

## 도시형 자기부상열차 시스템 요구사항 정의 방안 연구

정경렬

박철호

최준호

송선호

한국생산기술연구원

### A Study on the Method to Define System Requirements for Urban Maglev Train

Chung, Kyungryul

Park, Chulho

Choi, Chunho

Song, Sunho

Korea Institute of Industrial Technology

**Abstract** - System requirements (SRs), which describe the technical attributes to be satisfied by a desired system, serve as a fundamental guideline for system development. Standard methods and processes to define SRs are suggested in systems engineering literature. But in practice, we encounter many difficulties in defining and managing SRs since there are few experiences on development of complex systems in accordance with systems engineering processes of development. In this paper, to expanding SRs management experiences in a working-level, we reviewed problems occurred in SRs defining process in 'Urban MAGLEV Train Project', and analyzed our activities to adjust and solve the problems.

**Key Words** - requirements, specification, systems engineering

#### 1. 서 론

요구사항(requirements)이란 이해관계자에 의해 시스템에 요구되는 모든 속성을 의미하며 개발사업의 목표이자 존재이유이기 때문에 중요하다. 요구사항은 시스템의 설계, 제작, 시험, 운영에 대한 균간을 형성한다. 이와 동시에 각각의 요구사항은 크고 작은 기술·비용·시간적 제약을 유발하기 때문에 사업 초기에 가능한한 간결·명료하고 누락된 내용이 없는 요구사항이 정의되어야 한다. 시스템의 개발주기에서 뒤늦게 발생하는 요구사항의 변경은 사업에 기술·비용·시간적인 난관을 발생시키거나 심지어는 사업의 실패를 초래할 수도 있다.

시스템 엔지니어링에서도 요구사항은 중요한 위치를 차지하고 있다. Benjamin S. Blanchard은 그의 저서인 "Systems Engineering Management"에서 일반적인 시스템엔지니어링 프로세스를 그림 3과 같이 정의하였는데 이에 의하면 전체 개발 프로세스의 절반 이상의 활동이 요구사항의 수집/분석에 할애되는 것으로 나타나 있다. 이는 대상 시스템의 문제영역(problem area = requirements)을 명확히 하는데 상당한 노력을 투입하는 시스템엔지니어링의 근본 취지에 의한 것이다.

그러나 아직 국내의 개발환경에서는 체계적인 활동과 절차에 의해 정의되는 시스템 요구사항의 중요성에 대한 이해와 관련 사례를 통한 경험이 부족하다. 아직도 많은 사업 관리자들은 시스템 요구사항을 수립하는 활동을 간단히 진행하거나 생략하고 성급히 시스템 개발에 착수하여 가시적인 성과가 나오기를 원한다. 그러나 시스템 엔지니어링의 발전배경이었던 미국의 60~70년대 대형 우주/방산 프로젝트들의 실패 경험은 이와 같은 성급한 시스템 설계의 결과가 개발 후기의 문제점 발견과 이를 수정하기 위한 일정/비용상의 리스크 발생으로 결국 개발사업의 실패에 이른다는 점을 암시하고 있다.

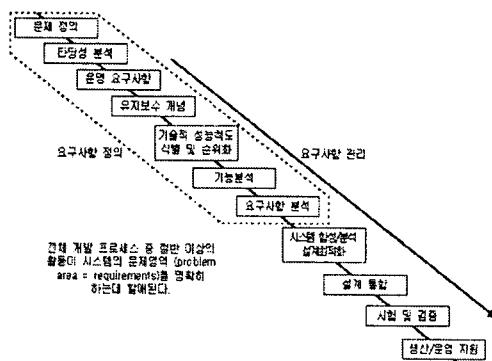


그림 1 SE 프로세스의 요구사항 정의 영역

Fig. 1 The area about requirements definition in SE process

이러한 현상은 근본적으로 시스템 개발 초기에 "개발에 관련된 문제의 정의(Problem Definition)" 활동이 제대로 이루어지지 못하기 때문에 발생한다. 여기서 "개발에 관련된 문제의 정의"란 잘못된 목표를 지향하고 있거나 필요한 요구사항이 누락되거나 각기 서로 다른 상황에 처한 개발자들이 시스템 목표에 대한 공통된 이해를 하지 못하고 있는 것으로 시스템 요구사항의 면밀한 검토를 통한 정의를 하지 않은 상황을 의미한다. 따라서 시스템엔지니어링의 핵심은 시스템 개발 초기 관련된 문제점과 요구사항을 정확히 파악하고, 관련된 모든 개발자들의 공통된 이해를 형성시키며, 개발 목표와 현황을 지속적으로 관리하는데 있다.

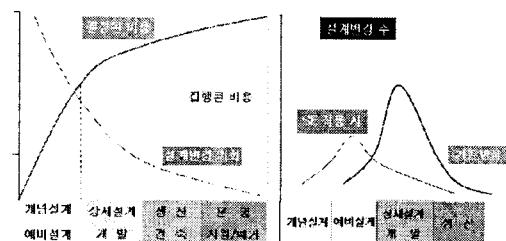


그림 2 SE 적용 시 설계변경 기회 및 소요 비용의 변화

Fig. 2 Deviation of opportunities of design change & cost in application of systems engineering

위와 같은 중요성으로 인해 현재 보급된 시스템 엔지니어링 자료나 국제표준에서는 시스템 요구사항의 정의

에 관한 많은 가이드를 제공하고 있으나 다양한 시스템 분야 및 사업 종류에 대한 일반성을 유지해야하기 때문에 실무적인 경험이나 구체적인 사례를 제공하고 있지 못하다. 이는 체계적인 시스템 개발에 대한 노하우이며, 향후 국내 개발자들이 지속적으로 갖춰 나가야 할 부분으로 여겨진다.

본 논문에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 수행된 시스템 요구사항 정의 활동을 기반으로 실무적으로 발생할 수 있는 문제점을 정리하고 이에 대한 해결방안을 제시하여 체계적인 시스템 개발 활동에 대한 경험과 사례 형성에 기여하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 이론적 배경 및 접근

#### 2.1.1 요구사항 및 개념 정의

요구사항은 사업의 목표인 동시에 최종사용자가 만족하는 시스템을 개발하기 위한 가이드라인이다. 따라서 시스템엔지니어링에서 요구사항은 핵심적인 역할을 하고 있으며 요구사항의 본질을 규정하고 설명하려는 노력이 지속적으로 이루어져 왔다.

표 1 요구사항에 대한 정의 비교

Table 1 Comparison of requirement definitions

연구자 또는 기관	요구사항에 대한 정의
Sailor (1990) [64]	사명을 달성하기 위하여 시스템이 반드시 수행해야 하는 기능에서 축정 가능한 성능으로 표현되어 적별할 수 있는 능력.
MIL-STD 499B (1993) [29]	특정 목적을 달성하기 위해 필요하다고 식별된 일정 수준.
Chambers and Manos (1992) [16]	설계 물체에 대한 적절한 해결방안의 일부로써 최종 설계의 속성
Davis (1993) [21]	시스템에 대한 사용자의 필요 또는 필요한 속성, 기능 또는 속성을 의미하며 해당 시스템의 외부에서 감지할 수 있는 것
Grady (1993) [35]	시스템 또는 시스템 요소에 대한 본질적인 (essential) 속성으로 그 속성을 표현하는 정보로 값과 단위가 수반된다.
Harwell, et al. (1993) [37]	만약 어떤 것이 반드시 달성이되고 전환되고 생산되고 또는 제공되어야 한다면, 그 것은 요구사항이다.
Robertson (1999) [62]	제품이 반드시 수행해야 하는 것, 또는 그 제품이 반드시 가져야 하는 속성.
Project Team, Requirements Working Group (2001) [57]	어떤 달성이거나, 실현되어야 할 필요가 상세히 정한 경우 적별된 필요한 표현이 요구사항이다.

표 1에서 비교된 다양한 요구사항 정의의 결과를 볼 때 요구사항은 시스템에 대한 기능, 성능 등을 포함하는 속성으로 볼 수 있으며, 시스템이 수행해야 하거나 만족해야 하는 모든 내용이 포함되는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 요구사항(requirements)이란 이해관계자에 의해 시스템에 요구되는 모든 속성을 의미하는 것으로 정의하도록 한다. 이해관계자(stakeholder)란 시스템의 수명주기에 걸쳐 시스템과 영향을 주고받는 모든 인원 및 조직을 의미한다. 도시형 자기부상열차에서는 승객과 운영기관, 정비업체 등이 가장 중요한 이해관계자이며, 추가적으로 이 사업에 참여하는 각종 개발자, 정책결정자, 지방자치단체 등 역시 모두 시스템의 이해관계자이다. 사업을 가장 성공적으로 이끌어가기 위해서는 주어진 여건 속에서 이와 같은 모든 이해관계자들의 요구를 반영하고 적절히 조정하여 사업의 최종결과물에 반영하여야 한다.

사양(specification)이란 시스템을 제작하거나 시공하기 위해 규정되어야 할 기술적인 내용 중 도면으로 나타내기 어려운 사항을 문서화한 것이다. 즉 사양은 설계/design 활동의 결과물이며 부여된 요구사항을 만족시킬 수 있는 기술적 설계목표를 담고 있어야 한다.

요구사항이 시스템 개발에 대한 문제를 명시하고 있다면 사양은 그에 대한 답변을 제시한다고 볼 수 있다. 사양은 사업에서 사용한 기술수준과 비용, 일정을 감안하여 타당하게 결정되어야 한다. 따라서 요구사항은 사양에 대한 목표를 제시함과 동시에 사양의 기술적 검토에 의해 조정될 필요가 있다. 이와 같은 요구사항과 사양의 관계를 도식화하면 다음 그림과 같다.

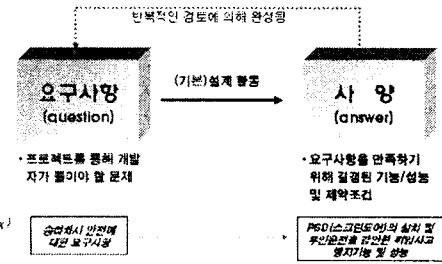


그림 3 요구사항과 사양의 관계 정의

Fig. 3 Definition of the relation between requirements & specification

#### 2.2.2 시스템 요구사항 정의 및 사양 개발 프로세스

EIA-632(시스템 엔지니어링 프로세스 표준문서)에서는 최초 요구사항 수집으로부터 시스템 규격서가 나올 때까지의 프로세스를 그림 4와 같이 정의하고 있다. 초기 요구사항은 시스템에 관련된 여러 이해관계자로부터 도출되는데 그 중 시스템을 공급받아 활용하게 되는 측의 요구사항이 가장 중요하며 이를 획득자 요구사항(Acquirer Requirements)이라고 한다. 도시형 자기부상열차 실용화사업의 경우 운영기관을 획득자로 간주할 수 있다.

#### 초기 요구사항

##### (Originating Req.)

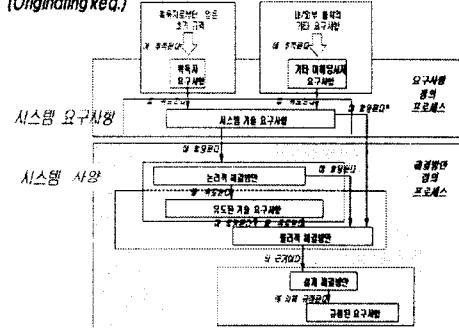


그림 4 EIA-632의 시스템 요구사항 정의 및 사양 개발 프로세스

Fig. 4 System requirements definition & specification development process in EIA-632

시스템 요구사항은 초기 요구사항에 대한 엔지니어들의 검토를 통해 기술적인 언어로 변환된 것으로 누락된

내용을 보완하고 기술적으로 모순이 없고, 달성가능하며, 언제, 누구에게서나 단일한 내용으로 해석될 수 있는 내용이 되어야 한다. EIA-632에서는 초기 요구사항을 수집하고 시스템 요구사항을 도출하는 과정을 요구사항 정의 프로세스(Requirements Definition Process)로 규정하고 있다.

시스템 사양은 시스템 요구사항을 만족하기 위해 시스템이 갖추어야 하는 속성이다. 그럼 3의 예제에서 “승하차시 승객의 안전 확보”라는 요구사항을 만족하기 위해 시스템 사양에서는 그에 적절한 기능 및 성능이 규정되어야 할 것이다. 이와 같이 시스템 수준의 기능 및 성능 사양을 규정하는 과정을 시스템 엔지니어링의 기본설계 과정으로 볼 수 있다. 기본설계를 통해 규정된 시스템 사양은 상세설계를 통해 구체적인 하부수준의 사양으로 이어진다.

## 2.2 시스템 요구사항 정의에 대한 현실적 제약

시스템 요구사항 정의 활동은 국내 수행 사례가 부족하고 구체적인 해외 사례를 확보하기 어렵기 때문에 시스템 개발 분야와 환경에 따라 다양한 어려움에 노출될 수 있다. 본 절에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 시스템 요구사항을 정의하는 과정에서 식별된 문제점을 크게 2가지로 요약하여 제시한다.

### 2.2.1 초기 요구사항의 미비 및 일정상의 제약

초기 요구사항에서 가장 중요한 기본자료는 RFP(사업 제안서)이다. RFP에는 사업의 목표에 대한 가장 상위수준의 목표와 획득자 요구사항이 포함되어 있어야 하기 때문이다. 그러나 일반적인 RFP의 작성과정에서 충분한 초기 요구사항 정의 활동이 포함되지 않기 때문에 획득자의 요구사항을 RFP의 내용만으로 완성할 수는 없다. 또한 많은 개발사업이 초기 요구사항에 대한 기존사업의 사례나 본격적인 조사 활동이 미비한 상태에서 시작된다.

이는 결정된 소수의 목표사양을 제외하고는 설계에 대한 명확한 잣대가 주어지지 않는 것이기 때문에 구체적인 설계기준은 개발자 스스로 준비해가야 한다. 사업이 시작되면 개발자는 비용, 일정, 기술적인 제약에 놓이기 때문에 별도의 활동을 통해 구체적인 설계기준을 확립해 가기 어렵다. 이런 경우 통상적으로 유사 시스템 또는 경쟁 시스템의 기술사례를 참고하게 되고, 다양한 분야의 개발자가 참여하는 지역적인 관점에서 문제를 해결해 가는 경우가 많기 때문에 대형복합시스템 개발의 경우 전체적인 시각에서 중요한 목표나 방향을 놓칠 수 있는 우려가 있다.

도시형 자기부상열차 실용화사업의 경우 시범노선이 선정되지 않은 상황이었기 때문에 시스템이 운영되는 주변환경과 운영개념에 대한 조기 파악이 어려웠다. 이와 같이 실제 사업을 진행하는 상황에서 개발자는 이론적인 상황에서 부여되지 않은 다양한 제약에 처해지게 되며 이와 같은 상황에서도 체계적인 개발을 수행하는 방법을 모색해야 한다.

### 2.3.2 기개발 기술 반영 기회의 부족

시스템 엔지니어링에서 요구사항 정의 활동은 기본적으로 초기 요구사항에서 시스템 요구사항과 사양을 정의하고 다시 하부수준에 대한 요구사항과 사양을 정의해나가는 Top-down 프로세스이다. 그러나 일반적으로 사용한 기술이 한정되어 있으므로 상당한 사양과 운영환경이 정해져 있는 경우가 많다. 예를 들어 도시형 자기부상열차의 경우 산업자원부의 중기거점기술개발사업을 통해 기개발된 기술이 존재하기 때문에 실용화사업의 시스템은 기술적으로 이 범위를 크게 벗어나기 어려우며 일본

의 리니모 노선 및 타 무인경전철과 같은 경쟁시스템이 존재하고 이에 대한 경쟁력을 확보해야 할 필요가 있기 때문에 이들의 기술사양 또한 검토되어 사업에 반영될 필요가 있다.

따라서 일반적인 시스템 엔지니어링 표준이나 참고문헌에서 제시하는 시스템 요구사항의 Top-down적 접근법이 일관되게 유지하기보다 기 개발된 기술을 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다.

## 2.3 현실적 제약에 따른 개선방안 제안

### 2.3.1 양방향적 접근

시스템 요구사항을 정의하는 활동은 사실상 성능분석, 대안연구, 제약사항 평가 및 비용 대비 효과성 분석과 같은 세부적인 분석활동을 아우르는 복잡한 프로세스이다. 시스템 요구사항이 정의될 때 기술적 타당성과 목표에 대한 부합여부 등이 같이 판단되어야 하기 때문에 초기 요구사항의 수집과 분석, 타당성 검토 작업이 수차례 반복되면서 시스템 요구사항이 결정될 수 있다. 이와 같은 순수한 Top-down적 접근법은 상당한 시간과 자원이 소모되기 때문에 타당성 조사 또는 기본설계 사업이 아닌 본격적인 시스템 개발 사업에서는 적절하지 못하다. 이 때 기개발된 기술이 존재하는 경우 리버스엔지니어링(Reverse Engineering) 개념을 활용한 양방향적(bi-directional) 접근을 할 수 있다.

리버스엔지니어링은 개발이 완료된 시스템의 기술요소를 바탕으로 역으로 추적하여 개발 초기의 문서나 설계 기법 등의 자료를 얻어내는 활동이며 소프트웨어 및 하드웨어 분야에 두루 적용되고 있다. 시스템 요구사항은 시스템 및 서브시스템 기술요소와 추적관계를 갖기 때문에 리버스엔지니어링 개념을 적용할 수 있다.

도시형 자기부상열차 실용화사업의 경우 기개발된 기술로 산업자원부의 지원하에 수행된 “중기거점기술개발사업”에서 개발된 자기부상열차 및 신호시스템 기술사양이 존재하기 때문에 이를 참고하였다. 통신, 전력, 선로, 역사, 차량기지 등의 자료는 “자기부상열차 설치 사업” 및 리니모와 무인경전철 등에 대한 국내외 자료를 활용하여 서브시스템 수준의 사양에 대한 자료를 수집하였다.

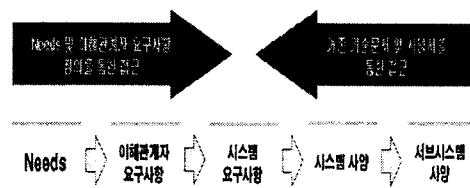


그림 5 시스템 요구사항 정의에 대한 양방향적 접근

Fig. 5 By directional approach for system requirement definition

상세수준의 기술자료에서 시스템 수준의 사양 및 요구사항을 도출하는 과정은 “답”을 보고 “문제”를 유추하는 것과 상당히 유사하다. 그림 3에서 살펴본 바와 같이 사양은 요구사항에 대한 해결방안(solution)의 성격을 갖기 때문이다. 이와 같은 활동이 단순한 유사·경쟁시스템의 참조와 다른 점은 기개발된 시스템 또는 유사·경쟁시스템의 기술요소를 단순 참조하는 것이 아니라 그렇게 개발된 근거를 판단하고 그에 대한 대안을 새롭게 정의한다는 점에 있다. 예를 들어 유사·경쟁시스템의 실내 승객 손잡이가 다양한 높이로 구성되어 있을 경우, 이에 대한 적용을 검토하기보다 실내 승객 손잡이에 대한 불편 해소를 요구사항으로 도출하고 이에 대한 해결방법을 새롭게 모색할 수 있는 기회를 마련하는 것이다. 또한

Top-down 접근을 통해 도출된 시스템 요구사항 보완하여 이를 명문화하는 의미도 있다.

이러한 다양한 관점에서 요구사항이 완전하게 도출되었는가를 확인하기 위해 시스템 엔지니어링 표준에서 제시하는 시스템 요구사항의 카테고리를 활용할 수 있다. MIL-STD-961D와 같은 표준에는 시스템의 생명주기에 따른 여러 관점에서 요구사항 항목들을 분류하여 놓고 있다.

번호	분류	제목	내용	주제	주소
1	기초	기초	기초	기초	기초
2	기능	기능	기능	기능	기능
3	설계	설계	설계	설계	설계
4	운영	운영	운영	운영	운영
5	제작	제작	제작	제작	제작
6	설비	설비	설비	설비	설비
7	환경	환경	환경	환경	환경
8	제작 및 운				
9	설비 및 환경				
10	기능 및 제작				
11	기능 및 환경				
12	설비 및 환경				
13	설비 및 제작				
14	설비 및 기능				
15	설비 및 기능 및 환경				
16	설비 및 환경 및 기능				
17	설비 및 기능 및 환경				
18	설비 및 기능 및 환경 및 제작				
19	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능
20	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능 및 환경	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능 및 환경	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능 및 환경	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능 및 환경	설비 및 기능 및 환경 및 제작 및 기능 및 환경

그림 6 사양서 양식에 맞게 도출/재정리된 요구사항 사례

Fig. 6 Requirements examples derived & rearranged by format of specification

본 차례에서는 위에서 제시한 자기부상열차 시스템에 맞게 조정된 시스템 사양서에 따라 초기 요구사항들을 도출하였다.(그림 6) 이러한 작업의 목적은 규격서에 제시된 각 요구사항 항목에 따라 시스템 요구사항들을 일부 제시하여, 시스템 개발에 관여하는 모든 이해관계자들이 모든 관점에서 빠뜨리지 않고 올바른 요구사항을 도출할 수 있도록 예를 제시하는데 있다.

### 2.3.2 개발자 및 운영기관의 협의 유도

운영기관은 통상 개발사업에 직접 참여하지 않기 때문에 시스템 개발 활동에 의사를 개진할 수 있는 기회가 제약된다. 앞서 살펴봐와 같이 철도시스템에서 운영기관은 이해관계자 중 가장 중요한 획득자이며 사업의 성공여부에 깊은 관여를 한다. 운영기관은 기술개발에 대한 비전문인력이기 때문에 시스템에 대한 기술적인 논의를 함에 있어 한계가 있다.

이러한 문제점은 시스템 요구사항 정의 활동에 운영기관을 참여시킴으로서 해결될 수 있다. 시스템 요구사항을 통해 개발자와 운영기관은 시스템의 상위 수준에 대한 구체적인 비전을 공유할 수 있기 때문이다. 이와 같이 운영기관과 시스템 전 분야의 개발자가 사업 초기 시스템 요구사항 정의 단계부터 같이 참여하는 동시공학적(concurrent engineering) 활동은 요구사항 미합의로 인해 사업 후기 운영상의 문제 및 설계변경요구의 발생 가능성을 억제하는 역할을 한다.

## 3. 결 론

시스템 요구사항은 시스템의 설계, 제작, 시험, 운영에 대한 근간을 형성하고 크고 작은 기술·비용·시간적 제약을 유발하기 때문에 시스템 개발의 성공적인 수행을 위해 사업 초기에 정의될 필요가 있다. 본 연구에서는 시스템 요구사항 정의 업무에 대한 기본철학을 확립하기 위해 해외 연구자료 및 시스템 엔지니어링 표준자료를 토대로 요구사항에 대한 의미를 정의하고 요구사항과 시스템 요구사항, 사양의 개념과 관계를 정리하였다.

또한 도시형 자기부상열차 실용화사업의 시스템 요구사항을 정의하는 과정에서 얻은 경험을 바탕으로 대부분

의 사업에서 초기 요구사항에 대한 기본자료가 미비한 점과 요구사항 정의에 대한 충분한 시간이 주어지지 않는다는 점, 기개발 기술에 대한 반영 기회가 부족하다는 점 등을 현실적인 제약사항으로 제시하였다.

시스템 요구사항 정의 활동의 현실적 제약사항에 대한 해결책으로서 시스템의 Needs 및 이해관계자 요구사항 정의를 통한 Top-down 접근방법과 기존 시스템의 기술문서나 사양서로부터 상위 수준의 요구사항을 역추적해 나가는 Bottom-up 접근방법을 동시에 활용하는 양방향적 접근방법을 제시하였으며 상위 수준의 요구사항을 역추적하고 정리하는 방안을 제시하였다. 또한 성공적인 시스템 개발을 위해 시스템 요구사항 정의 단계에서 운영기관 및 모든 개발자가 참여하는 동시공학적 활동의 필요성을 언급하였다.

## 【참 고 문 헌】

- [1] Buedo, D., The Engineering Design of Systems, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 51, 301, 2000.
- [2] Benjamin, S. Blenhard, Systems Engineering Management, JOHN WILEY & SONS, USA, pp. 36, 1998
- [3] Martin, J., Systems Engineering Guidebook: A Process for Developing Systems and Products, CRC Press, USA, pp. 62~63, 75~76, 77, 1996