

시스템엔지니어링 표준(EIA632)에 의한 틸팅열차 시스템 사양서 개발 The Express Tilting Train System Specification Development Using Systems Engineering Standard-EIA632

이중윤¹⁾ 신광복²⁾
Lee, Joongyoon Shin, Guangbok

ABSTRACT

The mission of tilting train development project is enhancing the speed of transportation of railway passenger using existing infrastructure. The threat of this project is the tilting technology is newly incorporated to this project. To overcome the threat this project incorporate systems engineering technology to development tilting train system. The systems engineering process, which was used in this project, was performed in accordance with systems engineering standard EIA632. This paper shows the systems engineering technology which was used to develop the tilting train system specification. This paper also shows the requirement template which was developed to communicate and synthesis various specialty engineering.

1. 서론

기존선의 열차는 현재 수송용량한계에 도달했을 뿐만 아니라 대부분의 주요간선의 표정속도가 100Km/h 전후로 저속운행하고 있어 운용효율이 떨어지고 있고, 고객으로부터 선호도가 떨어져 타 교통기관에 비하여 점유율이 점점 낮아지고 있다. 이러한 상황은 선진국에서 이미 20-30년 전에 나타난 현상으로 주요국가에서는 기존선의 고속화를 위하여 선형개량, 차량에 틸팅 시스템(Tilting System)을 개발하는 등 속도향상에 투자를 지속적으로 추진하여 큰 성과를 보고 있는 실정이다. 국내에서도 철도의 고속화를 위하여 경부고속철도가 1994년이래 건설되고 있어 발전적인 방향으로 추진되고 있으나, 기존선은 1986년 이후 속도향상이 멈춰진 상태이다. 이에 철도청에서는 중장기 철도발전계획이 수립되어 순차적으로 전기철도화가 추진 중에 있다. 이러한 배경에서 기존선 고속화 사업에서는 최고운행속도 180Km/h의 중고속 열차를 한국형 독자 고유모델 틸팅 차량을 개발함으로써 철도시스템 개발에서 비용이 가장 많이 드는 기존 선로의 변경이 거의 없이 기존선의 속도 향상을 자체기술로 달성하고자한다.

기존선 고속화 틸팅 열차 개발에 사용되는 열차 틸팅 기술은 국내에서 처음 도입하는 기술이

1) SETechnology(주) 팀장, 정회원

2) 철도기술연구원 선임연구원, 정회원

므로 기술적 위험도 및 사업적 위험도가 크다. 이러한 개발 위험을 극복하기 위하여, 우주항공, 방위산업, 자동차 등을 개발하기 위하여 선진국에서 사용 중인 시스템 엔지니어링(Systems Engineering) 기술을 사용하여 킬링 차량 시스템 정의 즉, 시스템 사양을 개발하고자 하였다.

기존선 고속화차량 개발 사업에서는 각 분야별 기술 개발과 함께 이들 기술을 통합하는 시스템엔지니어링 기술의 사용을 통하여 차량개발을 수행하고 있다. 이러한 시스템엔지니어링 기술을 통하여 차량시스템 사양을 개발한 사례를 보고하고자 한다. 기존 전통적 방법으로 개발된 시스템 사양서를 국제 시스템엔지니어링 표준인 EIA632에서 요구하는 기준에 맞는 체계적인 사양서로 개선하고자 하였다. 이를 위하여, 기존 시스템 사양서의 오류를 식별하여 체계화하는 시스템 요구사항 체계화 프로세스를 개발하였으며, 그 과정의 수행을 용이하도록 템플릿의 개발 및 그 적용결과인 체계화된 차량시스템 사양서를 개발하였다. 또한 이러한 과정의 수행을 용이하게 하기 위하여 시스템엔지니어링 도구(CORE)를 사용하여 사양서 개발의 효율성을 높였을 뿐만 아니라 추상성 및 복잡성이 높은 시스템엔지니어링의 수행을 도구(CORE)를 사용하여 산재한 개발 팀들간의 일관된 사양서 개발에서 핵심요소인 대화(Communication) 효과성을 높였다.

2. 본론

2.1. 표준(EIA632) 시스템 엔지니어링 설계 프로세스

시스템엔지니어링 표준인 EIA632에서 규정한 시스템 설계 프로세스는 획득자와 합의된 요구사항을 구현가능한 제품으로 전환시키는 과정이다. 이 과정을 통하여 구현된 제품은 획득자 및 기타 이해당사자의요구사항을 만족시켜야 한다. 이 시스템 설계 프로세스는 요구사항 정의와 해결방안 정의라는 두 프로세스로 나누어진다. 두 프로세스 간의 관계를 그림 1 에 도시 하였다.

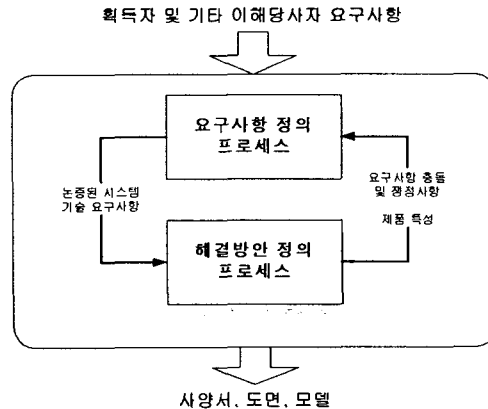


그림 1 시스템 설계 프로세스
(인용 EIA632)

시스템 설계 프로세스에서 요구사항 정의 프로세스의 기술 활동은 먼저 획득자 및 기타 이해당사자의 요구사항을 식별, 수집, 그리고 정의하면서 시작된다. 이와 같이 식별, 수집, 정의된 요구사항은 논증된 시스템 기술 요구사항으로 전환된다. 이 시스템 기술 요구사항은 해결방안 정의 프로세스를 통하여 설계방안으로 전환된다. 설계방안이란 규정된 요구사항 즉, 사양서, 도면, 모델 등 여러 설계 문서를 의미한다. 이와 같이 요구사항 정의 프로세스는 논증된 시스템 기술 요구사항을 출력하며, 해결방안 정의 프로세스는 규정된 요구사항(시스템 사양서)을 출력한다.

요구사항 정의 프로세스와 관련된 세가지 요구사항은 (1) 획득자 요구사항, (2) 기타 이해당

사자 요구사항, (3) 시스템 기술 요구사항이 있다. 이를 위하여 요구사항 정의 프로세스에 입력되는 것은 다음과 같이 세가지 종류가 있다. (1) 합의문, 기타 문서, 그리고 시스템을 엔지니어링 또는 리엔지니어링한 결과물에 대해 이해 관계가 있는 사람이나 단체로부터 나온 요구사항 (2) 기술계획이나 기술검토회의에서 결정된 의사결결과 같이 기타 프로세스로부터 산출된 결과물의 형태로서의 요구사항 (3) 첫번째 종류의 요구사항 중에서 변경이 요청되거나 승인된 것이 있다.

해결방안 정의 프로세스는 수용 가능한 설계안을 생성하는데 사용된다. 이 해결방안은 요구사항 정의 프로세스를 거치면서 도출된 시스템 기술 요구사항 및 해결방안 정의 프로세스로부터 유도되는 기술 요구사항을 만족시켜야 한다. 해결방안 정의 프로세스는 (1) 논리적 해결방안 도출, (2) 물리적 해결방안 도출 및 (3) 도출된 설계 해법에 대하여 요구사항 규정(specify)하는 3가지 단계로 구분된다. 논리적 해결방안은 시스템 기술 요구사항에 맞는 기능적 해결방안, 즉 기능 모델을 구현하는 것을 의미하며, 물리적 해결방안은 구현된 기능 모델(논리적 해결방안), 유도된 기술 요구사항, 그리고 시스템 기술 요구사항과 일치하는 물리적 해결방안 중에서 선호하는 것을 정의해야 추상적인 정의를 위해 하나 이상의 적절한 접근법을 선정하고 구현한다. 이와 같은 해결방안 정의 프로세스를 통하여 출력되는 규정된 요구사항들은 기술 용어로 기술되며, 획득자나 기타 이해당사자들의 요구와 기대를 충족시켜주는 최종 제품 및 지원제품을 공급하기위해 풀어야 하는 문제들을 합리적으로 완벽하게 기술한 것이다. 규정된 요구사항이 나타내는 “합리적으로 완벽하게 기술”의 의미는 EIA632가 제시하는 요구사항에 대한 논증 기준을 만족하는 것을 의미한다.

2.2. 기존선 고속화 사업의 설계 프로세스

시스템엔지니어링 표준에서 규정하는 프로세스는 기본적으로 해당 개발 사업에 적합하게 재구성(SE Process Tailoring)할 것을 요구한다. 시스템엔지니어링 설계 프로세스를 구성하기 위한 본 사업의 환경 및 특성을 다음과 같이 정의하였다. 본 사업의 대상이 되는 철도 차량 시스템의 오랫동안 사용되고 있는 ‘기존시스템’에 해당한다. 특히 상부구조가 되는 철도차량 기본 아키텍처는 변함없이 사용되고 있다. 그러므로 상부구조의 논리적 해결방안 및 물리적 해결방안은 이미 잘 변하지 않는 형태로 정하여져 있다고도 할 수 있다. 그리고 본 연구는 시스템 수준의 사양서를 개발하는 것이 연구범위이므로, 다음과 같이 기존선 시스템엔지니어링 설계 프로세스를 구성하였다.

- (1) 설계 프로세스 입력 요구사항(획득자 및 기타 이해당사자 요구사항)의 식별 및 정의
- (2) 입력 요구사항의 논증을 통한 시스템 기술 요구사항의 정의
- (3) 기술 요구사항의 분해 및 기존 물리적 아키텍처에 할당을 통한 요구사항 규정(specify)

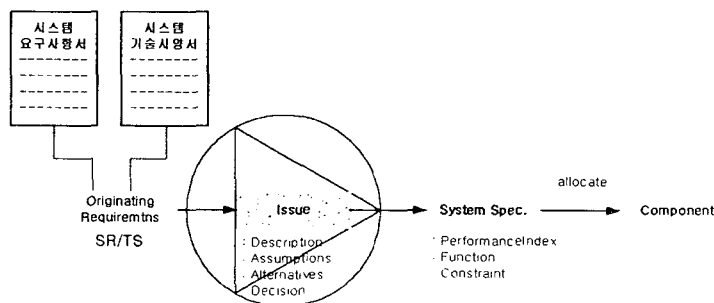


그림 2 틸팅 차량 시스템 설계 프로세스

이러한 과정을 통하여 시스템 사양서를 개발하였다. 즉, 입력 요구사항을 최초 요구사항에 입력하여 논증과정에서 쟁점사항(Issue)을 발생하여 대체 가능한 요구사항을 도출하며 통합제품팀

에서 검토를 통한 의사결정을 수행하여 시스템 사양(Specification)으로 변환 시킨다. 결정된 시스템 사양은 해당 시스템 또는 부품에 할당함으로써 해당 시스템 또는 부품에 대한 규정된 요구사항이 되는 과정을 이러한 시스템 설계 과정을 그림 2에 도시하였다.

2.3. 요구사항 종류에 따른 속성

획득자 및 기타 이해당사자의 요구사항은 일반적으로 평문으로 기술되며, 비 기술적 용어를 사용한다. 또한 요구사항 발생 주체가 구현 가능성에 대한 해석이 없이 요구사항을 제시하며, 요구사항 자체가 모호한 경우 및 다른 이해당사자들의 요구사항과의 충돌도 고려하지 않는 경우가 일반적이다. 따라서 수집된 획득자 및 기타 이해당사자의 요구사항은 타당성, 일관성, 추적성, 경쟁성, 중복성 등의 문제를 가지고 있다.

논증된 시스템 기술 요구사항은 모호하지 않고, 완전하고, 모순이 없고, 달성가능하고, 검증할 수 있고, 시스템 설계를 위해 필요 충분한 속성을 가져야 한다. 본 연구에서는 획득자 요구사항과 기타 이해당사자 요구사항 간에 식별된 모순을 해결하며, 요구사항 논증기준에 따라 논증함으로써 논증된 시스템 기술 요구사항을 개발하였다. 그 결과 모호하지 않고, 완전하고, 모순이 없고, 달성가능하고, 검증할 수 있고, 시스템 설계를 위해 필요 충분한 시스템 기술 요구사항을 제공한다.

2.4. 입력 요구사항 현황

본 연구에서는 과년도(2002년)에 개발된 “시스템 요구사항서”와 “시스템 기술사양서”를 설계 프로세스에 입력되는 요구사항 문서로 하였다. 이는 앞 절에서 기술한 요구사항 정의 프로세스 입력 문서항목 (2), (3)에 해당하는 문서 즉, 시스템 기술기획 및 기술검토회의 산출물이며, 변경이 요청되는 기술문서에 해당된다.

이들 두 프로세스 입력문서는 공히 시스템 수준의 요구사항 문서이지만, 두 문서 모두 요구사항 각 항목이 표준에서 요구하는 형태를 가지고 있지 않아서 요구사항들 간의 추적 관계를 형성하기 어려우며, 시스템 요구사항 각 항목에 검정 요구사항을 할당하기 어려운 문제점을 갖고 있다. 또한 독립적인 요구사항 문서로써 완전하지 않다. 두 문서의 각 항목은 그림 3에 나타낸 5가지의 유형으로 나타나며 또한 각 요구사항 항목이 의미하는 물리적 대상은 시스템 계층 구조에서 일관적인 추적관계를 가지고 있지 않다.

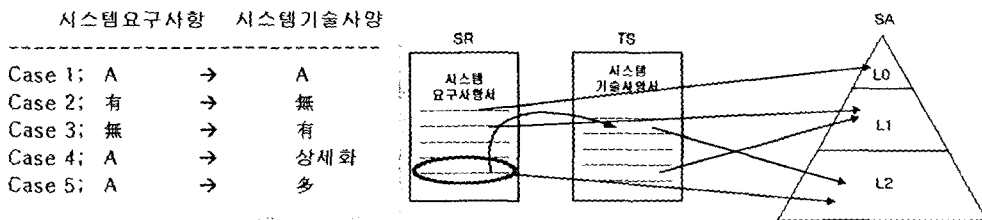


그림 3 입력요구사항 구조 분석 결과

이러한 문제점들은 다음 절에 기술한 논증 기준에 적합하도록 논증하여 시스템 기술 요구사항으로 변환함으로써 자체로써 완전하고 상호 추적가능하며, 검증가능한 요구사항으로 개선된다.

2.5. 시스템 요구사항 논증 기준

EIA632에서 요구하는 요구사항에 대한 논증 기준을 표 1 나타내었다.

본 사업에서는 이 중 논증에 지나친 시간 및 자원이 요하는 항목 또는 논증 없이 판단할 수

표 1 요구사항에 대한 EIA632 논증 기준

<ul style="list-style-type: none"> ● 요구사항이 각 항목별로 다음 기준을 만족하여야 한다. 1) 경쟁력을 유지할 수 있는 능력 ; 경쟁력 있는 위치를 점할 수 있도록하며, 요구사항에 의해 주어지는 이익에 의해 정당화된 제약만이 경쟁력있는 위치에 대한 제약을 준다. 2) 명확성 ; 요구사항서가 사용된 단어 또는 용어에 대한분석 없이 현 상태에서 이해가능하다. 3) 정확성 ; 요구사항서에 사실에 대한 예러가 포함되어 있지 않다. 4) 타당성 ; 요구사항이 (1) 자연의 물리적 제약, (2) 최신 기술이 프로젝트에 적용되었을 경우 (3) 프로젝트에 적용되는 명확한 제약하에서 만족될 수 있다. 5) 설계독립성 ; 요구사항이 '무엇', '왜' 또는 형태, 적합성 및 기능 등으로 표현되어 있으며, 제품을 개발하는 방법이나 사용될 재료 등 (이러한 것들은 한 제품의 설계에 대한 지침을 제공하기 위해서 필요한 세부 요구사항은 여기에서 제외된다)으로 표현되지 않았다. 6) 구현가능성 ; 요구사항서가 요구사항을 구현하는데 필요한 정보를 포함하고 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 7) 수정가능성 ; 요구사항에 대한 필수적인 변경이 완벽하고 일관성 있게 수행될 수 있다. 8) 애매함의 제거 ; 요구사항의 의미에 대한 단 하나의 해석만을 할 수 있도록 함. 예. '초과', '충분한' 및 '에 강한'과 같이 측정할 수 없는 용어를 사용하여 정의되지 않았다. 9) 유일성 ; 요구사항서가 상식적으로 서로 다른 행위자, 행동, 대상물 또는 기구등을 갖는 두개 이상의 요구사항으로 기술되어서는 안된다. 10) 시험가능성 ; 요구사항이 만족되었음을 검증할 유한하고 객관적인 프로세스가 존재함. 11) 검증성 ; 기술되고 있는 시스템의 계층구조 수준내에서 검증될 수 있다. <ul style="list-style-type: none"> ● 아래의 내용에 맞도록 기술되었는지 쌍별 및 세트로 분석하고 확인한다. 1) 중복성 ; 각 요구사항은 단 한번만 기술된다. 2) 연결성 ; 요구사항의 모든 용어가 다른 요구사항 및 단어 및 용어정의와 연결되어 있어서 개별 요구사항이 다른 요구사항과 적절히 연관되어 요구사항 세트를 이룬다. 3) 상충 ; 요구사항이 자체적으로 또한 다른 요구사항과 충돌되지 않는다.
--	--

있는 항목 즉, 경쟁력 유지 능력, 연결성, 상충 이상 3개 항목을 제외한 11개 논증 기준을 채택하여 입력 요구사항을 논증 하였다.

2.6. 요구사항 템플릿

앞 절에서 기술한 요구사항 논증기준에 따라 시스템 요구사항을 논증하기 위해서는 관련 이해당사자들의 검토 및 관련 기술자들로 구성된 통합제품팀(Integrated Product Team-IPT)의 검토가 필수적이다. 통합제품팀이 요구사항을 논증하기 위하여서는 요구사항 논증 프로세스에 대한 이해와 이를 수행할 수 있는 수준의 양식(템플릿)이 필요하다.

Class 강령서 요구사항 항목별 논증기준														정적(Static) 분석																				
Class	Name	번호	description	경쟁 능력	명확성	정확성	타당성	설계 독립성	완전성	불확실성	유일성	시험가능성	중복성	연결성	상충	Level	Category	Docu mented by	대상FPS	앞단계 추적 Req	생원 SysSpec (EAI/Const)	책임부서	검토일모	Severity	Status	Assumption	Alternative	Decision	Issue Originator	Date Opened	Due Date	Date Closed	Approval Date	Approved By

그림 4 요구사항 논증 템플릿

이러한 필요에 따라 요구사항 논증 템플릿을 개발하였으며 그림 4는 개발된 요구사항 논증 템플릿의 머릿부분을 보여준다. 요구사항 논증 템플릿을 도구로 제품통합팀은 반복적인 요구사항 논증회를 수행하였으며 이를 통하여 EIA632에서 제시한 요구사항 논증기준에 적합한 시스템 요구사항으로 개선이 수행되었다.

2.7. 시스템 요구사항 논증 스키마 개발

요구사항 개선 템플릿에 의한 요구사항 논증 결과는 EIA632의 요구에 따라 정보 데이터베이스 기록하여야 한다. 이는 인간에 의한 오류의 방지 및 기술 데이터들간의 추적성 확보 및 기술 데이터의 재사용성 등을 확보하기 위한 것이다.

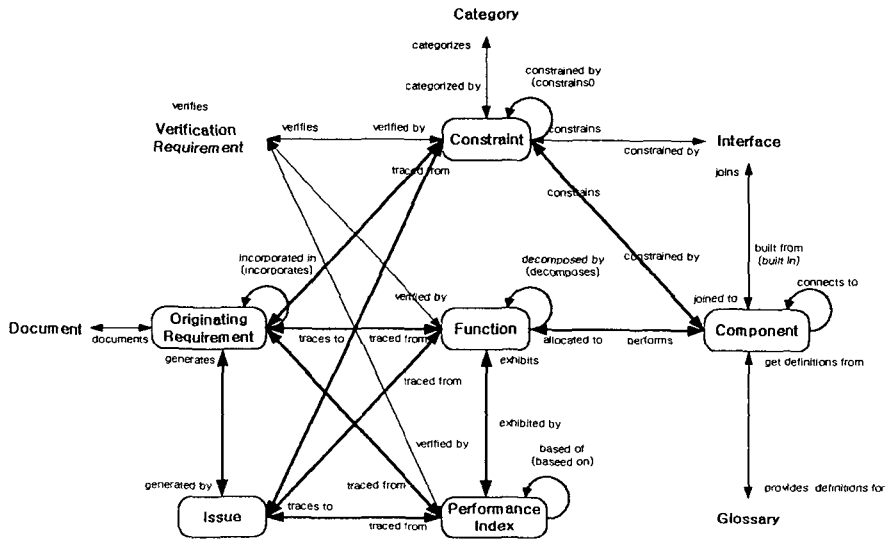


그림 5 시스템 요구사항 논증 스키마

본 연구에서는 시스템 요구사항 논증 프로세스에서 발생하는 모든 기술 데이터는 시스템 엔지니어링 전산도구(CORE)에 기록하였다. 적절하게 기록된 기술 데이터는 앞의 장점 외에도 다음 절에 기술된 표준 시스템 사양서 양식에 따라 보고서를 자동 생성하는 등 시스템 개발 기간 내 기술 활동 효율성 향상에 기여하였다.

시스템엔지니어링 전산도구(CORE)는 최초 프로세스 입력 요구사항과 논증과정의 기술검토 내용 및 논증 결과인 시스템 사양이 도출된 전체 프로세스를 데이터베이스 형태로 기록하고 있으며 모든 요소들 간의 추적이 용이하도록 지원한다. 시스템 엔지니어링 전산도구(CORE)는 시스템엔지니어링 활동 즉, 시스템 요구사항 논증 및 검증 활동의 수행을 용이하게 하지만, 이러한 시스템 엔지니어링 활동을 수행하기 위하여서는 시스템 엔지니어링 지식과 이러한 지식을 도구상에서 구현할 수 있는 체계를 이해할 수 있어야 한다. 시스템 엔지니어링 전산도구(CORE)를 사용하여 시스템엔지니어링을 수행하는 경우에는 도구에 내장된 스키마(Schema)를 이해한 후에 이 기본 스키마를 이용하여 기존선 고속화 사업에 적합한 스키마를 구축하여 사용하여야 한다. 이에 따라 본 사업에 적용된 시스템 요구사항 논증 스키마를 그림 5에 도시하였다. 그림에서 채색된 부분은 CORE에서 사용되는 클래스 형식(type)을 나타내며, 이들을 연결하는 선 및 선의 이름은 클래스 들 간의 관계를 나타낸다.

2.8. 시스템 사양서 구조 개발

시스템 사양서의 형태에 관련하여 국내에서는 표준 형태가 나와 있지 않으며 대부분의 시스템 사양서는 기술도입에 의한 사양서를 기반으로하거나 나름대로의 틀을 규정하여 사용하고 있다. 현재 미국 우주, 방위산업 표준 시스템 사양서 틀로써는 미 국방부에서 사용하고 있는 MIL-STD-490, MIL-STD-498, DOD-STD-2167A 및 DOD-STD-7935 등이 있으며, 국내 국방과학연구소를 비롯한 방위 산업체를 중심으로 이러한 미국의 표준 양식을 참조하여 표준 시스템 사양서를 작성하고 있다. 기존선 고속화 사업의 사양서 개발에서도 우선 미 국방 표준에 수록된 표준 시스템 사양서의 틀을 연구하여 시스템엔지니어링의 결과물인 시스템 사양서를 현 사업에 맞도록 틀을 정하여 출력하였다. 표 2 는 틸팅 차량 시스템 사양서의 목차를 보여준다.

표 2 틸팅 차량 시스템 사양서의 목차

<ul style="list-style-type: none"> 1 적용범위 <ul style="list-style-type: none"> 1.1 식별 1.2 시스템 개요 1.3 임무 및 위험요소 <ul style="list-style-type: none"> 1.3.1 임무 1.3.2 위험요소 1.4 문서 요약 2 적용 문서 <ul style="list-style-type: none"> 2.1 정부 문서 2.2 비정부 문서 3 시스템 요구사항 <ul style="list-style-type: none"> 3.1 정의 3.2 특성 <ul style="list-style-type: none"> 3.2.1 성능특성 3.2.2 시스템 성능 관련사항 3.2.3 인터페이스 요구사항 3.2.4 시스템의 물리적 요구사항 3.2.5 시스템 품질 요소 <ul style="list-style-type: none"> 3.2.5.1 신뢰성 3.2.5.2 유지 보수성 3.2.5.3 가용성 3.2.5.4 상호운용성 3.2.5.5 내구성 3.2.5.6 재사용성 3.2.5.7 이동성 3.2.5.8 유연성과 확장성 3.2.5.9 휴대성 3.2.6 환경 조건 	<ul style="list-style-type: none"> 3.3 설계 및 제작 요구사항 <ul style="list-style-type: none"> 3.3.1 재료 3.3.2 전자파 방출 3.3.3 명판 및 제품표시 3.3.4 숙련도 3.3.5 부품의 상호 교환성 3.3.6 안전성 3.3.7 인간공학 3.3.8 시스템 보안 3.3.9 정부 제공 물품의 사용 3.3.10 컴퓨터 자원 용량 확보 3.4 문서 3.5 물류 3.6 인력과 훈련 3.7 구성품의 특성 3.8 요구사항의 우선순위 3.9 품질인증 3.10 시제품 3.11 시제품 생산 4 품질보증 <ul style="list-style-type: none"> 4.1 검사의 책임 4.2 별도 테스트와 검사 4.3 특수시험 및 검사 5 납품 준비 6 약어 및 용어 10 부록 A - Verification Cross-Reference Matrix 20 부록 B - RTM
--	---

3. 결론

본 연구에서는 국제 시스템 엔지니어링 표준인 EIA632에서 제시하는 시스템 사양(System Specification)을 개발하는 프로세스와 논증기준을 적용하여 기존선 고속화 틸팅 차량의 시스템 사양서를 개선하였다. 본 연구에서는 과년도에 개발된 시스템 요구사항서와 시스템 기술사양서를 시스템 논증 프로세스에 입력하여 그 결과물로 논증된 시스템 기술 요구사항을 출력하였다. 이러한 과정에서 국제 시스템 엔지니어링 표준에서 제시하는 시스템 사양 개발하는 프로세스와 논증기준 등이 본 연구에 적합하도록 수정하여 적용하였으며, 과정의 수행을 용이토록 하는 요구사항 논증 템플릿을 개발하

였다. 그리고 개발 과정에서 발생하는 기술데이터의 추적 및 재사용이 가능하도록 시스템엔지니어링 도구(CORE)를 사용할 수 있도록 시스템 사양서 개발 프로세스 스키마(Schema)를 개발하였다. 또한 시스템엔지니어링 설계 프로세스의 결과물인 시스템 사양서의 양식을 연구하여 톨딩 차량의 시스템 사양서 양식을 개발하였으며, 시스템엔지니어링 도구(CORE)에 기록된 기술 데이터가 이러한 양식으로 자동 출력되도록 하였다.

※ 참고문헌

1. EIA632, Processes for Engineering a System, EIA, 1998
2. MIL-STD-490, Specification Practices, 1968
3. Dennis M. Buede, The Engineering Design of Systems. John Wiley & Sons, INC., New York, 2000.
4. J. N. Martin, Systems Engineering Guidebook. CRC Press, New York, 1997.
5. Project Team, Requirements Working Group, "Requirements Categorization." Proceedings of the 11th International Symposium of the International Council on Systems Engineering.
6. J.Y.Lee, et al., "Application of Computer-Aided Systems Engineering to Develop Automated Guided Transit(AGT) System Architecture", INCOSE 11th, 2001.7.1-5, (Melbourne, Australia)
7. J.Y.Lee, et al., "A Sublayer Generation of System Architecture using the Model Based Systems Engineering Tool", INCOSE 12th, (2002.7.28-8.1, LasVegas, USA)
8. J.Y.Lee, et al., "Application of Computer-Aided Systems Engineering to Develop Automated Train Control(ATC) Subsystem", INCOSE 12th, (2002.7.28-8.1, LasVegas, USA)