에 대한 인터뷰 수행 결과는 다음과 같다. 첫째, 주요 ROC 정량목표를 CTE 선정에 활용하는 것에 대해서는 91%가 긍정적인 의견을 제시했다. 사유로 CTE는 ROC를 구현하는 데 반드시 관여하는 핵심기술요소로 여겼으며 대부분의 무기체계 사업에서 ROC는 궁극적인 사업의 목표이기 때문이었다. CTE와 능력관점의 ROC가 관련성이 부족하다는 부정적인 의견이 있었으나 이는 CTE 기본 요건과 상충된다. 왜냐하면 CTE는 사업의 성능, 일정, 비용에 중대한 영향을 주는 요건을 가지고 있으며 ROC는 이를 모두 충족하기 때문이다. 둘째, CTE 선정 시 난이도 평가를 활용하는 것에 대해서는

모든 참여자가 긍정적인 의견을 제시했다. 5가지 수준의 지표가 간단하고 수준 간 차이가 잘 구분 되어져 있다는 의견이다. 다만 난이도 지표에 대한 구체적인 설명이 추가되면 더 좋겠다는 의견이 있었다. 셋째, CTE 선정 시 COTS를 적용하는 것에 대해서는 참여자 91%가 긍정적인 의견을 제시했다. 검증된 COTS의 사용은 안정적 사업에 기여하고 호환성, 확장성 측면의 장점이 있고 무엇보다 비용 측면에서 절감 효과가 있기 때문이다. 다만 기술성숙도 평가 시점에서 적용되는 COTS 기술을 도출하는 것이 힘들어 부정적이라는 의견도 있었다.

시스템 통합 관점의 TRL에 대한 인터뷰 수행 결과는 다음과 같다. 첫째, TRL 기준을 HW, SW 및 IF TRL로 구분하는 것에 대한 의견은 모든 평가자가 긍정적인 의견을 제시했다. 긍정적 의견 중에는 분야별 기술요소가 잘 구분되어 정리되었다는 의견을 주었다. 본 프레임워크를 활용할 경우 무기체계 개발에 소요되는 기술의 도출 및 판단에 유리할 것이라는 의견도 있었다. 다만 SW와 IF TRL에 대한 접근방법을 이해하기 어렵다는 의견과 SW TRL 평가시 전문가를 어떻게 섭외해야 할 것인지에 대한 고민을 제시했다. 하지만 SW와 IF TRL에 대한 접근법은 교육을 통해 해결 가능할 것으로 판단한다. SW TRL 평가인력에 대한 소싱(Sourcing) 문제는 현재의 인력 Pool을 최대한 활용하되 Pool에 존재하지 않는 기술의 경우 적합한 인력의 소싱과 Pool의 지속적인 갱신이 필요할 것으로 판단된다. 둘째, TRL 기준에 Output Image(HW, SW, IF 형태)를 보조지표로 활용하는 것에 대해서는 91%가 긍정적인 의견을 제시했다. 산출물별로 수준을 활용할 수 있어서 가치가 있다고 판단했다. 이와 더불어 사례를 제시하여 이해도를 높일 필요성에 대한 개선 의견도 제시되었다.

시스템 통합 관점의 TRA에 대한 인터뷰 수행 결과는 다음과 같다. 첫째, TRA를 HW, SW 및 IF로 구분하여 수행하는 것에 대해서는 91%가 긍정적인 의견을 제시했다. 다만 짧은 시간에 습득한 TRA 프레임워크의 이해도 부족으로 SW와 IF 측면의 TRA가 어렵게 느껴진다는 의견이 있었다. 특히 아이디어는 좋으나 설계가 구체적이지 않으면 TBS 구성이 어렵고 IF를 식별하는 것에서부터 복잡하게 느껴진다는 의견이 있었다. 이 문제는 특히 선행연구 단계에서처럼 대상체계에 대한 이해도가 높지 않을 경우 식별하는 데 한계가 있을 것으로 보인다. 하지만 현재 사용 중인 프레임워크도 동일한 문제를 안고 있다. 이 부분은 두가지 접근법이 활용될 수 있을 것으로 판단한다. 목표 체계는 획득단계별로 구체화 된다. 첫 번째 접근법은 본 프레임워크를 하나의 TRA 방법론으로 보고 TRA 당시의 목표체계 이해도에 맞춰 수행하는 것이다. 선행연구 단계처럼 시스템 이해도가 낮아 모든 산출물의 수준이 미흡할 수도 있지만 현재 보다는 나은 CTE 도출 및 TRA 수행이 될 것이다. 동일한 사업이 탐색개발 단계에 진입하면 목표시스템에 대한 이해도가 높아져 구체적인 설계가 가능하고 더 높은 수준의 CTE 도출과 TRA 수행이 가능할 것이다. 두 번째 접근법은 어느 정도 대상체계에 대한 분석, 설계가 이루어지는 탐색개발 단계로 본 프레임워크의 사용을 한정하는 것이다. IF를 식별하고 소요되는 기술을 찾는 절차는 체계공학에 기반 한 것임으로 본 프레임워크에 대한 이해도 문제로 여겨진다. 본 프레임워크에 대한 교육을 통해 충분히 해결 가능할 것으로 판단한다. 둘째, TRL 테이블 만으로 기술성숙도를 평가하는 것에 대해서는 82%가 긍정적인 의견을 제시했다. 직관적이며 간단한 것에 대해서 긍정적이었다. 다만 이 부분은 좀 더 많은 전문가의 의견을

수렴하여 재평가할 필요가 있다는 의견도 있었다.

추가적으로 TRA 수행을 위한 사용자 편의성을 고려한다면 본 프레임워크가 다양한 전문가의 검토를 통해 체계화 되어 소프트웨어 도구로까지 발전될 필요가 있다는 의견이 제기되었다.



V. 결론

1. 연구 결과 요약

TRA는 현시점에서 CTE의 기술 수준을 정량적으로 평가한 것이다. TRA 결과는 무기체계의 국내 연구개발 가능성 판단, 획득 단계별 주요 마일스톤의 단계 전환 결정 및 위험관리 도구로 활용된다.

하지만 현 기술성숙도 평가에 사용되는 TRL은 HW 중심의 평가지표로 개별기술의 독립적 평가에 적합하나 시스템 수준의 평가에는 한계가 있다. 이러한 한계 극복을 위해 IRL, SRL 등의 연구가 진행되었지만 제도에 정착되지는 않았다.

본 연구는 SE 기반의 시스템 통합 관점을 TRA 절차에 적용하여 현 TRA가 가진 한계점을 극복할 수 있는 프레임워크를 제안하였다. 기존 선행연구 결과물을 최대한 활용하되 방법론 차원의 프레임워크 개선에 중점을 두었다.

제안 프레임워크는 시스템 통합 관점의 평가를 위해 TRA 대상을 HW, SW 및 IF 관점으로 바라본다. 따라서 TE와 CTE는 HW, SW 및 IF 측면으로 구분하여 식별한다. 방법론 차원에서 TBS로부터 HWTE와 SWTE를 먼저 식별하고 HW 구성항목과 SW 구성항목 간 인터페이스 관계를 활용하여 IFTE를 식별하는 방법을 제시한다. TRL도 3가지 측면에서 재정의하고 각 분야별 TRA를 수행할 수 있는 절차를 제공한다. 기존 체크리스트 기반 평가의 한계 극복을 위해 기준을 명확화, 단순화하고 절차를 보장하는 데 노력하였다. 전체 시스템 수준의 성숙도는 위험관리를 고려하여 현재와 같이 가장 낮은 평가 결과를 활용하였다.

CTE 선정은 현재의 체크리스트 방식에서 벗어나 주요 ROC 정량 목표와 관련성, 기술 난이도 평가 결과 및 COTS 기술 적용 여부를 고려하여 재정의된 기준과 절차에 따라 수행한다. 제안된 방법은 평가자 주관의 개입을 최소화할 뿐만 아니라 상용품 우선 정책에도 부합되는 장점이 있다.

TRL은 HW, SW 및 IF 측면에서 각각 재정의하고 각 수준별 보조지표(검증환경, HW/SW/IF 형태)를 제공하여 수준 간 차이를 명확히 확인할 수 있도록 하였다.

본 TRA 프레임워크는 2단계 실증 분석을 수행했다. 첫째, 3개 복합 무기체계(TSS, ADARMS, NTDS)의 Case Study를 통해 실 체계의 TRA에 적용 가능성을 확인하였다. 둘째, 방위사업청, 국방과학연구소를 포함한 국방사업전문가와 In-depth Interview를 통해 본 프레임워크에 대한 평가와 개선해야 할 사항 등에 대한 의견을 적극 청취하였다. 그 결과 본 프레임워크는 In-depth 인터뷰 참여자의 92%로부터 긍정적인 평가를 받았다. 특히 CTE 선정 방법에 주요 ROC 정량목표의 적용, 기술 난이도 평가의 도입 및 COTS 기술의 적용에 대해서는 이해하기 쉽고 비교적 간단하면서 명확하다는 긍정적인 평가를 받았다. 그리고 HW, SW 및 IF 관점에서 TRL을 구분하고 TRA를 수행하는 것에 대해서도 긍정적으로 평가했다. 다만 선행연구와 같이 목표체계에 대한 이해도가 낮을 경우 TBS 작성과 IF 기술 식별 등이 어려울 수 있다는 의견이 있었고 본 프레임워크의 적용을 탐색개발로 한정하는 등의 방법이 필요하다는 대책도 토론 되었다. 또한 현재 재정의된 분야별 TRL은 좀 더 많은 전문가의 의견 수렴을 통해 완성도를 높일 필요가 있다는 의견도 접수되었다.

TRA 프레임워크는 기술성숙도와 관련된 핵심 의사소통 도구로서 의미가 크다. TRA 평가는 결국 전문가에 의해 수행되므로 단순하면서 각 수준 간 경계가 명확하다면 훨씬 쉽고 직관적인 평가가 가능하여 결과에 대한 이견 또한 최소화 되리라 판단한다.

정리하면 제안 프레임워크는 기존 방식 대비 표 36과 같은 개선점을 제공한다.

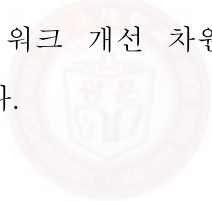
[표 36] 제안 프레임워크의 개선점

구 분	기존 방식	제안 방식	
차 이 점	TRA 관점	<ul style="list-style-type: none"> • HW 관점 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 관점 <ul style="list-style-type: none"> - HW/SW/IF 관점 포함
	TE 식별	<ul style="list-style-type: none"> • 평가자의 직관적 TE 식별 	<ul style="list-style-type: none"> • TE 식별 절차 제시 <ul style="list-style-type: none"> - HW/SW/IF TE 식별 절차
	CTE 식별	<ul style="list-style-type: none"> • Check List 기반 CTE 식별 	<ul style="list-style-type: none"> • CTE 기준 및 절차 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 주요 ROC 정량목표, 기술 난이도, COTS 기술 적용 여부 활용법 포함
	TRL 기준	<ul style="list-style-type: none"> • HW 중심 단일 TRL 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 관점의 HW, SW, IF TRL 적용
	TRA 수행	<ul style="list-style-type: none"> • HW 중심의 TRL을 기준으로 Check List 기반 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 관점의 직관적인 TRL 활용하여 평가 <ul style="list-style-type: none"> - HW/SW/IF TRL 기준
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • HW 중심의 개발사업에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 방법론 수준의 세부 절차, 산출물 작성 방법 등 제시로 주관의 개입 최소화 • 체계공학 절차에 적합한 시스템 관점의 TRA 가능 • 직관적이고 쉬운 TRA 방법 제공 • 최초 평가자 대상 TRA 방법에 대한 교육 용이 	
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 관점의 TRL 평가 부족 • Check List 기준 평가로 평가자 주관의 개입 가능성 大 → 결과에 대한 일관성 低 → CTE 식별, TRA 결과에 진위 논란 多 • 최초 평가자 대상 TRA 교육 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 체계 이해도가 높아 TBS (Technical Work Breakdown Structure)가 구체화 될수록 TRA 품질이 높아짐 	

본 연구는 연구자가 동원할 수 있는 인적 네트워크의 한계로 좀 더 많은 다양한 분야의 전문가로부터 의견을 청취하는 데 제한이 있었다. Case Study 대상 또한 조건에서 제외된 다른 유형의 무기체계 개발사업으로 확대하여 무기체계 유형별 커버리지를 높이는 데 한계가 있었다.

향후 연구에서는 다양한 사업 경험을 가진 TRA 전문가로 In-depth 인터뷰 대상을 확대하고 Case Study 대상을 본 연구에 포함되지 못한 무기체계 유형으로 넓혀 제안 프레임워크의 완성도를 제고할 필요가 있다.

본 연구를 시작으로 시스템 통합 관점의 TRA 평가에 대한 기준과 절차에 대한 연구가 프레임워크 개선 차원에서 활발히 진행되어 향후 제도 발전에 기여하길 바란다.



2. 정책적 제언

본 연구를 수행하는 과정에서 도출된 과제를 중심으로 제도적 개선에 도움이 될 수 있는 사항을 다음과 같이 제시하였다. 국내 TRA 제도 발전에 밑거름이 되길 기대한다.

첫째, 체크리스트 기반의 CTE 선정 방법에 대한 개선이 시급하다. 사실 본 연구는 CTE 선정 방법의 개선을 목적으로 출발하였다. 현지 지침을 기준으로 사전 식별된 CTE 후보가 이해관계자별로 각각 다르고 진위여부를 논의하는 데 많은 노력을 허비한다는 이유였다. 현지 체크리스트 기반의 CTE 선정 방법은 개선되어야 한다.

둘째, 기술성숙도 평가를 좀 더 쉽고 직관적으로 수행할 수 있도록 기준과 절차가 재정비되어야 한다. TRA 업무 지침은 체크리스트 방식에서 단순하지만 명확한 기준, 절차와 산출물을 제공하는 방법론 차원으로 발전되어야 한다.

셋째, TRA 평가 소프트웨어를 개발하여 TRA의 계획 수립에서부터 결과의 관리까지 체계적인 관리가 필요하다. 현재 TRA 인력 Pool과 결과는 시스템으로 관리되고 있지만 평가도구는 없는 실정이다. TRA가 방법론 차원으로 명확하고 단순하게 재정비된다면 TRA 전체 라이프 사이클(Life Cycle)을 커버하는 소프트웨어 개발이 가능할 것이다.

넷째, TRA 대상을 간소화 할 필요성이 있다. TRA를 수행하게 되면 많은 노력과 시간이 소요된다. 미국의 경우 주요 무기체계 프로그램과 기술적 위험이 있는 사업에 대해서만 TRA를 수행한다. 그리고 주요 의사결정 시점마다 TRL 목표 달성을 의무화 하던 것을 축소하고 체계개발 단계 진입 시점인 마일스톤 B(탐색개발 종료시점)에서만 TRA를 수행하도록 했다. 미국과 같이 TRA 대상을 간소화할 필요성이 있다.

VI. 참고문헌

- [1] 국방기술품질원(2019), 국방과학기술조사서
- [2] 국방부(2022), 국방전력발전업무훈령
- [3] 방위사업청(2019), 기술성숙도평가(TRA) 업무지침
- [4] 안보경영연구원(2018), 기술성숙도평가(TRA) 내실화 방안 연구
- [5] Conford 외(2004), Quantitative methods for maturing and infusing advanced spacecraft technology, 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings (IEEE Cat. No. 04TH8720), Vol. 1, IEEE, pp. 5-6, 2004
- [6] Steven D. Eppinger, and Nitin Joglekar(2015) Technology readiness levels at 40: A study of state-of-the-art use, challenges, and opportunities. 2015 Portland international conference on management of engineering and technology (PICMET). IEEE, 2015
- [7] 방위사업청(2021), 무기체계 부품국산화개발 관리규정
- [8] 국방부(2022), 방위사업법
- [9] 방위사업청(2021), 한국산 우선획득 제도 시행 공지
- [10] 이선현 외(2016), 기술성숙도평가 (TRA) 적용현황 및 발전방향, 국방과 기술 445 (2016): 104-119
- [11] 방위사업청(2012), 연구개발사업의 체계공학(SE) 기반 기술관리업무 실무지침서
- [12] 국방부(2021), 방위사업법 시행규칙
- [13] 방위사업청(2023), 방위사업관리규정
- [14] J.Banke(2013), Technology readiness levels demystified, accessed November 5, 2013

- [15] Hirshorn, Steven 외(2016), Final report of the NASA Technology Readiness Assessment (TRA) study team. No. HQ-E-DAA-TN43005. 2016.
- [16] Straub, Jeremy(2015), In search of technology readiness level (TRL) 10, Aerospace Science and Technology46, pp. 4-7, 2015
- [17] 이선현 외(2017), 무기체계 연구개발사업에서 기술적 위험지표 적용 가능성 분석, 한국군사과학기술학회지 20.6 (2017): 835-843
- [18] Mankins, John C(2009), Technology readiness and risk assessments: A new approach, Acta Astronautica 65.9-10 (2009): 1208-1215
- [19] Sauser, Brian 외(2006), From TRL to SRL: The concept of systems readiness levels, Conference on Systems Engineering Research, Vol. 5, No. 0002, Los Angeles, USA: Stevens Institute of Technology, pp. 5-7, 2006
- [20] Sauser, Brian J 외(2006), 3.1. 1 Defining an Integration Readiness Level for Defense Acquisition, INCOSE International Symposium. Vol. 19. No. 1. 2009
- [21] Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook(2009), Office of the Director of Defense Research and Engineering, Washington DC, 2009: 0130
- [22] Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance(2011), Office of the Assistant Secretary of Defense (Research and Engineering), Washington DC., pp. 1-14, 2011. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA554900>

- [23] Persons, Timothy M. and Michele Mackin(2020), Technology Readiness Assessment Guide: Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects, US Government Accountability Office Washington United States, pp. 34-127,2020. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1105846>
- [24] Tan, Weiping, Jose Ramirez Marquez, and Brian Sauser(2011), A probabilistic approach to system maturity assessment, *Systems Engineering* 14.3 (2011): 279-293
- [25] Mankins, John C(2002), Approaches to strategic research and technology (R&T) analysis and road mapping, *Acta Astronautica* 51.1-9 (2002): 3-21
- [26] Bilbro, James W(2008), Using the advancement degree of difficulty (AD2) as an input to risk management, *Multi-Dimensional Assessment of Technology Maturity Technology Maturity Conference*, Virginia Beach, VA, USA. 2008
- [27] Mahafza, Sherry(2006), Technology Performance Risk Measure, Airforce Research Laboratory Seminar, ADM002184, OBM. No. 0704-0188. 2006
- [28] Olechowski, Alison 외(2015), Technology readiness levels at 40: A study of state-of-the-art use, challenges, and opportunities, 2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), IEEE, 2015.
- [29] Tomaschek, Katharina 외(2016), A survey of technology

readiness level users, INCOSE International Symposium, Vol. 26, No. 1, 2016

- [30] Tompkins, Zuhal, Michael Grenn 외(2018), Improvingsystem maturity assessments by incorporating a design structure matrix, IEEE Transactions on Engineering Management67, 1, pp. 122-140, 2018
- [31] Jesus, Gabriel T., and Milton F. Chagas Junior. "Using systems architecture views to assess integration readiness levels," IEEE Transactions on Engineering Management69, 6, pp. 3902-3912, 2020
- [32] 임도빈(2009), 질적 연구 방법의 내용과 적용전략 : 양적인 질적연구와 질적인 질적 연구, 「정부학연구」 제15권 제1호(2009)
- [33] 배운호 외(2009), 국방시스템 기술전이 지원을 위한 기술성숙도 도출에 관한 연구, 경영과학 26.3 (2009): 157-167
- [34] 권일호 외(2013), 무기체계개발에서 작전운용성능을 만족시키기 위한 개선된 시스템성숙도 평가방법, 한국산학기술학회 논문지 14.8 (2013): 3602-3610
- [35] 김미선 외(2021), 가중치 산출방법을 활용한 획득방안 분석단계의 기술성숙도 평가 개선방안, 한국산학기술학회 논문지 22.4 (2021): 538-544
- [36] 권재국(2019), 총수명주기관점의 무기체계 국산화 평가방안 연구 : 질적 연구방법론을 중심으로

부록. Case Study 추가 수행 내역

1. 대상 선정

시스템 통합 관점의 복합 무기체계 TRA 프레임워크의 실효성을 확인하기 위해 Case Study를 다음과 같이 추가 수행하였다.

추가적인 Case Study 대상으로 다음 2가지 조건을 만족하는 체계를 선정하였다. 첫째, 대상체계는 복합 무기체계여야 한다. 획득하고자 하는 대상체계가 단독으로 존재하지 않고 상급 체대 지휘통제체계 등과 연동되는 복합체계여야 한다. 둘째, 연구진이 직접 그 무기체계의 연구개발 또는 체계개발 사업에 참여한 경험이 있어 대상체계에 대한 높은 이해도가 있어야 한다. 위 2가지 조건을 만족하는 다음 2개 체계를 Case Study 대상으로 선정하였다. 선정 체계는 ADARMS(Airfield Damage Assessment and Recovery Management System)와 NTDS(Naval Tactical Data System)이다. 두 체계는 모두 상급 체대 C4I 체계와 연동되는 복합 무기체계이고 연구진이 직접 사업에 참여하여 체계에 대한 이해도가 높다.

한국의 무기체계는 전력발전업무훈령(별표4)에 따라 총 10개의 무기체계로 분류된다. 10대 무기체계는 지휘통제통신, 감시정찰, 화력, 기동, 방호, 함정, 항공, 사이버 및 우주 무기체계 등으로 분류된다. NTDS는 지휘통제·통신 무기체계에 해당하며 TSS 체계와 ADARMS 체계는 감시·정찰 무기체계에 포함된다.

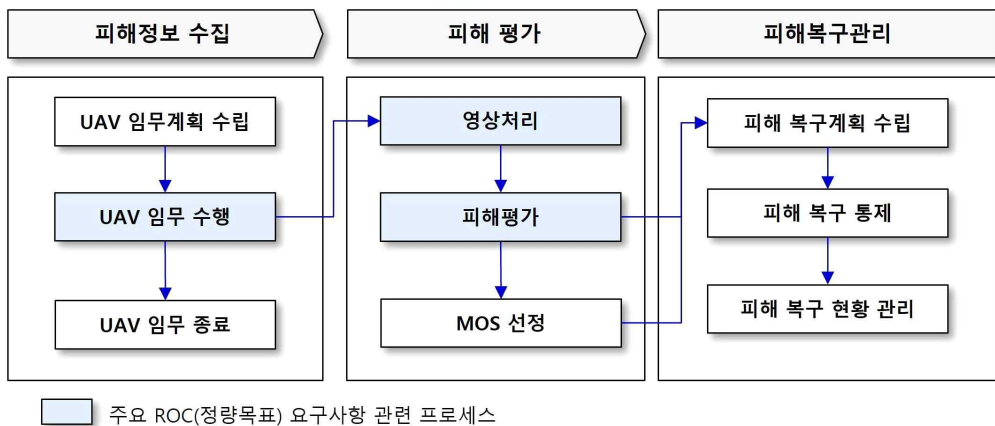
본 논문에서는 군사 보안에 해당하는 사항을 제외하고 체계의 핵심만 요약, 조정하여 제안 프레임워크 검증에만 초점을 두었다.

2. Case Study 결과

2.1. ADARMS

(1) 체계 개요

ADARMS(Airfield Damage Assessment and Repair Management System)는 비행장 활주로에 피해 발생 시 신속한 피해복구를 위한 관리체계로 항공작전의 지속성 보장을 목표로 한다. 체계의 핵심 운용개념은 그림 1과 같다.



[그림 1] ADARMS 체계 개념

피해평가팀은 EO/IR 센서가 탑재된 UAV를 운용하여 비행장 활주로의 피해 영상을 촬영하고 무선통신망을 통해 중앙통제소에 전파한다. 시스템은 무선 통신체계를 통해 수집한 EO/IR 영상을 활용하여 자동으로 피해 유형을 분류하고 피해 위치와 규모 등을 산출한다. 지휘관은 피해분석 결과를 활용하여 시스템이 추천하는 최소운영활주로(MOS,

Minimum Operate Stripe)를 확인하고 MOS를 최종 선정한다. 그리고 신속하게 복구계획을 수립하여 복구팀에 그 계획을 공유한다. 지휘관은 시스템을 활용하여 현장에 나가 있는 복구팀원들과 소통하면서 비행장 피해복구를 통제하고 진척 현황을 관리한다. 주요 ROC 정량목표는 UAV가 촬영한 영상을 수집, 분석하여 비행장 피해 유형(균열, 함몰 등)을 20분 이내(가정)에 자동으로 인식하고 분류하는 것이다.

(2) TBS(Technical Work Breakdown Structure) 작성

ADARMS의 TBS는 그림 2와 같다.

Level1	Level2	Level3	Level4	Key ROC Allocation
ADARMS	Damage Information Collection System	UAV Platform	AP ¹⁾ HW	
			AV ²⁾ HW	
			FC ³⁾ SW	
			NV ⁴⁾ SW	
			PS ⁵⁾ HW	
			CM ⁶⁾ HW	●
			CM SW	●
		Payload Equipment	EO ⁷⁾ HW	●
			EO SW	●
			IR ⁸⁾ HW	
			IR SW	●
		Ground Control Equipment	DL ⁹⁾ HW	●
			DL SW	●
			GC ¹⁰⁾ HW	
	GC SW			
	Damage Assessment System	Image Processing Equipment	IP ¹¹⁾ HW	●
			GW ¹²⁾ SW	●
			2D_EO IP SW	●
			2D_IR IP SW	●
			3D_IP SW	
		Damage Assessment Equipment	DA ¹³⁾ HW	●
			DA SW	●
	MS ¹⁴⁾ SW			
Damage Recovery Management System	DRM Equipment	DRM ¹⁵⁾ HW		
		DRM SW		

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1) AP : Airframe & Propulsion system | 9) DL : Data Link |
| 2) AV : AVionics | 10) GC : Ground Control |
| 3) FC : Flight Control | 11) IP : Image Processing |
| 4) NV : NaVigation | 12) GW : GateWay |
| 5) PS : Platform Sensor | 13) DA : Damage Assessment |
| 6) CM : CoMmunication | 14) MS : Minimum operate stripe Selection |
| 7) EO : Electro Optical | 15) DRM : Damage Recovery Management |
| 8) IR : Infra-Red | |

[그림 2] ADARMS의 TBS

체계를 Damage Information Collection System(피해정보수집시스템), Damage Assessment System(피해평가시스템) 및 Damage Recovery Management System(피해복구관리시스템)으로 구조화하였다.

피해정보수집시스템은 UAV를 운용하기 위한 Platform, Payload 및 Ground Control Equipment로 구성된다. 피해평가시스템은 UAV가 촬영한 영상을 활용하여 2D/3D 매핑을 수행하는 Image Processing Equipment와 피해 유형을 자동으로 분류하고 피해 규모를 산출한 후 MOS를 추천하는 Damage Assessment Equipment로 구성된다. Damage Recovery Management System은 피해복구 계획을 수립하고 통제하는 부체계 이다.

체계 운용개념에 따라 주요 ROC 정량목표와 관련된 구성요소를 함께 식별하였다. UAV에 탑재된 EO/IR 센서에서부터 영상을 유통하는 데이터링크와 수집된 영상을 2D 매핑하고 인공지능 알고리즘을 활용하여 피해 유형을 탐지하고 유형을 분류하는 것까지 주요 ROC 정량목표와 관련된 프로세스에 참여하는 HW와 SW 구성항목을 선정하였다.

(3) CTE 선정

(가) TE 식별

1) HWTE와 SWTE 식별

ADARMS의 TBS를 기준으로 HWTE와 SWTE를 그림 3과 같이 식별하였다.

TBS		HWTE/SWTE	
Level2	Level3	TE ID	TE Definition
Damage Information Collection Sys.	UAV platform	HWTE1	Airframe & propulsion system design & manufacturing technology (fuselage, wings, rotors, etc.)
		HWTE2	Avionics HW design & manufacturing technology
		SWTE1	Flight control SW technology
		SWTE2	Navigation SW technology
		HWTE3	Platform sensor design & integration technology (GPS, IMU, altitude sensor, etc.)
		HWTE4	Communication HW technology (Data Link, Bus, etc.)
		SWTE3	Communication SW technology
	Payload Equip.	HWTE5	EO camera design & integration technology
		SWTE4	EO image processing SW technology
		HWTE6	IR camera design & integration technology
		SWTE5	IR image processing SW technology
	Ground Control Equip.	HWTE7	Communication module design & manufacturing technology
		SWTE6	Data link SW technology
		HWTE8	Remote control HW technology for GCS
SWTE7		Mission planning SW technology	
SWTE8		UAV diagnostics and monitoring SW technology	
Damage Assessment Sys.	Image Processing Equip.	HWTE9	High-performance GPU-based HW production technology
		SWTE9	Gateway SW technology
		SWTE10	2D EO image processing SW technology (image mapping, etc.)
		SWTE11	2D IR image processing SW technology (image mapping, etc.)
	SWTE12	3D IR image processing SW technology (DSM, point cloud, etc.)	
	Damage Assessment Equip.	HWTE10	High-performance CPU-based HW production technology
		SWTE13	AI-based damage detection SW technology
		SWTE14	AI-based damage recognition SW technology
SWTE15		Automatic damage calculation SW technology	
SWTE16	Automatic MOS candidate recommendation SW technology		
Damage Recovery Management Sys.	Damage Recovery Management Equip.	HWTE11	High-performance CPU-based HW production technology
		SWTE17	Resource management SW technology
		SWTE18	Decision Support SW technology
		SWTE19	Real time communication & coordination SW technology
		SWTE20	Situation monitoring SW technology (GIS integration)

[그림 3] ADARMS HWTE 및 SWTE 정의서

TE는 TBS 레벨4에 해당하는 HW와 SW 구성항목을 개발하기 위해 필요한 기술요소로 식별하였다. HWTE는 Damage Information Collection System이 8개, Damage Assessment System이 2개, Damage Recovery Management System이 1개 식별되었다. SWTE는 Damage Information Collection System이 8개, Damage Assessment System이 8개, Damage Recovery Management System이 4개 식별되었다.



2) IFTE 식별

ADARMS 운용개념에 따라 HW 구성항목과 SW 구성항목 간 인터페이스 관계를 고려하여 IFTE를 그림 4와 같이 총 39개를 식별하였다. 운용개념의 데이터 흐름을 추적하여 HW와 SW 구성항목 간 연동 관계를 식별하였다.

TBS		UAV Platform							Payload				Ground Control				Image Processing Equip.			Damage Assessment			DRM Equip.			
Level3	Level4	AP HW	AV HW	FC SW	NV SW	PS HW	CM HW	CM SW	EO HW	EO SW	IR HW	IR SW	DL HW	DL SW	GC HW	GC SW	IP HW	GW SW	2D_EO IP SW	2D_IR IP SW	3D_IP SW	DA HW	DA SW	MS SW	DRM HW	DRM SW
UAV Platform	AP HW		IFTE1																							
	AV HW	IFTE1		IFTE2	IFTE3		IFTE4																			
	FC SW		IFTE2		IFTE5			IFTE6																		
	NV SW		IFTE3	IFTE5																						
	PS HW						IFTE8																			
	CM HW		IFTE4			IFTE8		IFTE9	IFTE10			IFTE11		IFTE12												
CM SW			IFTE6	IFTE7			IFTE9			IFTE13		IFTE14		IFTE15												
Payload Equip.	EO HW						IFTE10				IFTE14															
	EO SW							IFTE13	IFTE14																	
	IR HW						IFTE11					IFTE16														
	IR SW							IFTE14			IFTE16															
Ground Control Equip.	DL HW						IFTE12								IFTE17	IFTE18		IFTE19								
	DL SW							IFTE15					IFTE17			IFTE20		IFTE21								
	GC HW												IFTE18			IFTE22										
	GC SW													IFTE20	IFTE22											
Image Processing Equip.	IP HW												IFTE19					IFTE23	IFTE24	IFTE25	IFTE26	IFTE27			IFTE28	
	GW SW													IFTE21			IFTE23		IFTE29	IFTE30	IFTE31		IFTE32	IFTE33	IFTE34	
	2D_EO IP SW																IFTE24	IFTE29								
	2D_IR IP SW																IFTE25	IFTE30								
	3D_IP SW																IFTE26	IFTE31								
Damage Assessment Equip.	DA HW																						IFTE35	IFTE36	IFTE37	
	DA SW																					IFTE35	IFTE38			
	MS SW																					IFTE36	IFTE38			
DRM Equip.	DRM HW																IFTE28					IFTE37			IFTE39	
	DRM SW																	IFTE34							IFTE39	

[그림 4] ADARMS 인터페이스 매트릭스

식별된 IFTE에 대한 정의서를 그림 5와 같이 작성하였다. HW, SW 구성항목 간 인터페이스에 필요한 기술을 간략하게 정의하였다.

Interface Section (TBS level4)		IFTE	
		TE ID	TE Definition
AP HW	AV HW	IFTE1	Control system design & integration technology
AV HW	FC SW	IFTE2	FC data bus technology
	NV SW	IFTE3	NV data bus technology
	CM HW	IFTE4	AV-CM standard interface technology
FC SW	NV SW	IFTE5	FC-NV API technology
	CM SW	IFTE6	FC-CM API technology
NV SW	CM SW	IFTE7	NV-CM API technology
PS HW	CM HW	IFTE8	PS-CM standard interface technology
CM HW	CM SW	IFTE9	Communication firmware technology
	EO HW	IFTE10	CM-EO standard interface technology
	IR HW	IFTE11	CM-IR standard interface technology
	DL HW	IFTE12	Standard data link construction technology
CM SW	EO SW	IFTE13	CM-EO API technology
	IR SW	IFTE14	CM-IR API technology
	DL SW	IFTE15	CM-DL API technology
IR HW	IR SW	IFTE16	IR firmware technology
DL HW	DL SW	IFTE17	DL standard firmware technology
	GC HW	IFTE18	DL-GC standard interface technology
	IP HW	IFTE19	Standard data link construction technology
DL SW	GC SW	IFTE20	DL-GC API technology
	GW SW	IFTE21	DL standard protocol technology
GC HW	GC SW	IFTE22	GC firmware technology
IP HW	GW SW	IFTE23	Web based middleware technology
	2D_EO IP SW	IFTE24	Web based middleware technology
	2D_IR IP SW	IFTE25	Web based middleware technology
	3D_IP SW	IFTE26	Web based middleware technology
	DA HW	IFTE27	Gigabit optical communication technology
	DRM HW	IFTE28	Gigabit optical communication technology
GW SW	2D_EO IP SW	IFTE29	Rest API technology
	2D_IR IP SW	IFTE30	Rest API technology
	3D_IP SW	IFTE31	Rest API technology
	DA SW	IFTE32	Rest API technology
	MS SW	IFTE33	Rest API technology
	DRM SW	IFTE34	Rest API technology
DA HW	DA SW	IFTE35	Web based middleware technology
	MS SW	IFTE36	Web based middleware technology
	DRM HW	IFTE37	Gigabit optical communication technology
DA SW	MS SW	IFTE38	API & DBMS technology
DRM HW	DRM SW	IFTE39	Web based middleware technology

[그림 5] ADARMS IFTE 정의서

(나) CTE 후보(1차) 선정

1) 주요 ROC 정량목표 관련 TE 식별

주요 ROC 정량목표와 관련된 HWTE와 SWTE를 그림 6과 같이 식별하였다.

TBS		HWTE/SWTE		Key ROC related items
Level2	Level3	TE ID	TE Definition	
Damage Information Collection Sys.	UAV platform	HWTE1	Airframe & propulsion system design & manufacturing technology (fuselage, wings, rotors, etc.)	×
		HWTE2	Avionics HW design & manufacturing technology	×
		SWTE1	Flight control SW technology	×
		SWTE2	Navigation SW technology	×
		HWTE3	Platform sensor design & integration technology (GPS, IMU, altitude sensor, etc.)	×
		HWTE4	Communication HW technology (Data Link, Bus, etc.)	●
		SWTE3	Communication SW technology	●
	Payload Equip.	HWTE5	EO camera design & integration technology	●
		SWTE4	EO image processing SW technology	●
		HWTE6	IR camera design & integration technology	●
		SWTE5	IR image processing SW technology	●
		HWTE7	Communication module design & manufacturing technology	●
	Ground Control Equip.	SWTE6	Data link SW technology	●
		HWTE8	Remote control HW technology for GCS	×
SWTE7		Mission planning SW technology	×	
Damage Assessment Sys.	Image Processing Equip.	HWTE9	High-performance GPU-based HW production technology	●
		SWTE9	Gateway SW technology	●
		SWTE10	2D EO image processing SW technology (2D EO mapping, etc.)	●
		SWTE11	2D IR image processing SW technology (2D IR mapping, etc.)	●
		SWTE12	3D IR image processing SW technology (DSM, point cloud, etc.)	×
	Damage Assessment Equip.	HWTE10	High-performance CPU-based HW production technology	●
		SWTE13	AI-based damage detection SW technology	●
		SWTE14	AI-based damage recognition SW technology	●
		SWTE15	Automatic damage calculation SW technology	×
		SWTE16	Automatic MOS candidate recommendation SW technology	×
Damage Recovery Management Sys.	Damage Recovery Management Equip.	HWTE11	High-performance CPU-based HW production technology	×
		SWTE17	Resource management SW technology	×
		SWTE18	Decision Support SW technology	×
		SWTE19	Real time communication & coordination SW technology	×
		SWTE20	Situation monitoring SW technology (GIS integration)	×

[그림 6] 주요 ROC 정량목표와 관련된 ADARMS HWTE와 SWTE

주요 ROC 정량목표와 관련된 TE를 찾는 방법은 다음과 같다.

체계 운용개념에 따라 프로세스 다이어그램을 작성하고 주요 ROC 정량목표와 관련된 핵심 프로세스를 식별한다. 기 작성된 TBS를 기준으로 식별된 핵심 프로세스를 처리하기 데 관여하는 HW와 SW 구성항목을 찾는다. 최종적으로 식별된 HW와 SW 구성항목을 개발하는데 필요한 기술요소를 식별하고 정의하였다.

ADARMS의 운용개념을 상위 수준의 프로세스 다이어그램으로 표현한 것이 그림 1이다. 운용개념 상 UAV는 임무 계획에 따라 임무 수행을 하며 탑재된 EO/IR을 활용하여 피해지역을 촬영하여 통제소에 전송한다. 주요 ROC 정량목표와 관련된 핵심 프로세스는 UAV에 탑재된 EO/IR 센서가 피해 영상을 확보한 순간부터 촬영 영상을 데이터링크를 통해 통제소에 전파하고 통제소에 수집된 데이터를 영상처리 한 후 자동으로 피해 유형을 탐지하고 분류하는 것까지이다.

TBS 결과를 활용하여 위 핵심 프로세스의 처리를 위해 관여하는 HW와 SW 구성항목을 식별하며 각 구성항목을 개발하는데 소요되는 기술요소가 주요 ROC 정량목표와 관련된 HWTE와 SWTE이다. 이와 함께, 체계 운용개념에 따라 식별된 인터페이스 매트릭스에서 주요 ROC 정량목표와 관련된 프로세스를 추적하면서 해당 연동 관계를 식별하여 주요 ROC 정량목표와 관련된 IFTE를 식별한다. 그 결과는 그림 7과 같다. EO/IR 센서 단에서 EO/IR 영상을 수집하고 데이터를 처리하는 것, EO/IR 영상을 UAV에서 통제소로 전송하는 것, EO/IR 영상을 수집하여 2D 매핑하고 자동으로 피해 유형을 탐지/분류하는 것과 관련된 IFTE가 해당한다.

Interface Section (TBS level4)		IFTE		Key ROC related items
		TE ID	TE Definition	
AP HW	AV HW	IFTE1	Control system design & integration technology	×
AV HW	FC SW	IFTE2	FC data bus technology	×
	NV SW	IFTE3	NV data bus technology	×
	CM HW	IFTE4	AV-CM Standard interface technology	×
FC SW	NV SW	IFTE5	FC-NV API technology	×
	CM SW	IFTE6	FC-CM API technology	×
NV SW	CM SW	IFTE7	NV-CM API technology	×
PS HW	CM HW	IFTE8	PS-CM Standard interface technology	×
CM HW	CM SW	IFTE9	Communication firmware technology	●
	EO HW	IFTE10	CM-EO Standard interface technology	●
	IR HW	IFTE11	CM-IR Standard interface technology	●
	DL HW	IFTE12	CM-DL Standard interface technology	●
CM SW	EO SW	IFTE13	CM-EO API technology	●
	IR SW	IFTE14	CM-IR API technology	●
	DL SW	IFTE15	CM-DL API technology	●
IR HW	IR SW	IFTE16	IR firmware technology	●
DL HW	DL SW	IFTE17	DL standard firmware technology	●
	GC HW	IFTE18	DL-GC Standard interface technology	×
	IP HW	IFTE19	Standard data link construction technology	●
DL SW	GC SW	IFTE20	DL-GC API technology	×
	GW SW	IFTE21	DL standard protocol technology	●
GC HW	GC SW	IFTE22	GC firmware technology	×
IP HW	GW SW	IFTE23	Web based middleware technology	●
	2D_EO IP SW	IFTE24	Web based middleware technology	●
	2D_IR IP SW	IFTE25	Web based middleware technology	●
	3D_IP SW	IFTE26	Web based middleware technology	×
	DA HW	IFTE27	Gigabit optical communication technology	×
	DRM HW	IFTE28	Gigabit optical communication technology	×
GW SW	2D_EO IP SW	IFTE29	Rest API technology	×
	2D_IR IP SW	IFTE30	Rest API technology	×
	3D_IP SW	IFTE31	Rest API technology	×
	DA SW	IFTE32	Rest API technology	×
	MS SW	IFTE33	Rest API technology	×
	DRM SW	IFTE34	Rest API technology	×
DA HW	DA SW	IFTE35	Web based middleware technology	×
	MS SW	IFTE36	Web based middleware technology	×
	DRM HW	IFTE37	Gigabit optical communication technology	×
DA SW	MS SW	IFTE38	API & DBMS technology	×
DRM HW	DRM SW	IFTE39	Web based middleware technology	×

[그림 7] 주요 ROC 정량목표와 관련된 ADARMS IFTE

2) 기술 난이도 평가

주요 ROC 정량목표와 관련이 없는 HWTE와 SWTE 16건을 대상으로 기술 난이도 평가를 한 결과는 그림 8과 같다.

TBS		HWTE/SWTE		Difficulty level	Reference Project
Level2	Level3	TE ID	TE Definition		
Damage Information Collection Sys.	UAV platform	HWTE1	Airframe & propulsion system design & manufacturing technology (fuselage, wings, rotors, etc.)	2	H-UAV, M-UAV project
		HWTE2	Avionics HW design & manufacturing technology	2	H-UAV, M-UAV project
		SWTE1	Flight control SW technology	2	H-UAV, M-UAV project
		SWTE2	Navigation SW technology	2	H-UAV, M-UAV project
		HWTE3	Platform sensor design & integration technology (GPS, IMU, altitude sensor, etc.)	2	H-UAV, M-UAV project
	Ground Control Equip.	HWTE8	Remote control HW technology for GCS	2	H-UAV, M-UAV project
		SWTE7	Mission planning SW technology	2	H-UAV, M-UAV project
		SWTE8	UAV diagnostics and monitoring SW technology	2	H-UAV, M-UAV project
Damage Assessment Sys.	Image Processing Equip.	SWTE12	3D IR image processing SW technology (DSM, point cloud, etc.)	3	M-project, A-R&D project
	Damage Assessment Equip.	SWTE15	Automatic damage calculation SW technology	4	A-R&D project
		SWTE16	Automatic MOS candidate recommendation SW technology	4	A-R&D project
Damage Recovery Management Sys.	Damage Recovery Management Equip.	HWTE11	High-performance CPU-based HW production technology	5	M-project
		SWTE17	Resource management SW technology	3	A-C4I project
		SWTE18	Decision Support SW technology	3	A-C4I project
		SWTE19	Real time communication & coordination SW technology	2	A-C4I project
		SWTE20	Situation monitoring SW technology (GIS integration)	2	A-C4I project

[그림 8] ADARMS HWTE와 SWTE의 기술 난이도 평가 결과

EO/IR 영상을 처리하여 자동으로 피해 규모를 계산하는 SWTE15, 비행장 활주로의 피해 규모를 고려하여 MOS를 자동으로 산출하는 SWTE16과 고성능 CPU 기반 HW를 제작하는 기술인 HWTE11이 난이도 4 이상으로 평가되었다.

나머지 HWTE와 SWTE는 H-UAV, M-UAV, A-C4I 사업 등을 통해 확보된 기술을 수정 또는 기존 기술을 활용하여 충분히 개발 가능한 기술이다.

주요 ROC 정량목표와 관련이 없는 IFTE 25건을 대상으로 기술 난이도 평가를 수행한 결과는 그림 9와 같다.

Interface Section (TBS level4)		IFTE		Difficulty level	Reference Project
		TE ID	TE Definition		
AP HW	AV HW	IFTE1	Control system design & integration technology	2	H-UAV, M-UAV project
AV HW	FC SW	IFTE2	FC data bus technology	2	H-UAV, M-UAV project
	NV SW	IFTE3	NV data bus technology	2	H-UAV, M-UAV project
	CM HW	IFTE4	AV-CM Standard interface technology	2	H-UAV, M-UAV project
FC SW	NV SW	IFTE5	FC-NV API technology	2	H-UAV, M-UAV project
	CM SW	IFTE6	FC-CM API technology	2	H-UAV, M-UAV project
NV SW	CM SW	IFTE7	NV-CM API technology	2	H-UAV, M-UAV project
PS HW	CM HW	IFTE8	PS-CM Standard interface technology	2	H-UAV, M-UAV project
DL HW	GC HW	IFTE18	DL-GC Standard interface technology	1	H-UAV, M-UAV project
DL SW	GC SW	IFTE20	DL-GC API technology	2	H-UAV, M-UAV project
GC HW	GC SW	IFTE22	GC firmware technology	2	H-UAV, M-UAV project
IP HW	3D_IP SW	IFTE26	Web based middleware technology	2	M-project, A-C4I project
	DA HW	IFTE27	Gigabit optical communication technology	1	M-project, A-C4I project
	DRM HW	IFTE28	Gigabit optical communication technology	1	M-project, A-C4I project
GW SW	2D_EO IP SW	IFTE29	Rest API technology	2	M-project
	2D_IR IP SW	IFTE30	Rest API technology	2	M-project
	3D_IP SW	IFTE31	Rest API technology	2	M-project
	DA SW	IFTE32	Rest API technology	2	M-project
	MS SW	IFTE33	Rest API technology	2	M-project
	DRM SW	IFTE34	Rest API technology	2	M-project
DA HW	DA SW	IFTE35	Web based middleware technology	2	M-project, A-C4I project
	MS SW	IFTE36	Web based middleware technology	2	M-project, A-C4I project
	DRM HW	IFTE37	Gigabit optical communication technology	1	M-project, A-C4I project
DA SW	MS SW	IFTE38	API & DBMS technology	2	M-project, A-C4I project
DRM HW	DRM SW	IFTE39	Web based middleware technology	2	M-project, A-C4I project

[그림 9] ADARMS IFTE의 기술 난이도 평가 결과

평가 대상 IFTE은 H-UAV, M-UAV, A-C4I 등을 통해 이미 확보되어 본 사업에 적용이 가능한 요소기술로 난이도 2 이하로 평가되었다.

3) CTE 후보(1차) 결정

주요 ROC 정량목표와 관련된 것과 기술 난이도 평가 결과 4 이상인 기술요소를 합한 총 32개의 CTE 후보를 그림 10과 같이 선정하였다.

TE		Key ROC related items	Difficulty level
TE ID	TE Definition		
HWTE4	Communication HW technology (Data Link, Bus, etc.)	●	N/A
HWTE5	EO camera design & integration technology	●	N/A
HWTE6	IR camera design & integration technology	●	N/A
HWTE7	Communication module design & manufacturing technology	●	N/A
HWTE9	High-performance GPU-based HW production technology	●	N/A
HWTE10	High-performance CPU-based HW production technology	●	N/A
HWTE11	High-performance CPU-based HW production technology	×	5
SWTE3	Communication SW technology	●	N/A
SWTE4	EO image processing SW technology	●	N/A
SWTE5	IR image processing SW technology	●	N/A
SWTE6	Data link SW technology	●	N/A
SWTE9	Gateway SW technology	●	N/A
SWTE10	2D EO image processing SW technology (2D EO mapping, etc.)	●	N/A
SWTE11	2D IR image processing SW technology (2D IR mapping, etc.)	●	N/A
SWTE13	AI-based damage detection SW technology	●	N/A
SWTE14	AI-based damage recognition SW technology	●	N/A
SWTE15	Automatic damage calculation SW technology	×	4
SWTE16	Automatic MOS candidate recommendation SW technology	×	4
IFTE9	Communication firmware technology	●	N/A
IFTE10	CM-EO Standard interface technology	●	N/A
IFTE11	CM-IR Standard interface technology	●	N/A
IFTE12	CM-DL Standard interface technology	●	N/A
IFTE13	CM-EO API technology	●	N/A
IFTE14	CM-IR API technology	●	N/A
IFTE15	CM-DL API technology	●	N/A
IFTE16	IR firmware technology	●	N/A
IFTE17	DL standard firmware technology	●	N/A
IFTE19	Standard data link construction technology	●	N/A
IFTE21	DL standard protocol technology	●	N/A
IFTE23	Web based middleware technology	●	N/A
IFTE24	Web based middleware technology	●	N/A
IFTE25	Web based middleware technology	●	N/A

[그림 10] ADARMS CTE 후보(1차) 선정 결과

선정된 CTE 후보에 식별자를 별도 부여하여 그림 11과 같이 CTE 후보를 정리하였다.

CTE Candidate ID	CTE Candidate (1 st)	TE ID
C-HWCTE1	Communication HW technology (Data Link, Bus, etc.)	HWTE4
C-HWCTE2	EO camera design & integration technology	HWTE5
C-HWCTE3	IR camera design & integration technology	HWTE6
C-HWCTE4	Communication module design & manufacturing technology	HWTE7
C-HWCTE5	High-performance GPU-based HW production technology	HWTE9
C-HWCTE6	High-performance CPU-based HW production technology	HWTE10
C-HWCTE7	High-performance CPU-based HW production technology	HWTE11
C-SWCTE1	Communication SW technology	SWTE3
C-SWCTE2	EO image processing SW technology	SWTE4
C-SWCTE3	IR image processing SW technology	SWTE5
C-SWCTE4	Data link SW technology	SWTE6
C-SWCTE5	Gateway SW technology	SWTE9
C-SWCTE6	2D EO image processing SW technology (2D EO mapping, etc.)	SWTE10
C-SWCTE7	2D IR image processing SW technology (2D IR mapping, etc.)	SWTE11
C-SWCTE8	AI-based damage detection SW technology	SWTE13
C-SWCTE9	AI-based damage recognition SW technology	SWTE14
C-SWCTE10	Automatic damage calculation SW technology	SWTE15
C-SWCTE11	Automatic MOS candidate recommendation SW technology	SWTE16
C-IFCTE1	Communication firmware technology	IFTE9
C-IFCTE2	CM-EO Standard interface technology	IFTE10
C-IFCTE3	CM-IR Standard interface technology	IFTE11
C-IFCTE4	CM-DL Standard interface technology	IFTE12
C-IFCTE5	CM-EO API technology	IFTE13
C-IFCTE6	CM-IR API technology	IFTE14
C-IFCTE7	CM-DL API technology	IFTE15
C-IFCTE8	IR firmware technology	IFTE16
C-IFCTE9	DL standard firmware technology	IFTE17
C-IFCTE10	Standard data link construction technology	IFTE19
C-IFCTE11	DL standard protocol technology	IFTE21
C-IFCTE12	Web based middleware technology	IFTE23
C-IFCTE13	Web based middleware technology	IFTE24
C-IFCTE14	Web based middleware technology	IFTE25

[그림 11] ADARMS CTE 후보 식별자 부여

(다) COTS 기술 적용 여부 결정

CTE 후보(1차)를 대상으로 COTS 기술 적용 여부를 그림 12와 같이 결정하였다.

CTE Candidate ID	CTE Candidate (1 st)	Application of COTS
C-HWCTE1	Communication HW technology (Data Link, Bus, etc.)	●
C-HWCTE2	EO camera design & integration technology	●
C-HWCTE3	IR camera design & integration technology	●
C-HWCTE4	Communication module design & manufacturing technology	●
C-HWCTE5	High-performance GPU-based HW production technology	●
C-HWCTE6	High-performance CPU-based HW production technology	●
C-HWCTE7	High-performance CPU-based HW production technology	●
C-SWCTE1	Communication SW technology	●
C-SWCTE2	EO image processing SW technology	●
C-SWCTE3	IR image processing SW technology	●
C-SWCTE4	Data link SW technology	●
C-SWCTE5	Gateway SW technology	●
C-SWCTE6	2D EO image processing SW technology (2D EO mapping, etc.)	×
C-SWCTE7	2D IR image processing SW technology (2D IR mapping, etc.)	×
C-SWCTE8	AI-based damage detection SW technology	×
C-SWCTE9	AI-based damage recognition SW technology	×
C-SWCTE10	Automatic damage calculation SW technology	×
C-SWCTE11	Automatic MOS candidate recommendation SW technology	×
C-IFCTE1	Communication firmware technology	●
C-IFCTE2	CM-EO Standard interface technology	●
C-IFCTE3	CM-IR Standard interface technology	●
C-IFCTE4	CM-DL Standard interface technology	●
C-IFCTE5	CM-EO API technology	●
C-IFCTE6	CM-IR API technology	●
C-IFCTE7	CM-DL API technology	●
C-IFCTE8	IR firmware technology	●
C-IFCTE9	DL standard firmware technology	●
C-IFCTE10	Standard data link construction technology	●
C-IFCTE11	DL standard protocol technology	●
C-IFCTE12	Web based middleware technology	●
C-IFCTE13	Web based middleware technology	●
C-IFCTE14	Web based middleware technology	●

[그림 12] ADARMS COTS 기술 적용 여부

COTS 기술 적용이 가능한 기술요소는 ADARMS 체계 요구사항을 만족하는 상용제품을 활용하여 구현한다는 의미이다. 해당 상용기술은 판매되어 실 체계에 운영되고 있는 증빙자료를 확인하여 결정한다.

(라) CTE 최종 선정

CTE 후보(1)를 대상으로 COTS 기술로 확보 가능한 기술을 제외한 6개의 기술요소를 ADARMS의 CTE로 최종 선정하였다. 최종 선정된 CTE는 그림 13과 같다.

CTE ID	CTE Name	CTE Candidate ID
SWCTE1	2D EO image processing SW technology (2D EO mapping, etc.)	C-SWCTE6
SWCTE2	2D IR image processing SW technology (2D IR mapping, etc.)	C-SWCTE7
SWCTE3	AI-based damage detection SW technology	C-SWCTE8
SWCTE4	AI-based damage recognition SW technology	C-SWCTE9
SWCTE5	Automatic damage calculation SW technology	C-SWCTE10
SWCTE6	Automatic MOS candidate recommendation SW technology	C-SWCTE11

[그림 13] ADARMS CTE 최종 선정 결과

(4) TRA 수행

6개의 최종 CTE를 대상으로 TRA를 수행한 결과, 기술성숙도는 6으로 판정되었다. A-R&D 사업과 M-사업의 증빙자료 확인을 통해 성숙도를 평가하였다. ADARMS의 시스템 성숙도는 6이다.

CTE ID	CTE Name	Results of TRA	
		TRL	Reference Project
SWCTE1	2D EO image processing SW technology (2D EO mapping, etc.)	6	A-R&D project
SWCTE2	2D IR image processing SW technology (2D IR mapping, etc.)	6	A-R&D project
SWCTE3	AI-based damage detection SW technology	6	M-project, A-R&D project
SWCTE4	AI-based damage recognition SW technology	6	M-project, A-R&D project
SWCTE5	Automatic damage calculation SW technology	6	A-R&D project
SWCTE6	Automatic MOS candidate recommendation SW technology	6	A-R&D project

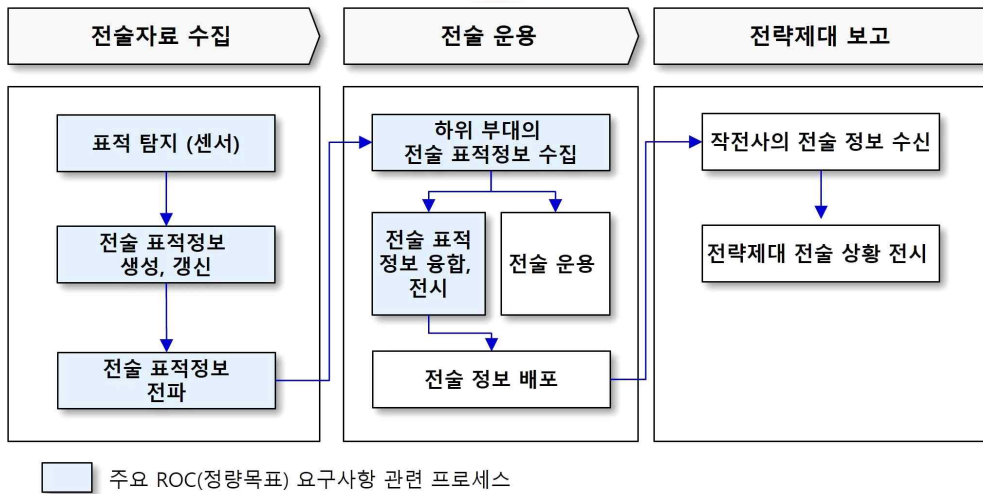
[그림 14] ADARMS TRA 결과

2.2. NTDS

(1) 체계 개요

NTDS(Naval Tactical Data System)는 해군의 함정, 전탐감시대 등에 설치된 센서들을 운용하여 전술 표적정보를 근 실시간으로 수집, 통합하여 해상 전술 상황을 종합적으로 전파, 공유하고 전시하는 체계이다.

본 체계는 한반도의 전술 상황을 근 실시간으로 공유하여 지휘관의 신속한 의사결정 및 지휘통제를 지원한다. 체계 운용개념은 그림 15와 같다.



[그림 15] NTDS 체계 개념

함정, 전탐감시대 등에 설치된 센서(레이더 등)가 해상 표적을 탐지하면 NTDS 연동기는 표적 데이터를 수신하여 전술 표적을 갱신하고 상급 부대에 전파한다.

각 함대사령부는 소속 하위부대(함정, 전탐감시대 등)의 전술

표적정보를 종합하여 기술적 운용에 활용하고 종합된 표적정보를 작전사령부에 전파한다.

작전사령부는 각 함대사령부의 기술정보를 수신하고 전략 제대의 합동지휘통제체계 등에 정보를 공유한다.

주요 ROC 정량목표는 2초 이내(가정)로 해군 함정, 전탐감시대에서 운용하는 레이더가 표적을 탐지한 시점부터 데이터링크를 통해 표적 데이터를 빠르게 전파하여 작전사령부의 기술처리기에 전시하는 데까지 걸리는 시간이다.

(2) TBS(Technical Work Breakdown Structure) 작성

NTDS의 TBS는 그림 16과 같다.

NTDS는 Tactical Data Processing System, Tactical Operation System 및 Tactical Situational Display System으로 구성되며 총 5가지 Equipment로 구조화된다.

Level1	Level2	Level3	Level4	Key ROC Allocation
NTDS	Tactical Data Processing Sys.	DLP ¹⁾ Equip.	DLP HW	●
			DLP SW	●
	Tactical Operation Sys.	TDP ²⁾ Equip.	TDP HW	●
			TDP SW	●
		RDBP ³⁾ Equip.	RDBP HW	●
			RDBP SW	●
		TCC ⁴⁾ Equip.	TCC HW	
			TCC SW	
	Tactical Situational Display Sys.	TSD ⁵⁾ Equip.	TSD HW	●
			TSD SW	●

1) DLP : Data Link Processing

2) TDP : Tactical Data Processing

3) RDBP : RDB Processing

4) TCC : Tactical Coordination Console

5) TSD : Tactical Situational Display

[그림 16] NTDS의 TBS

DLP Equipment는 해군 함정, 전담감시대 등에서 운용하는 센서와 연동, 데이터링크 프로토콜 알고리즘을 활용하여 표준화된 데이터링크 처리를 수행하고 TDP Equipment에 표적정보를 전파한다.

TDP Equipment는 센서 데이터를 실시간 처리하고 표적 데이터를 종합, 전시하여 작전 지역의 전술 표적들의 현황을 파악할 수 있도록 한다. 또한 위험평가 보조 기능, 무장 통제 기능이 탑재되어 지휘관의 작전을 지원한다.

RDBP Equipment에는 DBMS가 탑재되어 전술표적기 운영과 관련된 데이터를 체계적으로 관리한다.

TCC는 전술운용콘솔로 TDP에서 처리된 데이터를 디스플레이에 전시하는 역할을 수행한다.

(3) CTE 선정

(가) TE 식별

1) HWTE와 SWTE 식별

NTDS의 TBS를 기준으로 HWTE와 SWTE를 그림 17과 같이 식별하였다. TBS 레벨4에 해당하는 HW와 SW 구성항목을 개발하기 위해 필요한 기술요소를 식별하였다.

HWTE는 Tactical Data Processing System 1개, Tactical Operation System 3개, Tactical Situation Display System 2개가 식별되었다.

SWTE는 Tactical Data Processing System 2개, Tactical Operation System 6개, Tactical Situation Display System 1개가 식별되었다.

TBS		HWTE/SWTE	
Level2	Level3	TE ID	TE Definition
Tactical Data Processing Sys.	DLP Equip.	HWTE1	Embedded HW design & development technology
		SWTE1	Standard RT data link processing SW technology (Link-11, 14, etc.)
		SWTE2	Standard external interface SW technology (Sensor to NTDS, NTDS to external sys.)
Tactical Operation Sys.	TDP Equip.	HWTE2	High-performance CPU-based HW production technology
		SWTE3	Tactical track collection SW technology using standard data link protocol
		SWTE4	Tactical track data display SW technology
		SWTE5	Risk assessment support SW technology
		SWTE6	Weapon control SW technology
	RDBP Equip.	HWTE3	High-performance CPU-based HW production technology
		SWTE7	Real time DBMS technology
	TCC Equip.	HWTE4	Embedded HW design & development technology
SWTE8		Display firmware technology	
Tactical Situational Display Sys.	TSD Equip.	HWTE5	High-performance CPU-based HW production technology
		SWTE9	GIS based tactical situation display SW technology

[그림 17] NTDS HWTE 및 SWTE 정의서

2) IFTE 식별

NTDS 운용개념에 따라 HW, SW 구성요소 간 인터페이스 관계를 그림 18과 같이 총 13개를 식별하였다.

TBS		DLP Equip.		TDP Equip.		RDBP Equip.		TCC Equip.		TSD Equip.	
Level3	Level4	DLP HW	DLP SW	TDP HW	TDP SW	RDBP HW	RDBP SW	TCC HW	TCC SW	TSD HW	TSD SW
DLP Equip.	DLP HW		IFTE1	IFTE2							
	DLP SW	IFTE1			IFTE3						
TDP Equip.	TDP HW	IFTE2				IFTE4		IFTE5		IFTE6	
	TDP SW		IFTE3	IFTE7			IFTE8		IFTE9		IFTE10
RDBP Equip.	RDBP HW			IFTE4			IFTE11				
	RDBP SW				IFTE8	IFTE11					
TCC Equip.	TCC HW			IFTE5					IFTE12		
	TCC SW				IFTE9			IFTE12			
TSD Equip.	TSD HW			IFTE6							IFTE13
	TSD SW				IFTE10					IFTE13	

[그림 18] NTDS 인터페이스 매트릭스

NTDS 운용개념에 따라 데이터의 흐름을 조사하고 시스템 구성품의 HW와 SW 구성항목 간 인터페이스 관계를 식별한 것이다.

식별된 IFTE에 대한 정의서를 그림 19와 같이 작성하였다. HW와 SW 구성항목 간 인터페이스를 위해 소요되는 기술을 식별하고 정의한 것이다.

Interface Section (TBS level4)		IFTE	
		TE ID	TE Definition
DLP HW	DLP SW	IFTE1	Standard bus interface technology
	TDP HW	IFTE2	Standard data link construction technology
DLP SW	TDP SW	IFTE3	Standard data link API
TDP HW	RDBP HW	IFTE4	Optical communication technology
	TCC HW	IFTE5	Optical communication technology
	TSD HW	IFTE6	Optical communication technology
TDP SW	TDP HW	IFTE7	Middleware technology
	RDBP SW	IFTE8	Middleware technology
	TCC SW	IFTE9	TDP-TCC API technology
	TSD SW	IFTE10	TDP-TSD API technology
RDBP SW	RDBP HW	IFTE11	Real time DBMS technology
TCC HW	TCC SW	IFTE12	TCC Driver technology
TSD HW	TSD SW	IFTE13	GIS based integration technology

[그림 19] NTDS IFTE 정의서

(나) CTE 후보(1차) 선정

1) 주요 ROC 정량목표 관련 TE 식별

주요 ROC 정량목표와 관련된 HWTE와 SWTE를 그림 20과 같이 식별하였다.

주요 ROC 정량목표와 관련된 핵심 프로세스는 다음과 같다. 함정과 전담감시대 등에서 운용하는 센서가 표적을 탐지하면 DLP는 센서와 인터페이스 통해 표적정보 수집하고 가공하여 TDP에 전송한다. TDP는 RDBP의 정보를 활용하여 데이터를 융합하고 융합 데이터는 TSD에

전달하여 상황도에 전시된다.

NTDS TBS를 기준으로 위 핵심 프로세스의 처리에 관여하는 HW와 SW 구성항목을 식별하였다. 그리고, 각 구성항목을 개발하는데 소요되는 기술요소를 매핑하여 주요 ROC 정량목표와 관련된 것으로 정의하였다.

TBS		HWTE/SWTE		Key ROC related items
Level2	Level3	TE ID	TE Definition	
Tactical Data Processing Sys.	DLP Equip.	HWTE1	Embedded HW design & development technology	●
		SWTE1	Standard RT data link processing SW technology (Link-11, 14, etc.)	●
		SWTE2	Standard external interface SW technology (Sensor to NTDS, NTDS to external sys.)	●
Tactical Operation Sys.	TDP Equip.	HWTE2	High-performance CPU-based HW production technology	●
		SWTE3	Tactical track collection SW technology using standard data link protocol	●
		SWTE4	Tactical track data display SW technology	●
		SWTE5	Risk assessment support SW technology	x
	RDBP Equip.	HWTE3	High-performance CPU-based HW production technology	●
		SWTE7	Real time DBMS technology	●
	TCC Equip.	HWTE4	Embedded HW design & development technology	x
		SWTE8	Display firmware technology	x
Tactical Situational Display Sys.	TSD Equip.	HWTE5	High-performance CPU-based HW production technology	●
		SWTE9	GIS based tactical situation display SW technology	●

[그림 20] 주요 ROC 정량목표와 관련된 NTDS HWTE와 SWTE

이와 함께, 체계 운용개념에 따른 인터페이스 매트릭스를 활용하여 주요 ROC 정량목표와 관련된 프로세스를 추적하고 해당 연동 관계를 식별하여 주요 ROC 정량목표와 관련된 IFTE를 식별하였다. 그 결과는 그림 21과 같다.

레이더와 같은 센서와 연동하여 데이터를 DLP에서 수집하는 것, DLP에서 데이터링크를 통해 TDP로 전송하는 것, RDBP 정보와 융합하여 TSD에 전시하는 것과 관련된 인터페이스가 이에 해당한다.

Interface Section (TBS level4)		IFTE		Key ROC related items
		TE ID	TE Definition	
DLP HW	DLP SW	IFTE1	Standard bus interface technology	●
	TDP HW	IFTE2	Standard data link construction technology	●
DLP SW	TDP SW	IFTE3	Standard data link API	●
TDP HW	RDBP HW	IFTE4	Optical communication technology	●
	TCC HW	IFTE5	Optical communication technology	×
	TSD HW	IFTE6	Optical communication technology	●
TDP SW	TDP HW	IFTE7	Middleware technology	●
	RDBP SW	IFTE8	Middleware technology	●
	TCC SW	IFTE9	TDP-TCC API technology	×
	TSD SW	IFTE10	TDP-TSD API technology	●
RDBP SW	RDBP HW	IFTE11	Real time DBMS technology	●
TCC HW	TCC SW	IFTE12	TCC Driver technology	×
TSD HW	TSD SW	IFTE13	GIS based integration technology	●

[그림 21] 주요 ROC 정량목표와 관련된 NTDS IFTE

2) 기술 난이도 평가

주요 ROC와 관련되지 않은 HWTE와 SWTE 총 4건을 대상으로 그림 22와 같이 기술 난이도를 평가하였다.

TBS		HWTE/SWTE		Difficulty level	Reference Project
Level2	Level3	TE ID	TE Definition		
Tactical Operation Sys.	TDP Equip.	SWTE5	Risk assessment support SW technology	3	N-C4I project
		SWTE6	Weapon control SW technology	3	N-C4I project
	TCC Equip.	HWTE4	Embedded HW design & development technology	2	Ship combat sys. project
		SWTE8	Display firmware technology	2	Ship combat sys. project

[그림 22] NTDS HWTE와 SWTE의 기술 난이도 평가 결과

식별된 HWTE와 SWTE는 N-C4I 사업, 함정전투체계 사업을 통해 확보된 기술로 난이도 3 이하로 평가되었다.

또한, 주요 ROC 정량목표와 관련이 없는 IFTE 3건을 대상으로 기술 난이도를 평가한 결과는 그림 23과 같다.

Interface Section (TBS level4)		IFTE		Difficulty level	Reference Project
		TE ID	TE Definition		
TDP HW	TCC HW	IFTE5	Optical communication technology	2	N-C4I project
TDP SW	TCC SW	IFTE9	TDP-TCC API technology	3	N-C4I project, ship combat sys. project
TCC HW	TCC SW	IFTE12	TCC Driver technology	2	N-C4I project, ship combat sys. project

[그림 23] NTDS IFTE의 기술 난이도 평가 결과

평가 대상 IFTE는 N-C4I 사업, 함정전투체계 사업을 통해 이미 확보된 기술로 난이도 3 이하로 평가되었다.

3) CTE 후보(1차) 결정

주요 ROC 정량목표와 관련된 기술요소와 기술 난이도 평가 결과 4 이상 인 기술요소를 합하여 CTE 후보를 그림 24와 같이 선정하였다.

TE ID	TE	Key ROC related items	Difficulty level
	TE Definition		
HWTE1	Embedded HW design & development technology	●	N/A
HWTE2	High-performance CPU-based HW production technology	●	N/A
HWTE3	High-performance CPU-based HW production technology	●	N/A
HWTE5	High-performance CPU-based HW production technology	●	N/A
SWTE1	Standard RT data link processing SW technology (Link-11, 14, etc.)	●	N/A
SWTE2	Standard external interface SW technology (Sensor to NTDS, NTDS to external sys.)	●	N/A
SWTE3	Tactical track collection SW technology using standard data link protocol	●	N/A
SWTE4	Tactical track data display SW technology	●	N/A
SWTE7	Real time DBMS technology	●	N/A
SWTE9	GIS based tactical situation display SW technology	●	N/A
IFTE1	Standard bus interface technology	●	N/A
IFTE2	Standard data link construction technology	●	N/A
IFTE3	Standard data link API	●	N/A
IFTE4	Optical communication technology	●	N/A
IFTE6	Optical communication technology	●	N/A
IFTE7	Middleware technology	●	N/A
IFTE8	Middleware technology	●	N/A
IFTE10	TDP-TSD API technology	●	N/A
IFTE11	Real time DBMS technology	●	N/A
IFTE13	GIS based integration technology	●	N/A

[그림 24] NTDS CTE 후보(1차) 선정 결과

NTDS 사업의 경우 기술 난이도 평가 결과, 4 이상인 기술은 없었다.

선정된 CTE 후보에 식별자를 별도 부여하여 그림 25와 같이 정리하였다.

CTE Candidate ID	CTE Candidate (1 st)	TE ID
C-HWTE1	Embedded HW design & development technology	HWTE1
C-HWTE2	High-performance CPU-based HW production technology	HWTE2
C-HWTE3	High-performance CPU-based HW production technology	HWTE3
C-HWTE4	High-performance CPU-based HW production technology	HWTE5
C-SWTE1	Standard RT data link processing SW technology (Link-11, 14, etc.)	SWTE1
C-SWTE2	Standard external interface SW technology (Sensor to NTDS, NTDS to external sys.)	SWTE2
C-SWTE3	Tactical track collection SW technology using standard data link protocol	SWTE3
C-SWTE4	Tactical track data display SW technology	SWTE4
C-SWTE5	Real time DBMS technology	SWTE7
C-SWTE6	GIS based tactical situation display SW technology	SWTE9
C-IFTE1	Standard bus interface technology	IFTE1
C-IFTE2	Standard data link construction technology	IFTE2
C-IFTE3	Standard data link API	IFTE3
C-IFTE4	Optical communication technology	IFTE4
C-IFTE5	Optical communication technology	IFTE6
C-IFTE6	Middleware technology	IFTE7
C-IFTE7	Middleware technology	IFTE8
C-IFTE8	TDP-TSD API technology	IFTE10
C-IFTE9	Real time DBMS technology	IFTE11
C-IFTE10	GIS based integration technology	IFTE13

[그림 25] NTDS CTE 후보 식별자 부여 결과

(다) COTS 기술 적용 여부 결정

CTE 후보(1차) 20개의 기술요소를 대상으로 COTS 기술 적용 여부를 그림 26과 같이 결정하였다.

COTS 기술 적용이 가능한 기술요소는 NTDS 체계 요구사항을 만족하는 상용제품을 활용하여 구현한다는 의미이다. 해당 상용기술은 판매되어 실 체계에 운영되고 있는 증빙자료를 확인하여 결정한다.

CTE Candidate ID	CTE Candidate (1 st)	Application of COTS
C-HWTE1	Embedded HW design & development technology	●
C-HWTE2	High-performance CPU-based HW production technology	●
C-HWTE3	High-performance CPU-based HW production technology	●
C-HWTE4	High-performance CPU-based HW production technology	●
C-SWTE1	Standard RT data link processing SW technology (Link-11, 14, etc.)	×
C-SWTE2	Standard external interface SW technology (Sensor to NTDS, NTDS to external sys.)	×
C-SWTE3	Tactical track collection SW technology using standard data link protocol	×
C-SWTE4	Tactical track data display SW technology	×
C-SWTE5	Real time DBMS technology	●
C-SWTE6	GIS based tactical situation display SW technology	×
C-IFTE1	Standard bus interface technology	●
C-IFTE2	Standard data link construction technology	●
C-IFTE3	Standard data link API	×
C-IFTE4	Optical communication technology	●
C-IFTE5	Optical communication technology	●
C-IFTE6	Middleware technology	●
C-IFTE7	Middleware technology	●
C-IFTE8	TDP-TSD API technology	×
C-IFTE9	Real time DBMS technology	●
C-IFTE10	GIS based integration technology	×

[그림 26] NTDS COTS 기술 적용 여부

(라) CTE 최종 선정

CTE 후보(1차)를 대상으로 COTS 기술을 통해 확보 가능한 것을 제외하고 총 8개의 기술요소가 NTDS의 CTE로 최종 선정되었다.

CTE ID	CTE Name	CTE Candidate ID
SWCTE1	Standard RT data link processing SW technology (Link-11, 14, etc.)	C-SWTE1
SWCTE2	Standard external interface SW technology (Sensor to NTDS, NTDS to external sys.)	C-SWTE2
SWCTE3	Tactical track collection SW technology using standard data link protocol	C-SWTE3
SWCTE4	Tactical track data display SW technology	C-SWTE4
SWCTE5	GIS based tactical situation display SW technology	C-SWTE6
IFCTE1	Standard data link API	C-IFTE3
IFCTE2	TDP-TSD API technology	C-IFTE8
IFCTE3	GIS based integration technology	C-IFTE10

[그림 27] NTDS CTE 최종 선정 결과

(4) TRA 수행

5개의 SWCTE와 3개의 IFTE를 대상으로 TRA를 수행한 결과, 기술성숙도는 모두 6 이상으로 판정되었다.

N-C4I 사업, MCRC 사업, 함정전투체계사업 및 합동 C4I 사업의 증빙자료 확인을 통해 성숙도를 평가하였다. NTDS의 시스템 성숙도는 6이다.

CTE ID	CTE Name	Results of TRA	
		TRL	Reference Project
SWCTE1	Standard RT data link processing SW technology (Link-11, 14, etc.)	7	N-C4I project, MCRC project
SWCTE2	Standard external interface SW technology (Sensor to NTDS, NTDS to external sys.)	7	N-C4I project, ship combat sys. project
SWCTE3	Tactical track collection SW technology using standard data link protocol	6	N-C4I project, MCRC project
SWCTE4	Tactical track data display SW technology	7	N-C4I project, ship combat sys. project
SWCTE5	GIS based tactical situation display SW technology	7	N-C4I project, ship combat sys. project
IFCTE1	Standard data link API	7	N-C4I project, MCRC project
IFCTE2	TDP-TSD API technology	7	N-C4I project, ship combat sys. Project
IFCTE3	GIS based integration technology	8	N-C4I project, J-C4I project

[그림 28] NTDS TRA 결과