

# 자동열차제어장치 요구사양도출에 관한 연구

## A Study on The Requirement Development for Automatic Train Control System

이종우<sup>1)</sup>  
LEE Jongwoo

김용규<sup>2)</sup>  
KIM Youngkyu

신덕호<sup>3)</sup>  
SHIN Ducko

---

### ABSTRACT

Requirement engineering is being highly required for developing a new system nowadays because systems become more and more complex. System engineers require clear and distinct user requirement to avoid mistakes taking place and mitigate the risks such as over cost, schedule delay, and performance degradation during system engineering activities. The exact requirement elicitation makes it possible to develop a system to meet users' need. In this paper, we presented a process and methodology to develop requirements for application to Automatic Train Control System. In the methodology and process presentation, we presented a key word to elicit requirements and showed how to analyze and validate the given requirements for ATC system.

---

### 1. 서론

새로운 시스템을 개발하거나 기존의 시스템을 개량할 때 대상시스템에 대한 개발 혹은 개량 목표에 대한 명확한 제시가 필요하다. 프로젝트가 진행되어 감에 따라서 대상 시스템의 개발 및 개량의 프로젝트 목표가 변경되는 경우에는 많은 비용의 지출, 기간의 연장 및 원하는 성능미달 등이 발생되어 성공적인 프로젝트를 완료하기가 어렵다. 정확한 요구사항의 생성은 프로젝트의 성공적인 달성에 매우 중요한 요소 중의 하나이다.

시스템을 개발하기 위한 요구사항은 “사용자가 원하는 기능을 수행하는 시스템이 어떠한 것인가”를 정의하는 것이다. 사용자가 원하는 시스템은 시스템의 기능, 시스템제품종류, 시스템의 라이프사이클, 품질요소, 성능, 운용환경 및 비용, 일정, 기술 등 여러 가지의 제약사항을 포함하고 있다. 일반적으로 사용자의 요구사항은 명확하게 정의되는 경우도 있지만 대부분의 요구사항은 불명확, 누락, 중복 상호충돌, 혹은 기술적으로 실현 불가능한 사항 등을 포함하고 있는 경우도 있다. 또한 요구사항이 개발하려는 시스템의 전체적인 내용을 기술하기보다는 필요한 일부분만을 기술하는 경우가 종종 있다. 사용자에게 의해서 정확한 요구사항이 생성될 경우는 시스템 개발에 비용, 일정을 단축할 수 있으며 및 원하는 성능을 얻을 수 있다.

개발자는 요구사항에 따라서 시스템엔지니어링(SE: System Engineering)의 절차에 따라 SE활동을 수행하여 최적의 설계안을 생성한다. 정확한 요구사항을 생성은 시스템엔지니어가 SE활동을 원활하게 하여, 비용, 시간을 절약하며, 성능에 대한 모호성을 없앤다. 시스템엔지니어가 SE활동을 시작하기 전에 요구사항엔지니어는 정확한 요구사항을 생성하는 것이 필요하다. 정확한 요구사항의 생성은 요구사항도출, 요구사항분석 및 조정, 요구사항검증에 의해서 얻어질 수 있다.

본 논문에서는 요구사항 생성절차와 이 절차에 따라서 자동열차제어장치의 요구사항을 도출하였다.

---

1) 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원  
2) 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원  
3) 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

## 2. 시스템 개발을 위한 요구사항 항목

사용자에 의해서 작성되는 요구사항은 기능, 성능, 운용시나리오, 효율성, 제약조건, 개발특성, 시스템의 경계, 시스템 인터페이스, 사용환경정의, 운영모드정의 및 인적요소고려 등으로 나타내어진다.

기능적 요구사항은 시스템 수행하여야 할 기능에 대해서 정의를 한다. 전후기능분석을 분석을 통하여 기능을 도출하고, 기능을 세분화하여 여러 가지 설계대안을 갖도록 하며, 각 기능에 대한 성능을 정의한다. 성능요구사항은 각 기능에 대해서 성능요구사항을 정하며, 효율성의 측정값에 의해서 표시된다. 효율성 측정값으로는 안전성, 운전성, 사용성, 정비성, 훈련시간, 운전비용, 작업량, 인간의 숙련도 등에 대해서 명시한다. 운용시나리오는 시스템 활용범위를 정의하며, 각각의 운용시나리오에 대해서 환경과 다른 시스템과의 인터페이스, 인간작업의 몫과 작업의 연관성 및 물리적 인터페이스가 포함된 시스템인터페이스가 정의된다. 제약조건에서는 시스템을 개발하기 위한 자원, 비용 및 가격 및 개발일정 등을 포함한다. 시스템의 경계는 설계범위 내와 밖으로 구분되며, 설계범위 내에서는 시스템 요소간, 외부와 시스템과의 상호작용에 대한 경계를 정의한다. 시스템의 인터페이스는 외부 및 상위단계, 시스템상호작용, 운용설비, 인간, 제품, 기계 및 전기적 I/F, 온도, 데이터, 통신절차, man-machine, 기타 상호작용에 대한 것이 정의된다. 사용환경은 사상위험, 상습질병, 불구, 효율성 저하, 일기조건, 지형, 생물, 시간 및 발생환경 등에 대한 범위를 언급한다. 운전모드의 정의는 운용모드, 환경적, 구성 및 운용을 포함하는 운전모드결정조건에 대해서 나타낸다. 마지막으로 인적요소는 설계공간의 크기, 기후제약, 눈움직임, 미치는 거리, 인간공학, 인지도한계 및 사용도에 대해서 정의한다.

시스템을 개발하기 위한 요구사항의 세부적인 항목에 대해서 언급하였다. 위에서 언급된 항목은 개발하려는 각각의 시스템에 대해서 새로운 항목을 추가하거나 삭제하여 사용한다. 도출된 요구사항은 상호 중복성과 모순성이 없어야 하며, 누락항목이 없어야 만 정확한 요구사항이 된다.

## 3. 요구사항생성절차

요구사항을 도출하기 위해서는 기존 시스템의 정보, 관계된 사람의 필요사항, 관련된 규격, 규정 및 관련된 분야의 정보 등을 필요로 한다. 요구사항도출절차는 블랙박스로서 나타내어진다. 실제적으로, 시스템 요구사항도출은 관련된 사람의 경험에 의존하는 방법에서부터 분석방법을 이용하는 등의 체계적인 방법을 사용하는 것까지 각각의 상황에 따라 매우 달라진다. 체계적인 방법은 참여된 사람에 의존하는 것이 작지만, 아직까지도 상당부분을 개인판단에 의존하고 있다. 요구사항도출 절차에 기술적 성숙도, 관련전공분야, 조직문화 및 적용분야 등과 같이 여러 가지요소들이 고려된다.

고속철도나 원자력발전소 같이 복잡한 시스템에서 사용되는 복잡한 H/W와 S/W의 요구사항과 개인용 컴퓨터의 요구사항과는 다르다. 그러나 일반적으로 그림 1과 같이, 요구사항도출절차는 요구사항 찾기, 요구사항분석 및 절충, 요구사항문서화 및 요구사항검증으로 이루어진다.

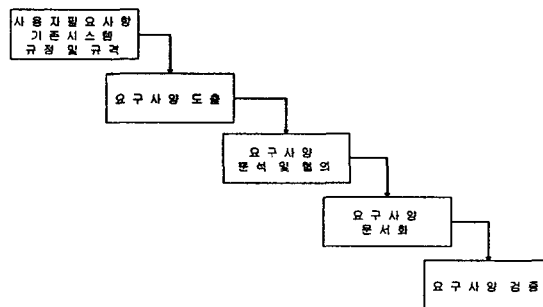


그림1. 요구사항도출절차

### 3.1 시스템요구사항도출(System Requirement Elicitation)

요구사항도출은 단순히 요구사항 엔지니어가 기존 사용자의 지식을 찾아내어 문서화하는 작업이

다. 그러나 실제로는 상당히 복잡한 과정을 포함하고 있다. 시스템 사용자들은 요구사항에 대해서 분명한 구성을 가지고 있지 못하며, 같은 조직 내에서도 상호 모순된 요구사항을 요구하거나, 기술적이 제약이 있는 요구사항을 요구한다. 요구사항도출은 단순히 요구사항을 수집하는 것이 아니고, 시스템 개발에 관련된 모든 사용자 및 시스템 개발자가 참여하는 결정하는 아주 복잡한 절차이다.

시스템요구사항은 적용분야의 이해, 문제본질의 이해, 상업적 목표 및 시스템관련자의 필요 및 제약사항에 대한 이해를 하는 절차의 반복수행으로 얻어진다.

요구사항도출은 시스템 적용분야, 해결해야되는 특별한 문제, 시스템 구매 및 시스템 관련자의 특별한 요구사항 등에 대한 정보 등을 수집하는 것이다. 요구사항 엔지니어가 이와 같은 정보를 수집하기 위해서 여러 가지 방법을 사용한다. 수집된 정보는 활용할 수 있도록 체계화되어야 한다. 체계화 방법은 그룹화, 추상화 및 프로젝트의 3가지 방법이 제시되었다[4]. 그룹화는 요구사항정보를 각각 부분별로 기술되고, 상호통합관계로 표시하는 방법이고, 추상화는 얻어진 정보를 특별한 예를 추상적인 구조로 표시하는 방법이고, 프로젝트는 한가지 사실에 대해서 다양한 측면에서 나타내는 것이다.

2장에서 언급된 항목을 기준으로 하여 개발하려는 시스템에 대해서 관련자의 의견을 취합하여, 항목의 가감과 각 항목에 대한 기준을 설정한다.

### 3.2 요구사항분석 및 협의(Requirement Analysis and Negotiation)

요구사항분석 및 협의는 도출된 시스템요구사항에 대한 문제점을 찾아내어 모든 관련자가 만족하도록 변경을 하여 동의하도록 하는 행위이다. 요구사항분석 및 협의는 전문가에 의해서 생성된 요구사항을 면밀하게 검토를 필요로 하여 많은 시간과 비용을 필요로 하는 작업이다. 이 작업은 자기 다른 전문가에 의해서 자기 다른 방법으로 수행되기 때문에 체계화 및 구조적 절차로 정의하기는 어려우며, 전적으로 프로세스 참여자의 경험과 판단에 의지된다.

요구사항분석을 원활히 하기 위해서는 체크리스트를 이용하는 방법이 있다. 체크리스트는 검토해야 할 항목을 제공하고, 검토항목이 누락되지 않도록 하기 때문에 요구사항분석에 매우 유용하다. 체크리스트 항목이 너무 전문적이면, 활용분야가 적어지기 때문에 일반적인 내용이어야 한다. 체크리스트 항목으로는 설계의 성숙도, 여러 개의 항목이 포함된 요구사항, 불필요한 요구사항, H/W의 비 표준품 사용, 상업목적의 일치, 요구사항의 모호성, 현실성, 시험성 등이 있다.

복잡한 시스템은 많은 관련자들이 있고, 그 관련자의 일부는 시스템 요구사항에 동의하지 않을 수 있으며, 다른 시스템 기능에 대해서 우선순위를 서로 다르게 정할 수 있다. 요구사항협의는 충돌사항을 협의와 모든 관련자 동의하도록 하는 결과를 도출하는 것이다. 최종요구사항은 시스템의 개발을 위해서 자기 다른 관련자의 요구사항, 설계 및 적용 제한조건, 예산 및 일정에 대한 것에 대한 타협안이다.

### 3.3 요구사항검증

요구사항검증은 알려진 미비점과 불일치를 제거한 모든 요구사항이 포함된 최종문서를 검사하는 것이다. 요구사항검증에서는 품질규격에 부적합, 부실하게 기록된 불명확한 요구사항, 시스템의 모델 혹은 해결해야 할 문제에서의 오류, 분석프로세스에 발견되지 않은 요구사항의 충돌사항 등을 찾아낸다.

요구사항검증의 주요문제는 검증 근거가 되는 문서가 없다는 것이다. 설계 혹은 프로그램이 사양에 대해서 검증이 되어야 한다. 그러나 어떤 다른 시스템에 대해서 요구사항이 맞다는 것을 검증할 길이 없다. 따라서 사양검증은 요구사항문서가 설계와 설치에 대해서 분명한 기술했다는 것을 나타내는 것이다.

요구사항의 검증에 사용되는 방법으로 요구사항검토가 있다. 여러 사람들이 요구사항을 읽고, 분석하여 문제점을 찾아내고, 토의를 통하여 문제를 해결하는 방식이다. 요구사항에 검토에서의 체크리스트의 사용은 검토를 수월하게 한다. 체크리스트의 항목으로는 이해성, 이증성, 완벽성, 모호성, 일치성, 체계성, 규격과의 일치성 및 추적성 등을 사용할 수 있다.

#### 4. 자동열차제어장치요구사항도출

##### 4.1 자동열차제어장치

자동열차제어장치는 열차가 안전하게 운행할 수 있도록 열차의 속도를 제어하는 장치이다. 300km/h로 주행하는 고속열차에 사용되는 자동열차제어장치에 관한 요구사항을 도출하기로 한다.

##### 4.2 자동열차제어장치요구사항도출

자동열차의 요구사항을 도출하기 위해서는 2절에서 언급한 요구사항항목 중에 기능 및 성능요구사항, 운용시나리오 및 시스템의 경계에 대한 요구사항에 대해서 검토를 하였다.

##### - 운용조건

열차의 상업운전속도는 300km/h 이며, 여러 대의 열차가 같은 방향으로 동시에 운행이 된다.

##### - 기능설정

자동열차제어장치의 기능은 그림2에 표시된 것처럼 열차검지, 열차속도검지, 열차속도계산, 열차속도정보전송, 열차상태검지 및 선로상태검지 기능으로 구성되어있다. 열차검지기능은 선행열차의 위치를 검지하며, 검지는 지상장치에 의해서 검지를 한다. 열차속도검지는 차상장치에 의해서 검지되며, 현재 주행속도를 현시한다. 열차허용주행속도계산 기능은 선행열차의 위치, 열차상태 및 선로상태를 검지하여 열차가 안전하게 주행할 수 있는 허용속도를 계산하며, 장치는 지상에 설치된다. 계산된 속도정보를 지상에서 차상에 전달하며, 이 장치는 지상에 설치된다. 열차허용속도를 지상에서 수신하여, 차상에 현시하고, 현재주행하고 있는 속도와 비교를 하여, 열차가 허용속도 이상이면 제동을 체결한다. 열차상태검지장치는 열차의 차축온도와 열차에 낙하물이 있는가를 검지하여, 이상이 있는 경우는 열차의 주행속도를 제한한다. 선로검지장치는 선로에 침입물이 있는가를 검지하여, 침입물이 있는 경우는 열차속도를 제한한다.

기능적요구사항		성능요구사항(열차검지)	
	기능		성능
	열차검지 : 지상검지		성능: 열차검지반응시간
	열차속도검지 : 차상		안전성: Fail safe 기능
	열차속도계산 : 지상		운전성: 자동작동
	열차속도전송:지상차상		사용성: 24H/24H, 7days/7days
	열차속도제어:차상		정비성: 5분 이내
	열차상태검지:지상		훈련시간: 해당사항없음
	선로상태검지:지상		운전비용: 10000원/년/장치
			작업량: 자동작동
			사람의 숙련도: 자동작동

그림2. 자동열차제어장치의 기능과 기능별 성능

##### -운용시나리오

운용시나리오는 각 기능을 이용하여 자동열차의 기능을 어떻게 사용하는 가를 나타내는 것이다. 운용시나리오에서는 각각의 운용의 시나리오에 대해서 자동열차제어장치가 주위환경과 다른 시스템, 인간 몫과 동작순서, 다른 시스템과 물리적으로 어떻게 연결이 되는가를 나타낸다. 운용시나리오는 정상적인 모드, 고장모드, 수동모드에 대해서 그림3에서 간략하게 나타내었다. 정상적인 운용모드는 열차검지, 일기환경검지, 열차상태검지 및 선로상태검지를 통하여 열차가 주행조건을 제시하고, 열차허용속도장치에서 최대허용속도를 계산한다. 허용속도정보를 차상에 전송을 한다. 수신된 속도정보를 이용하여 열차속도를 감시를 하여, 열차속도가 제한속도이상으로 주행을 하면은 제동을 체결을 한다. 고장모드는 열차가 허용속도이하로 주행하도록 사전에 설정된 속도를 전송하거나, 속도정보를 전송하지 안음으로써, 차상장치가 속도정보를 얻지 못하므로 열차가 운행할 수 없도록 한다. 또 다른 고장모드는 차상신호장치가 고장이 발생하여서, 차상장치를 분리시켜, 긴급 구난을 위한 운전을 할 수 있도록 한다. 수동모드는 일부 구간을 강제적으로 속도를 제한하거나, 차상장치에서 차상장치를 분리시켜,

수동으로 운전을 하는 것으로 일정속도이상 운전을 할 수 없도록 하는 것이다.

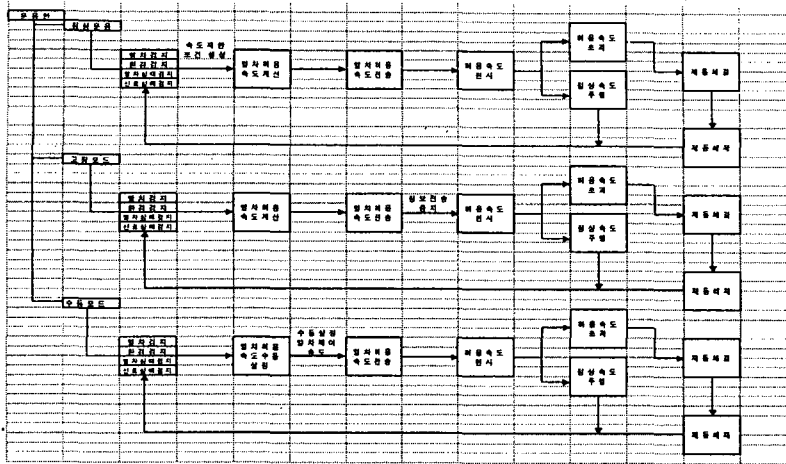


그림3. 자동열차제어장치의 운용시나리오

**-시스템 경계**

개발시스템의 경계는 시스템을 직접적으로 설계하는 분야와 제어범위 밖에 있는 것을 경계로 한다. 설계를 해야하는 시스템 요소와 상위/외부와의 상호작용 및 시스템과 경계 밖의 시스템과 간의 상호작용을 정의한다. 자동열차제어장치의 개발시스템의 경계는 그림4와 같다.

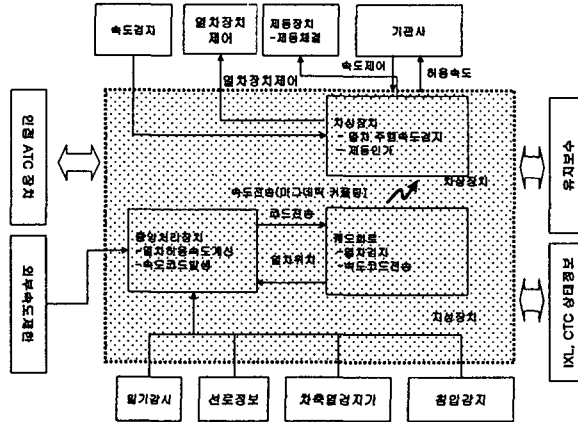


그림4. 자동열차제어장치의 개발범위

자동열차제어장치는 경계부분에서 외부장치인 일기감시, 선로정보, 차측열검지기 및 침입감지장치로 상태정보를 획득하고, 인접 자동열차제어장치로부터 열차위치정보, 유지보수 장치 혹은 연동장치/집중제어장치로부터 속도제한정보, 및 속도감지장치로부터 속도를 입력으로 받는다. 자동열차제어장치의 출력은 차상컴퓨터 장치로 허용속도정보, 열차속도가 허용속도를 초과했을 경우에 제동장치로 제동명령의 출력한다.

**- 시스템설계**

개발 시스템의 구현은 가능한 컴퓨터를 이용한 시스템과 통신을 기반으로 한 시스템으로 하여, 환경변화에 따라 시스템의 기능을 확장할 수 있어야 한다.

- 시스템증명

시스템의 안전성과 신뢰성은 자동열차제어장치가 운용되는 현장조건에서 안전성은 개발된 제품의 안전성과 신뢰성은 공인된 제3기관의 검증을 받는다.

- 개발일정

시스템의 개발기간은 사업 시작 일로부터 12개월로 한다.

4.3 자동열차제어장치의 요구사항(안)

본 논문에서는 상세한 자동열차제어장치의 요구사항 대신에 요구사항의 대표성을 갖는 단순화된 요구사항을 다음과 같이 제시하였다.

- R1. 300km/h로 상업운전을 하는 열차의 속도제어장치를 개발한다.
- R2. 열차속도제어는 선행열차의 위치, 열차의 상태, 선로의 상태, 일기조건을 고려하여 열차가 안전하게 운행하도록 하여야 한다.
- R3. 자동열차제어장치의 작동은 그림 3과 같이 작동이 된다.
- R4. 시스템의 경계는 그림 4와 같다.
- R5. 시스템은 프로그램이 가능한 시스템으로 구성을 한다.
- R6. 시스템의 안전성과 신뢰성은 각각 위험측 고장율이  $10^{-9}$ /회 이하 이여야 하며, 신뢰성은  $10^{-6}$ /회 이하이어야 한다.
- R7. 시스템의 검증은 공인된 제3기관을 통하여 시스템의 안전성과 신뢰성을 검증한다.
- R8. 시스템의 개발기간은 12개월 이내로 한다.

4.4 자동열차제어장치의 분석 및 합의

도출된 요구사항을 이용하여 요구사항의 분석과 관련자의 합의를 도출하기 위해서 표1과 같은 것을 작성하였다. 각각의 요구사항과 체크리스트를 비교를 하여, 불완전한 요구사항을 완전하게 하도록 한다.

표1. 요구사항분석 및 합의 위한 체크리스트

요구사항 체크리스트	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
미성숙 기술이 용한 설계					H/W 및 S/W 의 기술구현 가능성	신뢰성/안전 성 기술확보 여부	시험설비의 구비현황	
특합적인 요구사항		기능요구사항 이 복합적으 로 명시됨	기능의 중복 성 존재	복합적인 시 스템경계표시		신뢰성과 안 전성의 분리 취급		
불필요한 요구사항				시스템의 경 계가 이종으 로 표시됨				
모호한 요 구사항	개발시스템이 명확하게 명 시되지 않음		운용모드의 정의가 모호 함	시스템경계의 불분명	H/W 및 S/W 의 사양의 명 시되지 않음		제3기관의 기 준	개발시점이 표시되지 않 음
요구사항 실현성			운용모드가 너무 복잡함	임의적인 시 스템경계	기존시스템에 적용여부	안전성/신뢰 성 기준이 가 속함		개발기간의 적절성
요구사항 시험항목				일출력 시험 항목설정 어 려움		안전성 및 신 뢰성의 항목 미비	공인된 검증 기관의 존재 유무	

4.5 자동열차제어장치요구사항검증

자동열차제어장치의 검증은 다양한 관계자의 검토에 의해서 결정된다. 요구사항의 검증기준이 없기 때문에, 요구사항의 검증은 설계와 설치에 대해서 분명하게 기술을 하였는가를 검토하는 것이다. 검증을 위한 체크리스트를 표2에서 나타내었다.

표2. 요구사항검증 위한 체크리스

요구사항 체크리스트	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8
이해도	ok	ok	ok	ok	H/W와 S/W 의 종류와 선의 특성에 대한 이	ok	신뢰성과 영 진성 및 자 관외의 자 신, 중요	ok
중복성	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
완벽성	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
모호성	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
일치성	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
체계성	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

표 2에서는 체크리스트를 이용하여 요구사항을 검증하였다. 자동열차제어장치의 간략화된 요구사항을 분석, 합의 및 검증을 수행하였다.

### 5. 결 론

시스템 개발을 위한 요구사항 도출을 위한 절차를 소개하였다. 요구사항 도출, 분석·합의 및 검증을 하기 위해서는 각 개인의 능력도 중요하지만, 규격화된 절차에 따라서 주어진 항목을 채우는 것이 바람직하다. 향후 연구를 통하여 각 분야 특히 고 안전성이 요구되는 철도제어 시스템 분야에서는 관련항목을 도출하여 규격화하는 것이 필요하다.

### 참고문헌

- [1] IEEE std 1220-1998, IEEE Standard for Application and Management Engineering
- [2] INCOSE, 'System Engineering Handbook', 1998
- [3] 이종우, et al., '신호제어시스템 엔지니어링 기술개발', 대한전기학회 1999년 하계학술대회 산업체 특별세 1999.
- [4] G. Kotoya et al, 'Requirement Engineering', John Wiley & Son
- [5] H.A.H. Handley et al, 'Organizational Architecture and Mission Requirements : A Model to Determine Congruence.