

# 체계개발 사업의 효과적인 기술성숙도 평가방법에 대한 연구

김현우<sup>†</sup> · 고정환 · 정의승

발사체임무보증실 한국항공우주연구원

## A Study on The Effective Technology Readiness Assessment Method for System Development Project

Hyun Woo Kim · Jeong Hwan Ko · Eui Seung Chung

Launcher Mission Assurance Division, Korea Aerospace Research Institute

In this study, the effective technology readiness assessment (TRA) method for system development project is suggested. We analyze the domestic and foreign TRA practice and derive the new idea to resolve the problems found from the analysis. Domestic and foreign organizations develop and use checklist for the precise TRA, but the checklist has some problems in type of questions and analysis of assessment. TRA method using the original TRL definition or the checklist should be selected depending on the project characteristic. Questions of the checklist should be classified into critical or non-critical according to their importance. Finally, Test and evaluation master plan (TEMP) in system engineering process can provide an obvious criteria to assess technology readiness level (TRL) of critical technology elements (CTE) composing the system.

**Keywords:** Technology readiness level, Test and evaluation master plan, Critical technology elements

### 1. 서론

오늘날 우주발사체, 항공기 등과 같이 다수의 첨단기술이 통합된 체계개발은 그 규모와 체계의 큰 복잡도로 인해 개발과정에서 많은 위험요인을 갖게 된다. 특히 체계개발 사업에서 미성숙된 기술의 적용은 성능, 일정 및 비용 문제를 발생시키는 주요한 요인이 되고 있다. 따라서 이러한 미성숙 기술로 인한 위험을 감소시키기 위한 연구들이 많이 진행되어 왔다. Sadin 등은 항공우주 분야의 기술에 대해 성숙 수준을 평가하는 아이디어를 처음으로 제안하였다(Sadin *et al.*, 1989). 미 항공우주국의 Makins는 항공우주분야 기술의 성숙 수준을 측정하기 위한 계량지표로 기술성숙도(Technology Readiness Level)를 개발하였다(Makins, 1995). Makins가 개발한 기술성숙도는 기술의 성숙 수준이 가장 낮은 TRL 1부터 가장 높은 TRL 9까지 총 9개의 단계로 구성되어 있다. Makins는 TRL 1~TRL 9 각 단계가 의미하는 성숙 수준을 정성적인 개념으로 정의하였기 때문에

사람마다 해석의 차이가 발생할 수 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 미 공군연구소의 Nolte는 기술성숙도 평가를 위한 체크리스트를 개발하였다(Nolte, 2003). 체크리스트는 9개의 TRL 각각의 단계별로 10여 개씩 총 100여 개의 질문으로 구성되어 있다. 미 국방부는 기술성숙도에 대한 이해를 높이고, 평가절차에 대한 지침을 제공하기 위해 기술성숙도 평가 안내서를 발간하였다(DoD, 2005). Bilbro는 미 공군연구소의 체크리스트를 수정하여 미 항공우주국의 체계개발 프로세스에 적합한 체크리스트를 개발하였다(Bilbro, 2007). <Table 1>은 미 항공우주국(NASA)과 미 국방부(DoD)의 체계개발 사업에서 각 개발단계에서 요구되는 기술성숙도를 보여준다. 미 항공우주국은 예비설계검토가 이루어지는 Phase B 완료단계에서 TRL 5 이상을 요구하고 있으며, 미 국방부에서는 TD(Technology Development) 완료단계에서 예비설계검토가 이루어지며 여기서 TRL 6 이상을 요구하고 있다. 미 미사일방어청(Majumdar, 2007), 미 에너지부(DOE, 2011), 유럽 우주국(ESA, 2008) 등도 체계개발 사업

<sup>†</sup> 연락저자 : 김현우 선임연구원, 305-806 대전광역시 유성구 과학로 169-84 한국항공우주연구원, Tel : 042-870-3814, Fax : 042-860-2699, E-mail : khwphk@kari.re.kr

2014년 7월 15일 접수; 2014년 11월 17일 수정본 접수; 2015년 1월 5일 게재 확정.

**Table 1.** TRL relationship to system acquisition of NASA and DoD

|      |             |       |       |         |         |         |         |       |         |
|------|-------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|
| NASA | Pre-Phase A |       |       | Phase A | Phase B | Phase C | Phase D |       | Phase E |
| DoD  | MSA         |       |       |         | TD      |         | E&MD    | P&D   |         |
| TRL  | TRL 1       | TRL 2 | TRL 3 | TRL 4   | TRL 5   | TRL 6   | TRL 7   | TRL 8 | TRL 9   |

에서 기술성숙도를 사용하고 있다. 국내에서는 방위사업청에서 무기체계 개발사업에 대해 미 공군연구소의 체크리스트를 이용한 기술성숙도 평가를 적용하고 있다(DAPA, 2012). 미 항공우주국과 미 국방부에서 기술성숙도를 개발한 이후 기술성숙도에 대한 연구는 기술성숙도의 소개나(Park, 2009), 기술성숙도가 기술개발 사업에 미치는 영향성 등에 대한 것이었다(Hwang et al., 2012). 또한 시스템 인터페이스 성숙도나 전체 시스템 성숙도 등 기술성숙도가 다루지 않는 부분의 성숙도를 측정할 수 있는 새로운 방법에 대한 연구는 이루어졌으나(Sauser, 2008), 기존 기술성숙도가 가지고 있는 문제점의 개선을 위한 연구는 이루어지지 않았다.

본 연구는 기존 기술성숙도 평가방법이 가지고 있는 문제점의 개선방안에 대한 것이다. 본 연구에서 제안한 개선방안은 대형 체계개발 사업인 한국형발사체 개발사업의 기술성숙도 적용에 대한 연구과정에서 기존 기술성숙도 평가방법의 문제점에 대해 평가자들이 제시한 의견의 분석방법을 통해 도출되었다. 이렇게 도출된 개선방안은 TRL 정의에 기반한 평가, 체크리스트에 기반한 평가, 기술성숙도와 체계공학을 접목한 평가와 같이 세 가지 방향으로 제시되었다<Table 2>.

**Table 2.** Improvement strategy of the present technology readiness assessment

|            |  |
|------------|--|
| Strategy 1 | Improvement of TRA based on TRL definition                 |
| Strategy 2 | Improvement of TRA based on TRL checklist                  |
| Strategy 3 | Improvement of TRA by combining TRL and system engineering |

## 2. 기술성숙도 정의를 이용한 평가방법 분석

<Table 3>은 Makins의 TRL 정의를 보여준다. 기술수준이 가장 낮은 단계로 기초적인 과학 원리에 대한 연구가 이루어지는 TRL 1부터 체계의 임무수행이 성공적으로 이루어지는 TRL 9까지 총 9개의 단계로 구성되어 있다. 이 정의는 미 국방부를 포함한 모든 분야에서 동일하게 사용하고 있다. 다만 미 국방부에서는 TRL 7의 “space environment”를 “operational environment”로 변경하여 사용하고 있다. <Table 3>에서 보듯이 TRL 정의는 매우 정성적으로 표현되어 있다. 따라서 TRL 정의를 이용한 평가는 기존의 구체성이 부족한 측면이 있다. 예를 들면 “bread board”, “relevant environment” 등의 용어에 대한 해석의 차이로 평가의 일관성 유지가 어려울 수 있다. 우주발사체

를 구성하는 산화제 밸브 기술의 경우 “relevant environment”를 어떤 사람은 주위 온도가 극저온 상태인 것으로 판단하고 어떤 사람은 밸브 내부에 극저온 유체가 있는 상태로 판단할 수 있다. 따라서 평가자에 따른 평가 결과의 차이가 크게 발생할 위험성이 있으며, 평가자와 피평가자 간의 기술성숙도에 대한 이해도의 차이는 국내 국방분야에서와 같이 체계개발 사업의 단계전환 여부 결정에 기술성숙도 평가결과가 큰 영향을 미치는 경우 논란을 일으킬 가능성도 존재한다. 이는 기술성숙도 평가의 신뢰성 문제를 일으킬 수 있다.

**Table 3.** TRL definition of NASA(Makins, 1995)

| TRL | Definition   |
|-----|--|
| 1   | Basic principles observed and reported   |
| 2   | Technology concept and/or application formulated   |
| 3   | Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept           |
| 4   | Component and/or breadboard validation in laboratory environment                               |
| 5   | Component and/or breadboard validation in relevant environment                                 |
| 6   | System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment(ground or space)   |
| 7   | System prototype demonstration in a space environment  |
| 8   | Actual system completed and “flight qualified” through test and demonstration(ground or space) |
| 9   | Actual system “flight proven” through successful mission operations                            |

## 3. 체크리스트를 이용한 평가방법 분석

<Table 4>는 미 항공우주국과 미 국방부가 각각 체계개발 프로세스의 Phase C와 TD 완료단계에서 하드웨어 기술에 대해 요구하는 TRL 6의 달성여부를 평가하기 위한 체크리스트를 보여준다. 미 항공우주국의 체크리스트는 12개의 질문, 미 국방부의 체크리스트는 8개의 질문으로 구성되어 있다. <Table 4>의 질문 항목들을 살펴보면 <Table 3>의 TRL 6 정의 “System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment”를 충족시키기 위한 가장 기본적인 사항인 첫 번째 질문부터 TRL 6 달성여부와 가장 직접적인 연관성을 갖는 마지막 질문까지 다양한 측면에서 기술의 성숙여부를 확인한다. 이러

한 체크리스트를 이용한 기술성숙도 평가는 TRL 정의를 이용한 평가에 비해 평가기준이 구체화 되었으므로 평가의 일관성 및 신뢰성을 높이는 데 기여하는 측면이 있다. 그러나 체크리스트를 이용한 기술성숙도 평가방법도 몇 가지 문제점을 갖고 있다. 먼저 모든 질문항목에 대한 평가 후 해당 TRL 달성여부의 판정기준에 있어 미 항공우주국과 미 국방부는 모든 질문항목이 충족되어야 TRL이 달성된 것으로 판정한다. 그러나 각각의 질문항목은 해당 TRL 달성여부에 미치는 영향도의 차이가 존재한다. TRL 각 단계의 질문 중 마지막 항목은 해당 TRL의 달성에 대한 결정적인 사항을 확인하는데 반해 일부 질문은 기술에 따라 필요성이 작은 경우도 있다. 우주발사체의 경우 <Table 4>의 DoD 체크리스트 1번 항목은 기술의 성숙도와 관련성이 매우 작지만 8번 항목은 TRL 6 달성을 위해서는 반드시 충족되어야 하는 사항이다. 그러나 현재 평가에서는 질문항목의 중요도에 대한 가중치를 고려하지 않고 있다. 필요성이 작은 질문을 한 개라도 미충족 시킴으로서 해당 TRL 달성이 되지 않은 것으로 판정될 경우, 기술개발과 관련된 시간과 비용에 있어 비효율적인 문제가 발생한다. 국내 국방분야에서는 질문항목의 80% 이상이 충족되면 해당 TRL이 달성된 것으로 판정하는 기준을 사용한다. 이 경우 위에서 언급한 100% 충족조건을 단점을 일부 보완할 수 있는 장점이 있는 반면, 핵

심적인 질문항목이 미충족 되더라도 TRL이 달성된 것으로 판정할 수 있는 위험성을 갖고 있다.

#### 4. 기술성숙도 평가방법의 개선방안

현재 다양한 분야의 체계개발 사업에서 기술성숙도 평가는 대부분 체크리스트를 이용하여 이루어지고 있으며, TRL 정의만을 이용한 기술성숙도 평가는 많지 않은 상황이다. TRL 정의를 이용한 기술성숙도 평가는 위에서 언급한 바와 같이 평가의 일관성 측면에서 문제점을 가지고 있는 반면, 평가자의 배경 지식 및 경험을 최대한 반영할 수 있어 평가의 유연성 측면에서 유리한 점이 있으므로 체계개발 사업의 성격 및 평가팀 구성원의 능력을 고려하여 평가방법을 선정하는 것이 필요하다. 기술성숙도 평가가 체계개발 사업의 단계전환 여부를 결정하기 위한 것이 아닌 위험관리를 주목적으로 할 경우, 기술성숙도 평가는 기술과 관련된 핵심 부분에 집중할 필요가 있으므로 다수의 확정된 항목을 평가하는 체크리스트 평가방법보다 TRL 정의를 이용한 평가가 더 적합하다. 또한 평가팀 구성원의 해당 기술분야에 대한 전문성이 높은 경우에도 TRL 정의에 기반한 기술성숙도 평가가 평가팀 구성원의 전문성 활용에 있

Table 4. Checklist for hardware TRL 6 of NASA and DoD

| Question | NASA   | DoD   |
|----------|--|---|
| 1        | System requirements finalized?   | Cross technology issue measurement and performance characteristic validations completed?      |
| 2        | Operating environment definition finalized?  | Operating environment for eventual system known?  |
| 3        | Subset of relevant environments identified that address key aspects of the final operating environment?              | M&S used to simulate system performance in an operational environment?                        |
| 4        | M&S used to simulate system performance in an operational environment?   | Factory acceptance testing of laboratory system in laboratory setting?                        |
| 5        | M&S used to simulate system/subsystem engineering model/prototype performance in the relevant environment?           | Representative model/prototype tested in high-fidelity lab/simulated operational environment? |
| 6        | External interfaces baselined?   | Realistic environment outside the lab, but not the eventual operating environment?            |
| 7        | Scaling requirements finalized?  | Laboratory system is high-fidelity functional prototype of operational system?                |
| 8        | Facilities, GSE, STE available to support engineering model testing in the relevant environment?                     | Engineering feasibility fully demonstrated?   |
| 9        | Engineering model or prototype that adequately addresses critical scaling issues fabricated?                         | -   |
| 10       | Engineering model or prototype that adequately addresses critical scaling issues tested in the relevant environment? | -   |
| 11       | Analysis of test results verify performance predictions for relevant environment?                                    | -   |
| 12       | Test performance demonstrating agreement with performance predictions documented?                                    | -   |

어서 좀 더 유리할 것으로 판단된다. 이 경우 TRL 정의를 이용한 평가방법의 단점인 평가의 일관성 문제는 사전 교육을 통해 기술성숙도에 대한 평가팀 구성원의 이해도를 높임으로써 해결이 가능할 것이다. 미 국방부의 기술성숙도 평가 안내서는 TRL 정의에 대한 상세한 설명과 다양한 무기체계에 대한 예시를 제공하므로 기술성숙도에 대한 이해를 높이는 데 적합하다.

체크리스트를 이용한 기술성숙도 평가는 체계개발 사업의 단계 전환 여부 결정 시 기술성숙도 평가결과가 중요한 역할을 하기 때문에 엄격한 평가기준이 필요한 경우와, 평가팀 구성원이 해당 기술분야에 대한 전문성이 부족하여 평가의 일관성이 유지되기 어려운 경우 적합하다. 그러나 질문항목 간에 중요도의 차이가 존재함에도 불구하고 이를 고려하지 않고 모든 질문항목에 대해 미 항공우주국이나 미 국방부와 같이 100% 충족을 TRL 달성요건으로 하거나, 국내 국방분야와 같이 80% 이상 충족을 요건으로 하는 판정기준은 개선이 필요하다. 먼저 질문항목들은 <Table 3>의 TRL 정의에서 언급된 핵심사항을 기준으로 필수항목과 비필수항목으로 구분하는 것이 필요하다. 즉 component, subsystem, system prototype 등과 같은 하드웨어 조건과 laboratory environment, relevant environment, space environment와 같은 환경조건, 그리고 최종적인 성능 입증 여부를 확인하는 질문은 TRL 달성을 위한 핵심적인 사항이므로 필수항목으로 구분하고, 그 외 필수항목의 실현을 위해 필요한 항목들은 비필수항목으로 구분한다. 예를 들면 <Table 4>의 미 국방부의 TRL 6에 대한 체크리스트에서 6번 항목은 환경조건 확인, 7번 항목은 하드웨어조건 확인, 8번 항목은 성능 입증에 대

한 질문이므로 필수항목으로 구분할 수 있다. 따라서 1번부터 5번 항목은 비필수항목으로 구분된다. 2번 항목 “Operating environment for eventual system known?”의 경우 체계개발사업 관점에서는 사업초기에 당연히 확인되어야 하는 사항이며, TRL 6에서는 6번 항목을 구현하기 위해서 필요한 사항이므로 6번 항목에 포함되는 내용이다. 따라서 별도의 항목으로 구분하는 것은 불필요하며, 구분하여 사용한다면 비필수항목으로 구분한다. 3번 항목 “M&S used to simulate system performance in an operational environment?”의 경우 기술에 따라 수행하지 않을 수 있으며, TRL 6의 달성에 필수적인 사항도 아니므로 비필수항목으로 구분한다. <Table 5>는 이와 동일한 방법으로 미 국방부의 TRL 4와 TRL 7에 대한 체크리스트의 질문항목들을 필수항목과 비필수항목으로 구분한 것을 보여준다. 이와 같이 질문항목이 필수 및 비필수항목으로 구분되면 해당 TRL의 달성기준은 필수항목에 대해서는 100% 충족되어야 한다. 반면 비필수 항목은 해당 TRL 달성을 위해 반드시 필요한 사항이 아니므로 50% 이상 충족이 기준으로 적합할 것으로 한국형발사체 개발사업의 기술성숙도 적용에 대한 연구과정에서 도출되었다. 그리고 비필수항목은 중요성이 떨어지므로 사업에 따라 평가자들이 사업의 특성을 반영하여 기준을 조정해서 사용하는 방법도 가능할 것이다.

기술성숙도 평가에서 TRL 정의를 이용한 방법과 체크리스트를 이용한 방법은 기술의 종류에 상관없이 적용 가능한 범용적인 기준을 제시해 준다. 그렇기 때문에 평가기준의 구체성이 떨어지는 단점을 가지게 된다. 그러나 체계개발 사업 추

Table 5. Classification of TRL 4 and TRL 7 checklist of DoD

| Question | TRL   |  | Classification |
|----------|---|--|----------------|
|          | 4   | 7  |                |
| 1        | Controlled laboratory environment   | Operational environment, but not the eventual platform                                 | Critical       |
| 2        | Individual components tested in laboratory  | Fully integrated prototype demonstrated in actual/simulated operational environment    | Critical       |
| 3        | Technology demonstrates basic functionality in simplified environment                     | System prototype successfully tested in a field environment.                           | Critical       |
| 4        | Cross technology issues have been fully identified  | M&S used to simulate some unavailable elements of system                               | Non-critical   |
| 5        | M&S used to simulate some components and interfaces between components                    | Each system/software interface tested individually under stressed/anomalous conditions | Non-critical   |
| 6        | Overall system requirements for end user's application are known                          | Components are representative of production components                                 | Non-critical   |
| 7        | Laboratory experiments with available components show that they work together             | Most functionality available for demonstration in simulated operational environment    | Non-critical   |
| 8        | Hardware in the loop/computer in the loop tools to establish component compatibility      | Operational/flight testing of laboratory system in representational environment        | Non-critical   |
| 9        | Low fidelity technology system integration and engineering completed in a lab environment | -  | Non-critical   |
| 10       | Functional work breakdown structure developed   | -  | Non-critical   |

Table 6. TRL relationship to test and Evaluation Master Plan for Space Launch Vehicle

| TRL | Turbopump  | Combustion Device  |
|-----|--|--|
| 3   | Specimen test for validation of material and process                       | Specimen test for validation of material and process                     |
| 4   | Static and dynamic load test/Water stream test                             | Static and dynamic load test/Water stream test                           |
| 5   | Turbopump performance validation by similar liquid or real propellant test | Combustion device performance validation by combustion test              |
| 6   | Performance validation through engine combustion test                      | Performance validation through engine combustion test                    |
| 7   | Performance validation through real launching to space of launch vehicle   | Performance validation through real launching to space of launch vehicle |

진 시 단계전환 결정을 위한 목적이나 위험관리를 위한 목적으로 기술성숙도 평가를 채택할 경우, 사업 초기에 CTE별로 기술성숙도 기준을 구체화 해놓음으로써 기존 방법의 단점을 보완할 수 있다. 체계개발 사업에서는 효율적인 사업추진을 위해 체계공학 프로세스를 적용하고 있으며, 이 체계공학 프로세스에서는 사업초기에 개발 기술에 대한 시험평가 종합계획의 수립을 요구한다. 이 시험평가 종합계획은 개발되는 하드웨어 기술의 경우 최초 시편시험을 통한 재료나 공정 등에 대한 기본적인 설계의 입증에서부터 최종 완성된 체계를 통한 구성 기술들의 입증까지 기술 개발의 각 단계별로 요구되는 기술 수준의 달성에 대한 입증 계획을 구체적으로 포함하고 있다. 따라서 TRL 3~TRL 7 각 단계와 시험평가 종합계획의 기술개발 단계별 입증계획을 연관시키는 것이 가능하다. <Table 6>은 액체 추진체를 사용하는 우주발사체의 엔진을 구성하는 핵심 기술인 터보펌프와 연소기의 개발 시 일반적으로 수행되는 시험평가 단계와 TRL 단계를 연관시킨 예를 보여준다. 터보펌프의 경우 시편시험을 통한 재료 및 공정에 대한 기본 설계의 입증은 TRL 3, TRL 3에서 입증된 재료와 공정을 통해 제작된 터보펌프에 대한 부하시험과 극저온의 액체 추진체 대신 물을 이용한 수류시험을 통한 터보펌프의 기능 및 성능 입증은 TRL 4, 극저온의 추진체와 유사한 액체 질소나 실제 추진체를 이용한 시험을 통한 성능 입증은 TRL 5, TRL 5에서 검증된 터보펌프를 부체계인 엔진에 통합하여 엔진의 연소시험을 통한 터보펌프의 성능 입증은 TRL 6, 그리고 모든 요소들이 통합된 발사체를 우주로 성공적으로 발사함으로써 최종적으로 성능을 입증하는 것은 TRL 7의 도달기준에 해당된다. TRL 6을 보면 기술성숙도평가의 핵심기준인 하드웨어조건, 환경조건 및 성능 입증조건이 터보펌프 기술에 대해 부체계인 엔진, 실제 추진체를 이용한 엔진의 연소시험 및 이를 통한 성능목표 입증으로 구체적으로 명시되고 있다. 연소기의 경우도 터보펌프와 유사하게 설명된다. 이와 같이 TRL 3~TRL 7 각 단계에서 해당 기술에 대한 하드웨어조건, 환경조건, 성능기준 등이 구체화 되므로 기술에 따른 평가의 일관성과, 평가팀 구성원이 해당 기술분야에 대한 전문성이 높지 않은 경우에도 객관성을 유지할 수 있게 된다. 또한 평가자와 피평가자 사이의 TRL 평가기준에 대한 이해도의 차이를 최소화 시킬 수 있는 장점도 가지게 된다. TRL 3~TRL 7 이외의 TRL은 체계개발 사업에 기술성숙

도평가 적용시 실질적으로는 평가가 수행되지 않는 단계이므로 시험평가 종합계획을 기반으로 한 평가기준 수립에는 문제가 없다.

## 5. 결론

본 연구에서는 한국형발사체 개발사업의 기술성숙도 평가 적용에 대한 연구를 수행하면서 기존 기술성숙도평가 방법의 문제점을 분석하고 세 가지 방향에서 개선방안을 제시하였다.

먼저 TRL 정의를 이용한 평가방법은 기술성숙도 평가의 목적이 위험관리를 위한 경우나, 평가팀이 해당 사업분야의 최고 전문가들로 구성된 경우에 사용하는 것이 유리하다. 따라서 사업을 수행하는 조직에서 사업관리 목적으로 기술성숙도 평가를 자체적으로 수행할 경우 적합하다. 두 번째로 체크리스트를 이용한 평가방법은 사업의 단계전환 결정과 같이 엄격한 평가기준이 필요한 경우나 평가팀 구성원의 해당 분야 전문성이 높지 않은 경우 적합하다. 이 경우 체크리스트의 질문항목은 필수항목과 비필수항목으로 구분하고, 필수항목은 100% 충족되어야 하며 비필수항목은 50% 수준에서 사업의 특성을 반영하여 조정하는 것이 필요하다. 마지막으로 체계공학의 기술개발 계획, 특히 시험평가 종합계획에 나타나는 구체적인 기술개발 입증계획과 TRL 각 단계를 연관시킬 경우 기술성숙도평가 적용의 목적이나 평가팀 구성원의 전문성에 관계없이 정확하고 객관적인 평가를 가능하게 할 것이다.

체계개발 사업에서 사업의 특성을 구분하여 본 연구에서 제시한 방안 중 적합한 방법을 적용할 경우 기존보다 효과적인 기술성숙도 평가를 통해 완성도 높은 체계개발에 기여할 것이다. 그리고 본 연구결과를 기반으로 향후 한국의 우주발사체 개발 사업에 적합한 새로운 기술성숙도 평가 체크리스트에 대한 연구를 수행할 계획이다.

## 참고문헌

- Bilbro, J. W. (2007), Systematic Assessment of the Program/Project Impacts of Technological Advancement and Insertion, *A White Paper*.

- DAPA (2012), *Technology Readiness Assessment Guideline*, Korea.
- DoD (2005), *Technology Readiness Assessment Deskbook*, USA.
- DoE (2011), *Technology Readiness Assessment Guide*, USA.
- ESA (2008), *Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications*, EU.
- GAO (1999), *Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes*, USA.
- Hwang, H.-W., Kim, H.-R., and Jang, Y.-K. (2012), TRL Impact on Development Schedule and Cost in the Aerospace Project, *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, **40**(3), 264-272.
- Kim, T.-G., Kwon, S.-J., and Kang B.-G. (2013), Modeling and Simulation Methodology for Defense Systems Based on Concept of System of Systems, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **39**(6), 450-460.
- Majumdar, W. S. (2007), *System of Systems Technology Readiness Assessment (Thesis for Degree of Master)*, USA.
- Mankins, J. C. (1995), *Technology Readiness Levels (A White Paper)*, USA.
- Nolte, W. L., Kennedy, B. C., and Dziegiel, R. J. (2003), Technology Readiness Level Calculator, *NDIA System Engineering Conference*.
- Park, K.-J. (2009), The Framework of Technology Readiness Level (TRL) Assessment and Case Study, *Journal of the Korea Society of Systems Engineering*, **5**(2), 43-48.
- Sadin, S T., Povinelli, F. P., and Rosen, R. (1989), NASA Technology Push towards Future Space Mission Systems, *Acta Astronautica*, **20**, 73-77.
- Sauser, B. J., Henry, D., and Dimarzio, D. (2008), A System Maturity Index for the Systems Engineering Life Cycle, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, **3**(6), 8-30.