

## 시스템엔지니어링 전산관리도구를 활용한 우주발사체 기술완성도(TRL) 관리

장준혁\* 권병찬 임창영 조동현 유일상  
한국항공우주연구원

### **A Technology Readiness Level (TRL) Management using the Systems Engineering Tool for the Space Launch Vehicle**

Jun Youk Jang\*, Byung Chan Kwon, Chang Young Lim, Dong Hyun Cho, Il Sang Yoo  
*Korea Aerospace Research Institute*

**Abstract** : The KSLV-II project with high difficulties technically requires thorough technical management during long-term life cycle more than 10 years for launching into space. The TRL is a quantitative indicator developed by NASA widely used all over the world to measure technology maturity of a system development objectively and consistently. The TRL is also used to make sure technology level and to establish a future direction in the KSLV-II project. The TRL has advantage enable to identify a technology level through quantitative indicators. However, it takes a lot of efforts such as trials and errors, time and cost to apply it to the project considering the project environments, and stakeholder needs. These include not only to establish TRL management plan from ideal, conceptual and abstractive standards/guidelines such as NASA's, but also to construct TRL management environment enable to apply and manage harmoniously. In the KSLV-II project, it is required to figure out current technology level and technology development trend in the future, to access conveniently, to share related data in real time, and to update periodically for the comprehensive TRL management. From the reason above, the TRL management environment was built by using the systems

**Received:** March 18, 2020 / **Revised:** May 26, 2020 / **Accepted:** June 8, 2020

\* 교신저자 : Jun Youk Jang, [junyouk@kari.re.kr](mailto:junyouk@kari.re.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

engineering tool already has been used for other system management data such as requirements in the project. It also could be accomplished a practical management basis of systems engineering from the traceability among system management data including TRL. In this paper, case study results are introduced to manage the TRL for the space launch vehicle using the systems engineering tool in the KSLV-II project.

**Key Words** : Space Launch Vehicle, CTE, TRL, TRA, Systems Engineering Tool

## 1. 서 론

우주발사체 개발을 성공하기 위해서는 발사 시퀀스 처음부터 위성을 목표 궤도에 안착시키는 마지막 절차까지 발사체 및 주변 통제/지원 시스템의 오류나 고장이 발생하지 않도록 치밀한 준비가 필요하다. 즉, 이를 위해서 높은 수준의 기술력 및 장기간/고비용이 소요되며, 논리적이며 체계화된 접근이 요구된다[1],[2].

기술완성도평가(Technology Readiness Assessment, 이하 TRA)는 시스템 개발에 적용되는 핵심기술요소(Critical Technology Element, 이하 CTE)가 현재 시점에서 어느 정도로 성숙되어 있는지를 정량적인 지표인 기술완성도(Technology Readiness Level, 이하 TRL)로 평가하는 공식적인 프로세스를 의미한다. TRL은 미 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, 이하 NASA)에서 우주산업의 기술투자에 대한 위험관리와 의사결정 지원을 목적으로 기술의 성숙도를 객관적이고 일관성 있게 측정하는 정량화된 지표로 개발되었으며 이후 미 국방부(Department of Defence) 뿐만 아니라 세계 여러 나라와 기관에서 적용하고 있다. 한국형발사체개발사업은 기술적 난이도가 높은 10년 이상의 장기간 프로젝트로, 발사 성공을 위해서 철저한 기술 관리가 요구되며, 본 사업에서 시스템 개발 시 기술 수준 파악 및 향후 추진 방향성을 설정하기 위해 TRL을 적용하고 있다[3].

TRL 관리를 통해 정량적인 지표로 기술 수준을 파악할 수 있는 장점이 있으나 이를 위해서는 프로젝트 및 주변 환경, 수행 당사자의 현실에 맞춰 실

제 적용하기 위한 시행착오, 일정/비용, 노력이 요구된다. 이것은 NASA에서 권고하는 TRL 가이드라인 등 이상적이고 개념적이며 추상적인 관련 표준/지침을 적합화(Tailoring)하여 해당 프로젝트에 맞는 관리 기준을 수립하는 것 뿐 만 아니라, 이것을 적용하기 위해 관리 환경을 구축하는 것에도 해당된다.

본 논문에서는 한국형발사체개발사업의 TRL 관리를 효과적으로 수행하기 위해서 본 사업에서 운영하고 있는 시스템엔지니어링 전산관리도구를 활용하여 TRL 관리 환경을 구축한 사례를 제시한다.

참고로 본 논문은 우주발사체 개발 분야에서 일반적으로 통용되는 용어를 사용하였으므로 시스템엔지니어링 표준 용어 등과 표현의 차이가 일부 있을 수 있으며, 이로 인한 이해의 상이 및 혼란을 피하기 위해서 가능한 경우에 한해 용어에 상응하는 영문을 최초 1회 병기하였다.

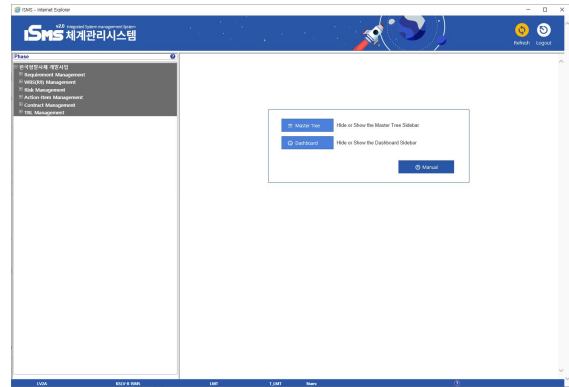
## 2. 본 론

### 2.1 우주발사체 TRL 수준 정의 및 TRA 프로세스

NASA에서는 우주 시스템 개발 주기 상에서 현재의 기술성숙도를 파악하기 위하여 TRL을 사용한다. 이를 바탕으로 개발 중인 비행 시스템에 해당 기술이 적용 가능한지 점검/확인할 수 있으며, 이는 성공적인 비행 시스템 구현에 매우 중요하게 작용한다. 한국형발사체개발사업에서는 NASA 기준을 적합화하여 표 1과 같은 TRL 수준을 정의하고 개발에 적용하고 있다. 이에 대한 TRA 프로세스를 간략히 나타내면 그림 1과 같다[3].

<Table 1> KSLV-II TRL Definition Summary

TRL		Definition Summary
기초 단계	1	기초 이론 정립 단계
	2	기술 개발 개념 정립 단계
실험 단계	3	모의 실험 또는 전산해석 수행 단계
	4	핵심 성능 평가 및 최적화 단계
시제작 단계	5	시제품 제작 및 성능 평가 단계
	6	시스템 통합 시험 수행 단계
제품화 단계	7	운용 환경에서의 시스템 통합 시험 수행 단계
	8	발사체 인증 및 발사 성공으로 프로젝트 종료 단계
상용화 단계	9	프로젝트 종료 후 발사체 상용화 단계



[Figure 3] KSLV-II Integrated System Management System (ISMS)



[Figure 1] KSLV-II TRA Process

본 사업에서는 TRA를 위해 통상 사업본부 내부적으로 자체 분석을 연 2회, 외부 전담평가단 검토를 연 2회 실시하며, 이를 통해 평가된 TRL 수준을 연말에 최종 확정한다. 평가 시 각 CTE에 대한 설명 및 목표 성능, 해당 TRL 체크리스트에 해당하는 기술 현황 및 달성 여부를 파악할 수 있도록 그림 2와 같은 평가서 양식을 활용한다. 전년도 대비 TRL의 변경이 없는 CTE에 대해서도 평가서를 업데이트하여 기술 현황을 모니터링 한다.

제품명/기술명	분류코드		YYYY TRL	L2-CTE-XX
	대분류	중분류		
설명 및 특징				
기술 현황				
목표 성능				
TRL Z Checklist	공통 1	질문	답변 [근거문서] 근거문서 목록	
	공통 2	질문	답변 [근거문서] 근거문서 목록	
	공통 3	질문	답변 [근거문서] 근거문서 목록	
	공통 4	질문	답변 [근거문서] 근거문서 목록	
	공통 5	질문	답변 [근거문서] 근거문서 목록	
	공통 6	질문	답변 [근거문서] 근거문서 목록	
	...	...	...	
	...	...	...	
	...	...	...	
	...	...	...	

[Figure 2] TRL Documentation Form

## 2.2 시스템엔지니어링 전산관리도구를 활용한 우주 발사체 TRL 관리

한국형발사체개발사업에서는 WBS, 요구조건(Requirement) 등 개발 과정에서 산출되는 복잡하고 방대한 데이터를 효과적으로 관리하고 효율적인 시스템엔지니어링을 수행하기 위해서 3SL사의 Cradle을 시스템엔지니어링 관리도구로 활용하고 있으며, 접근성 향상 및 활용도 제고를 위해 그림 3과 같이 웹 브라우저를 통해 Cradle DB에 접근할 수 있는 업무 환경(ISMS)을 구축 및 지속 개선 중에 있다[4].

전산관리도구를 활용하여 데이터를 관리하기 위해서는 관련 데이터 파라미터 및 상호 연관관계를 일련의 흐름에 따라 관리/통제할 수 있는 구조, 즉 스키마(Schema)를 필요로 한다[1].

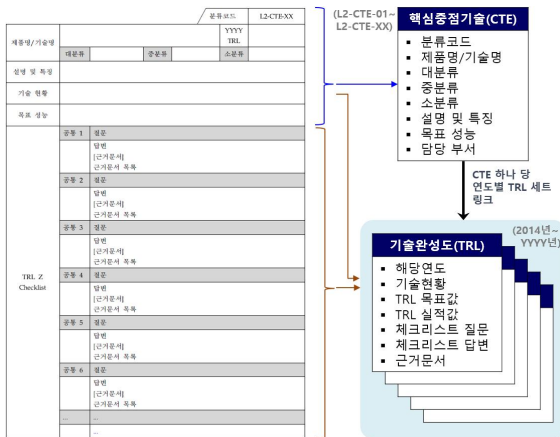
TRL 관리 스키마를 수립하기 위해서는 복수의 속성 데이터 집합체인 아이템을 우선 정의하여야 한

CTE	2014	2015	2016	YYYY
L2-CTE-01	L2-CTE-01-TRL-2014	L2-CTE-01-TRL-2015	L2-CTE-01-TRL-2016	L2-CTE-01-TRL-YYYY
L2-CTE-02	L2-CTE-02-TRL-2014	L2-CTE-02-TRL-2015	L2-CTE-02-TRL-2016	L2-CTE-02-TRL-YYYY
L2-CTE-03	L2-CTE-03-TRL-2014	L2-CTE-03-TRL-2015	L2-CTE-03-TRL-2016	L2-CTE-03-TRL-YYYY
...				
L2-CTE-XX	L2-CTE-XX-TRL-2014	L2-CTE-XX-TRL-2015	L2-CTE-XX-TRL-2016	L2-CTE-XX-TRL-YYYY

핵심중점기술 (CTE) 목록

핵심중점기술(CTE)에 대한 연도별 기술완성도(TRL) 평가서

[Figure 4] Data Structure for TRL Management



[Figure 5] Data Relationship for TRL Management

다. 본 사업에서 TRL 분석/검토 및 수준 달성 여부는 그림 2의 TRL 평가서를 기준으로 한다. TRL은 CTE에 따라 그 수준 및 기술 근거가 상이하므로, 개발이 진행됨에 따라 발전하는 기술 수준을 반영하므로 그림 4와 같이 CTE, 연도 별 각각에 대해서 독립된 TRL 평가서가 도출된다. 따라서 아이템 생성 및 연결 관계를 여기에 맞춰 구성하여야 관리가 용이하다. 아이템의 종류는 TRL 평가서를 구성하는 항목을 분해함으로써 쉽게 식별할 수 있다. TRL 평가서 항목 분해를 통해 평가 대상에 관한 데이터, 평가 대상을 분석한 결과에 관한 데이터 2가지로

<Table 2> Data List for TRL Management

항목명	아이템명(대문자)
	속성명
핵심중점 기술 (CTE)	L2-CTE-XX (XX : 일련번호)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Code</li> <li>Title</li> <li>Class1</li> <li>Class2</li> <li>Class3</li> <li>Description</li> <li>Target Performance</li> <li>Owner</li> </ul>
기술 완성도 (TRL)	L2-CTE-XX-YYYY (XX : 일련번호 / YYYY : 연도)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Year</li> <li>Technology Status</li> <li>Target Level</li> <li>Record Level</li> <li>Checklist Q1, Q2, ...</li> <li>Checklist A1, A2, ...</li> <li>Basis Document</li> <li>Reviewer Comment</li> </ul>

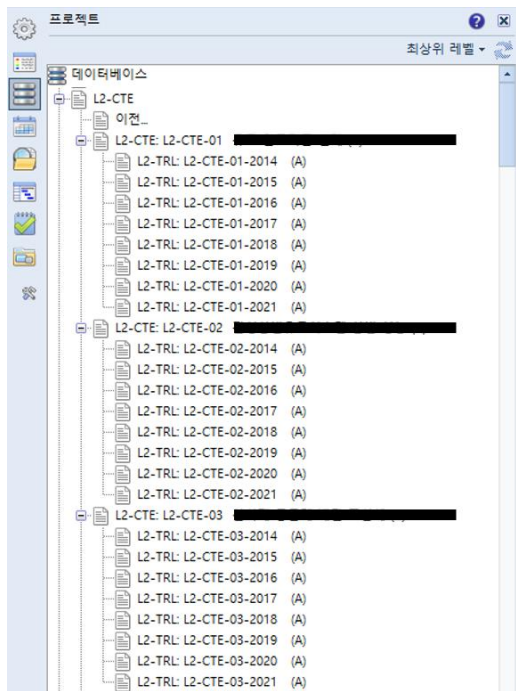
구분하였다. 편의상 전자를 CTE 아이템, 후자를 TRL 아이템으로 명명한다. CTE 아이템을 구성하는 하부 데이터는 프로젝트 기간 동안 그 값의 변동이 없는 반면 TRL 아이템을 구성하는 하부 데이터는 CTE를 분석한 기술 수준이 개발이 진행됨에 따라 업데이트되어 그 값이 변하므로 CTE 아이템 1개에 연도 별 TRL 아이템 여러 개가 연결되는 연관 관계가 있다. 상기의 아이템 및 속성 데이터와의 관계를 도식화하면 그림 5와 같다.

CTE 및 TRL 아이템을 구성하는 하부 속성 데이터의 상세 내역 및 Cradle에서 통용되는 명칭 (Name)은 표 2와 같이 정의하였다. 또한, 각 아이템 및 속성 데이터의 형식(Type)은 표 3과 같이 정의하였다. 이와 같이 정의된 기준에 따라 Cradle DB에 CTE 및 연도 별 TRL 데이터를 입력하였다. Cradle DB에 반영된 CTE, TRL 아이템 및 연관관계를 그림 6에 예시하였다.

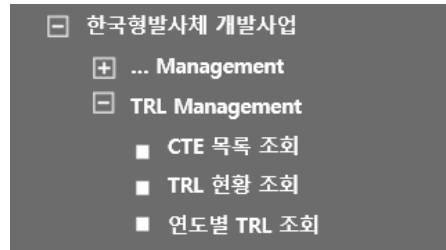
Cradle DB에 입력된 TRL 데이터의 원활한 접근을 위해서 단계 사이드바(Phase Sidebar)를 그림 7과 같이 구성하고 CTE 목록 현황, 현재 기준의 TRL

<Table 3> Data Type for TRL Management

아이템명	속성명	형식	내용
L2-CTE-XX (XX : 일련번호)	Code	Id/Key	분류코드
	Title	Name	제품명/기술명
	Class1	Category	대분류
	Class2	Category	중분류
	Class3	Category	소분류
	Descrip.	Frame	설명 및 특징
	Target Perf.	Frame	목표 성능
	Owner	Frame	담당부서
L2-CTE-XX-YYYY (XX : 일련번호) (YYYY : 연도)	Year	Category	해당연도
	Technology Status	Frame	기술현황
	Target Level	Category	TRL 목표값
	Record Level	Category	TRL 실적값
	Checklist Q1, Q2, ...	Frame	체크리스트 질문
	Checklist A1, A2, ...	Frame	체크리스트 답변
	Basis Document	Frame	근거문서



[Figure 6] Cradle DB Example for TRL Management



[Figure 7] TRL Phase Sidebar on ISMS

분류코드	핵심중점기술(CT)	담당부서	대상용	중점용	중점용	실적 현황	기술 현황
L2-CTE-01	...	LFT	발사체	발사체	발사체	...	...
L2-CTE-02	...	CYT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-03	...	LPT	발사체	핵심중점기술	핵심중점기술	...	...
L2-CTE-04	...	LPT	발사체	핵심중점기술	핵심중점기술	...	...
L2-CTE-05	...	LPC	발사체	핵심중점기술	핵심중점기술	...	...
L2-CTE-06	...	LPT	발사체	핵심중점기술	핵심중점기술	...	...
L2-CTE-07	...	CYT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-08	...	CYT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-09	...	CYT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-10	...	CYT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-11	...	ELT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-12	...	ELT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-13	...	ELT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-14	...	ELT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-15	...	TAT	발사체	발사체	발사체	...	...
L2-CTE-16	...	MAT	발사체	구조	구조	...	...
L2-CTE-17	...	MAT	발사체	구조	구조	...	...
L2-CTE-18	...	MAT	발사체	구조	구조	...	...
L2-CTE-19	...	CCT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-20	...	CCT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-21	...	TPT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-22	...	TPT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-23	...	LPC	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-24	...	RET	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-25	...	RET	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-26	...	CCT	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-27	...	LPC	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-28	...	LPC	발사체	제거기	제거기	...	...
L2-CTE-XX	...	...	...	...	...	...	...

[Figure 8] CTE List View on ISMS

분류코드	핵심중점기술(CT)	담당부서	목표 성능	기술 현황	2018년 기술연성도(TRL)
L2-CTE-01	...	LFT	...	...	...
L2-CTE-02	...	CYT	...	...	...
L2-CTE-03	...	LPT	...	...	...
L2-CTE-04	...	LPT	...	...	...
L2-CTE-05	...	LPC	...	...	...
L2-CTE-06	...	LPT	...	...	...
L2-CTE-07	...	CYT	...	...	...
L2-CTE-08	...	CYT	...	...	...
L2-CTE-09	...	CYT	...	...	...
L2-CTE-10	...	CYT	...	...	...
L2-CTE-11	...	ELT	...	...	...
L2-CTE-12	...	ELT	...	...	...
L2-CTE-13	...	ELT	...	...	...
L2-CTE-14	...	ELT	...	...	...
L2-CTE-15	...	TAT	...	...	...
L2-CTE-16	...	MAT	...	...	...
L2-CTE-17	...	MAT	...	...	...
L2-CTE-18	...	MAT	...	...	...
L2-CTE-19	...	CCT	...	...	...
L2-CTE-20	...	CCT	...	...	...
L2-CTE-21	...	TPT	...	...	...
L2-CTE-22	...	TPT	...	...	...
L2-CTE-23	...	LPC	...	...	...
L2-CTE-24	...	RET	...	...	...
L2-CTE-25	...	RET	...	...	...
L2-CTE-26	...	CCT	...	...	...
L2-CTE-27	...	LPC	...	...	...
L2-CTE-28	...	LPC	...	...	...

[Figure 9] TRL Status View on ISMS

달성 현황, 연도별 TRL 추이 등을 조회 가능하도록 쿼리(Query) 및 보기(View) 화면을 설정하였다. 이를 통해 시현되는 화면은 그림 8~10에 예시하였다.

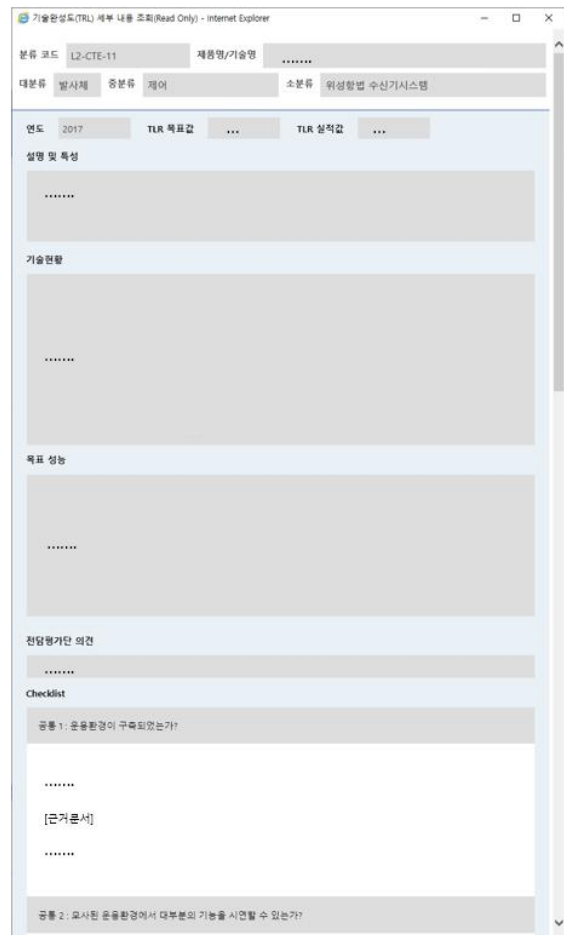
본 조회 화면 좌측의 문서 모양 아이콘을 조작하면 CTE 아이템의 하부 속성 데이터가 상세하게 조회될 수 있도록 구성하였고, 시현되는 화면은 그림 11에 예시하였다. 그림 11 하단의 연도 아이콘을 조작하면 해당하는 시기의 TRL 아이템의 하부 속성 데이터가 상세하게 조회될 수 있도록 구성하였고, 시현되는 화면은 그림 12에 예시하였다. 올해

분류코드	핵심중점기술(CTE)	담당부서	기술완성도(TRL)			
			2014년 실적	2015년 실적	2016년 실적	YYYY년 실적
L2-CTE-01	...	LFT	...	...	...	...
L2-CTE-02	...	CVT	...	...	...	...
L2-CTE-03	...	LFT	...	...	...	...
L2-CTE-04	...	LFT	...	...	...	...
L2-CTE-05	...	LPC	...	...	...	...
L2-CTE-06	...	LFT	...	...	...	...
L2-CTE-07	...	CVT	...	...	...	...
L2-CTE-08	...	CVT	...	...	...	...
L2-CTE-09	...	CVT	...	...	...	...
L2-CTE-10	...	CVT	...	...	...	...
L2-CTE-11	...	ELT	...	...	...	...
L2-CTE-12	...	ELT	...	...	...	...
L2-CTE-13	...	ELT	...	...	...	...
L2-CTE-14	...	ELT	...	...	...	...
L2-CTE-15	...	TAT	...	...	...	...
L2-CTE-16	...	MAT	...	...	...	...
L2-CTE-17	...	MAT	...	...	...	...
L2-CTE-18	...	MAT	...	...	...	...
L2-CTE-19	...	CCT	...	...	...	...
L2-CTE-20	...	CCT	...	...	...	...
L2-CTE-21	...	TPT	...	...	...	...
L2-CTE-22	...	TPT	...	...	...	...
L2-CTE-23	...	LPC	...	...	...	...
L2-CTE-24	...	RET	...	...	...	...
L2-CTE-25	...	RET	...	...	...	...
L2-CTE-26	...	CCT	...	...	...	...
L2-CTE-27	...	LPC	...	...	...	...
L2-CTE-28	...	LPC	...	...	...	...
L2-CTE-29	...	LCT	...	...	...	...
L2-CTE-XX	...	...	...	...	...	...

[Figure 10] TRL Trend View by Year on ISMS



[Figure 11] Detail CTE Data View on ISMS



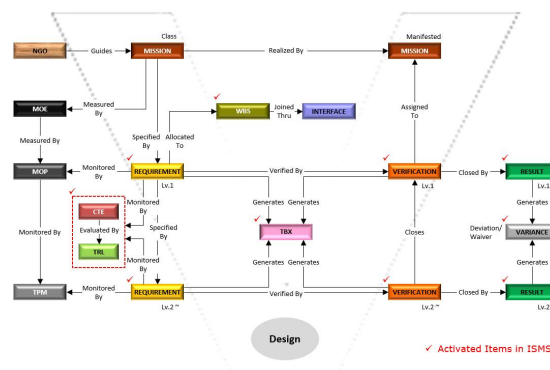
[Figure 12] Detail TRL Data View on ISMS

연말 무렵에는 본 조회 화면에서 담당자가 최신 현황을 업데이트하고 TRL 평가서를 출력하는 기능을 추가하여 TRA 프로세스에 바로 적용할 수 있도록 할 예정이다.

### 3. 결론

한국형발사체개발사업에서 운영하고 있는 시스템 엔지니어링 전산관리도구를 활용하여 TRL 관리 환경을 구축한 사례를 살펴보았다.

TRL을 통해 기술 수준을 정량화된 객관적 지표로 파악할 수 있는 장점이 있으나 적용하기 위한 많은 노력이 동반된다. 본 논문은 실제 적용에 관한 내용을 제시하므로 개념적 접근을 위주로 하는 기존 학술자료와는 차별성을 가진다. 또한, 국내 여러



[Figure 13] KSLV-II Systems Engineering Data Relationship

기관 및 산업계에서 요구조건 관리를 위해 시스템 엔지니어링 전산관리도구를 보편적으로 활용하고 있는 바, 그림 13의 예시와 같이 시스템엔지니어링 전산관리도구의 적용 범위 확대 및 시스템엔지니어링 관리 환경 개선에 참고할 수 있을 것으로 판단된다.

현재 본 사업에서 전산관리도구가 주로 과거 TRL 데이터 조회 및 기술 발전 추세 확인 정도로 제한적으로 활용되고 있으나, 전산관리도구에서의 실시간 업데이트 및 결과물 출력/제출 등 활용 범위를 점진적으로 확대하고, TRA 프로세스에 긴밀하게 포함 시킴으로써 사업 참여자의 편의 도모 및 관리의 효율화를 지속 추진할 예정이다.

### References

1. Junyouk Jang, Dong Hyun Cho, Il Sang Yoo, A Study on the Requirements Verification Schema for the Space Launch Vehicle, 2017 Spring Conference of the Korea Society of Systems Engineering, 2017.
2. Junyouk Jang, Dong Hyun Cho, Il Sang Yoo, A Study on Establishing the Requirements Verification Matrix (RVM) for the Space Launch Vehicle, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, Vol.14, No.2, p16-23, 2018.
3. KSLV-II Program Office, KSLV-II TRA Report, 2018.
4. Dong Hyun Cho, Junyouk Jang, Chang Young Lim, Il Sang Yoo, Mu Seong Hwang, Web-based Systems Engineering Management System in a Space Launch Vehicle R&D Project, 2017 Fall Conference of the Korea Society of Systems Engineering, 2017.
5. ESA, Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications, 2008.
6. DoD, Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook, 2009.
7. DoD, Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance, 2011.
8. 방위사업청, 국방기술품질원, 기술성숙도평가(TRA) 가이드북, 2015.
9. 방위사업청, 기술성숙도평가(TRA) 업무지침(청예규 제468호), 2018.
10. 이선현, 이유화, 기술성숙도평가(TRA)와 연계한 무기체계 연구개발 활성화 방안, 국방과 기술, 2019.