

## 성능변수를 고려한 화물용 튜브운송시스템 개념 아키텍처 설계에 관한 연구

최요철<sup>1)</sup>\*,  
SEKOREA<sup>1)</sup>

A study on the Conceptual Architecture design of the Tube  
Transportation System considering performance parameters.

Yo Chul Choi<sup>1)</sup>

1) SEKOREA, #801-1 Dongsun Bldg, 449-860 Sanbon-dong, Gunpo-si, Gyeonggi-do, Rep of KOREA

**Abstract** : In general, an Architecture of a system is embodied as applied results of a requirement analysis of a system in early development phase. These efforts play a important role in analyzing and understanding a system considering operational, functional, and physical view and deriving a correct solution before developing the system. In this paper, the architecture of the Tube Transportation System(TTS) known as the new transportation system in Railway Domain is depicted by performance parameter has already developed. The existing performance parameters are shown by a variety of types with many meanings rather than types of general requirements refined. As these early performance parameters have analyzed and complemented to a level of requirement by requirement managers and other domain specialists, the architecture of the Tube Transportation System was developed systematically and then system requirements will be drawn up definitely. The presented architecture will provide a framework of developing a TTS and also offer an information in performance analysis of TTS.

**Key Words** : Tube Transportation System (TTS; 튜브운송시스템), Performance Parameter (성능변수), Systems Engineering (시스템엔지니어링), Architecture (아키텍처)

### 1. 서 론

인류가 점차적으로 글로벌화 되어감에 따라 문화, 사회, 경제, 지리적인 장벽을 넘어 국가 간 다양한 협력적 노력이 확대 되어 가고 있는 상황에서 문화 교류, 국제 사회화, 균형적인 경제발전, 그리고 국가 간 지리적 교통 연계 등은 글로벌화를 가속화 시키는 중대한 역할을 하고 있다. 국가 간 지리적인 연계 및 자국의 교통체계의 발전을 위해 개발되고 실용화되고

있는 다양한 교통수단은 경제적 활동을 영위하고 인간이 서로 교류하기 위해서 없어서는 안 될 필수적인 요소가 되고 있다. 이에 인류는 현재보다도 빠르고 안전한 교통수단이 필요하게 되었으며, 자국의 효율적이고 경제적인 교통시스템의 발전을 위해 다양한 교통시스템들이 도입되고, 이와 관련된 연구노력은 다양한 국가에서 실행되고 있다. 세계 철도 선진국은

\* 교신저자 : ycchoi@sekorea.re.kr

는이미 속도경쟁에 돌입하였으며, 프랑스 테제베 및 일본의 신간선 철도차량은 시험 시속 550km 이상을 달성하여 인간의 속도에 대한 욕구를 충족시켜주고 있다. 그러나 이러한 철도시스템에 대한 사회적 경제적 욕구를 만족시키기 위해 타당성 및 경제적 분석, 그리고 시스템의 정확한 분석 및 설계가 미흡상태로 도입될 경우 비용 및 일정, 그리고 성능상의 문제가 발생한 사례도 있다. 또한 통합적인 교통체계를 고려하지 못하고 개별적으로 장점을 지닌 교통수단이 필요에 의해 한정된 공간에서 과도하게 증가함에 따라 여러 가지 문제가 발생하고 있으며 점차적으로 심각해지고 있다. 특히, 유동인구가 많은 대도시나 중소도시 간 여객운송 및 물류운송서비스가 발생하는 지역에서는 교통체증, 교통사고, 환경오염문제, 사회적 비용증가 등의 큰 이슈가 발생하고 있다. 교통선진국에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 대안 교통수단으로 튜브운송기술 및 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이에 대한 도입의 필요성에 대해 긍정적인 연구결과가 발표되고 있다.<sup>1</sup> 현재까지 전 세계적으로 튜브운송시스템이 실용화된 국가는 없으나 관련 기술과 소규모의 시제품이 제작되는 등 많은 연구성과가 발표되고 있다. 더욱이 국내의 경우 이에 대한 연구가 진행되고 있는 상황에서 튜브운송시스템에 대한 성능변수 및 목표사양이 연구된 상태에 있다. 그리고 예측 시나리오를 기반으로 운영개념 및 운영요구사항이 개발되었다.<sup>2</sup>

본 논문에서는 튜브운송시스템에 대한 성능변수와 목표사양, 운영개념을 중심으로 시스템 아키텍처를 개발하는 과정 및 결과에 대해 제시하였다. 국제적 또는 국가적으로 실용화를 위한 튜브운송시스템에 대한 연구가 본격적으로 수행될 경우, 많은 연구자들은 이에 대한 운영개념을 기반으로 시스템 아키텍처를 개발해야하는 문제에 직면하게 될 것이다. 그러나 짧은 기간에 고객의 요구 및 사용자 요구사

향, 그리고 시스템의 특성을 고려한 시스템 아키텍처를 도출하는 활동은 매우 난해하며, 많은 시간과 노력이 필요하다. 짧은 개념연구 및 부족한 요구사항 도출 및 분석활동으로 인해 실제 프로젝트가 초기 계획보다 연장되었거나 실패한 사례가 많이 있다.<sup>3</sup> 이러한 점을 감안하여 본 논문을 통해서 특정 운영환경에 필요한 튜브운송시스템의 시스템 요구사항을 개발하기 이전에 먼저 튜브운송시스템을 올바르게 정의하고, 튜브운송시스템을 특징지을 수 있는 성능변수를 고려한 시스템 아키텍처를 개발하였으며, 이에 대한 방법론으로 이미 선진국에서 그 효과성이 입증된 시스템엔지니어링 개발 프로세스를 활용하였다.<sup>4</sup> 본 논문은 1장에서 튜브운송시스템의 필요성, 2장에서는 기 작성된 튜브운송시스템의 성능변수 및 목표사양의 제시, 3장에서는 목표사양을 고려한 튜브운송시스템 아키텍처를 제시하였다.

## 2. 성능변수를 고려한 튜브운송시스템 시스템 아키텍처 도출

### 2.1 성능변수 제시

본 논문에서는 튜브운송시스템의 아키텍처를 개발하기 위해 기 작성된 성능변수의 특징을 살펴보았다. 제시된 성능변수는 현재까지 국외에서 연구되고 있는 6개의 대표적인 튜브운송시스템 연구사례 (CargoCap, TubExpress, ET3, Flextaxi, Magplane, Tubeway)를 분석하여 체계적으로 정리한 것이다. 도출된 성능변수는 개발된 목표사양의 기준이 되었으며, 나아가 시스템 요구사항을 개발하는 기준이 될 것이다. 6개 튜브운송시스템의 수명주기를 고려하여 운영개념뿐만 아니라 주요기능, 그리고 시스템 개발을 위한 주요정보를 식별하기 위해, 사례분석 결과를 프로젝트 일반 정보(Project General Information), 수명주기별 비용(Life cycle cost), 기술적 특성(Technical Characteristics), 그리고 특수분야(Specialty Doma

in) 등 4개 범주로 제시하고, 각 범주에 대해 핵심 성능변수를 기술하여 신 교통시스템에 대한 다양한 정보를 파악하는 개념연구를 수행하였다. 나아가 분류체계별 핵심성능변수(Key Performance Parameter)를 도출하고, 각 성능변수별 지수(Index)를 찾아냈다. 각 성능변수별 지수는 향후 작성되는 요구사항의 표현단위 및 크기를 결정하는 기준이 된다. 다음 Table 1은 튜브운송시스템의 기술적 특성에 대한성능변수의 도출 예를 나타내고 있다. 튜브운송시스템의 전체 성능변수는 총 128개가 도출되었다.<sup>5</sup>

Table 1 Technical Characteristics

	성능 변수	설 명	성능 지수
1	선로 구축물	물리적 구조 에서 선로 (튜브)와 관련된 선로구 축물에 대한 변수이다.	N/A
2	화물 수송량	시간당 화물수송량을 나 타내는 변수이다.	ton/h
3	편성당 캡슐수	편성을 구성하는 캡슐수 를 나타내는 변수이다	개수/ 편성
4	적재 하중	캡슐 당 여객/화물 적재하 중을 나타내는 변수이다.	kg/캡 슐
5	튜브 재질	튜브의 재질을 나타내는 변수이다.	c/s

## 2.2 목표사양 제시

제시한 분류체계 및 성능변수, 그리고 성능지수를 활용하여 사례로 화물용 튜브운송시스템의 운영개념 및 운용요구사항을 고려하고, 사례로 화물용 튜브운송시스템 개발 및 운영에 필요한 목표사양을 프로젝트 일반정보와 관련된 성능변수 4개, 생명주기비용과 관련된 성능변수 2개, 기술적특성과 관련된 성능변수 13개, 특수분야와 관련된 성능변수 7개 등 모두 28개의 성능변수를 기반으로 시스템의 목표사양으로 정하였다.<sup>6</sup> 제시된 목표사양은 사례연구를 기반으로 튜브운송시스템

의 전문가의 지식 및 논문의 내용을 기반으로 비교적 정확하게 작성된 것이며 향후 화물용 튜브운송시스템 개발 프로젝트에서 실제적인 목표사양을 정하는데 유용할 수 있다. 튜브운송 시스템 목표사양은 기술개발의 준거로서, 시스템 개념설계의 지표가 될 수 있으며, 시스템 목표사양을 토대로 각종 요소기술의 개발에 있어 경제조건 설정의 근거가 될 수 있다.

## 3. 성능변수를 고려한 튜브운송시스템 시스템 아키텍처 개발

### 3.1 성능변수 및 목표사양 문서화

본 논문에서 채택한 아키텍처 구축 기법은 시스템엔지니어링 개발 프로세스를 준용하여 진행하였다. 고객의 요구로부터 출발하여 요구사항 분석, 기능분석 및 할당, 그리고 설계조합의 과정으로 구성된 개발 프로세스를 의미한다. 요구사항 분석을 통해 요구사항 계층구조가 정립이 되고, 상위 시스템 및 시스템 수준의 기능 분석을 통해 기능 아키텍처가 개발이 된다. 또한 이러한 과정에서 기능 간 인터페이스가 도출된다. 마지막으로 설계조합 과정을 통해 식별된 기능을 수행하는 상위 시스템과 시스템 수준의 구성요소를 식별하여 물리적 아키텍처를 완성한다. 최종적으로 요구사항-기능아키텍처-물리 아키텍처의 추적을 통해 일관성 있는 시스템 아키텍처를 구축할 수 있다. 먼저 튜브운송시스템의 아키텍처를 개발하기 위해 분석 및 문서화된 성능변수와 목표사양을 전산지원도구를 활용하여 데이터베이스화하였다. 본 논문에서 사용한 전산 지원도구는 CORE<sup>®</sup>를 사용하였다. CORE<sup>®</sup>는 일반적인 시스템엔지니어링 프로세스와 DODAF2.0을 지원하고 있어 일반적인 시스템의 아키텍처를 개발하는 데 유용하다.<sup>5</sup> 기 연구결과들은 문서로 작성되어 있어 이를 DB화하기 위해 Extractor기능을 활용하여 편리하게 데이터화하였다. 성능

변수와 목표사양간 추적성을 확보하여 일반적인 성능변수가 다양한 목표사양에 활용되고 있음을 보였다. Fig. 1은 DB화 된 성능변수 데이터, Fig. 2는 DB화 된 목표사양 데이터이다.

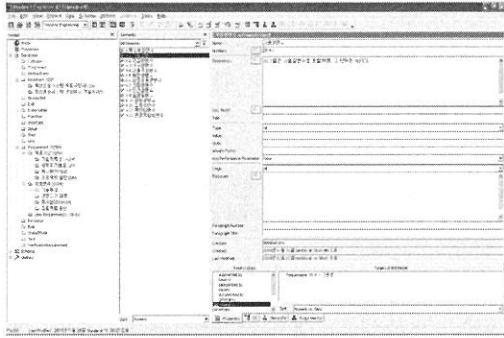


Fig. 1 성능변수 DB화

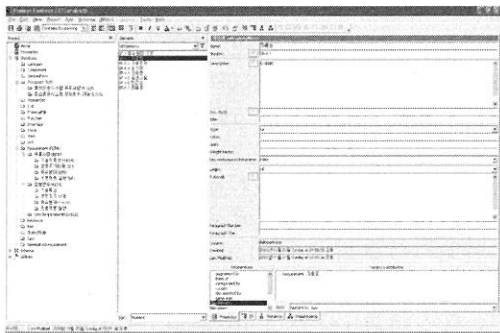


Fig. 2 목표사양 DB화

### 3.2 운영개념도

주요 성능변수를 고려하여 화물용 튜브운송시스템에 대한 목표사양을 기술하고 이를 토대로 운영개념도를 Fig. 3과 같이 도식화하였다. 운영개념도서의 작성을 통해 시스템의 사용자는 누구이며, 사용목적, 사용방법, 그리고 환경조건 등이 파악된다. 상위수준에서 화물용 튜브 운송시스템은 외부전력시스템으로부터 전력을 공급받고, 서비스 운영을 통해서 화물트럭회사, 화물버스회사, 개인용화물비행기, 화물운송용 헬기, 비상조치기관과 정

보를 주고받는 것을 분석되었다. 이러한 운영개념분석을 통해서 시스템이 외부환경과 이루어지는 정보 및 제약사항을 미리 식별함으로써 향후 시스템 개발 또는 운영단계에 발생할 수 있는 문제들을 미리 파악하여 대비할 수 있도록 해주며, 시스템 요구사항 개발의 단초를 제공한다.

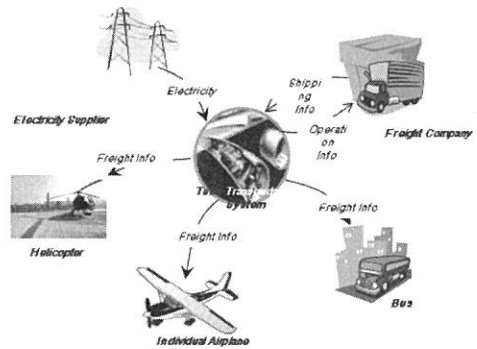


Fig. 3 화물용 튜브운송시스템 운영개념도

### 3.3 사용자 요구사항 계층구조

목표사양 및 운영개념분석을 통해서 사용자 측면의 요구사항을 보다 구체적으로 기술할 수 있다. 사용자는 시스템의 기능적 측면뿐만 아니라, 성능 또는 제약사항 등의 요구사항을 제시한다. 이러한 사용자 요구사항은 목표사양 및 운영개념을 기준으로 작성되어야 하며, 이에 대한 검증과 확인과정을 거쳐야 한다. 작성된 사용자 요구사항은 성능변수 및 목표사양에 추적되어야 하며, 각 요구사항은 분석을 통해 형태, 가중치, 중요성변수(KPP) 여부, 기원, 이론적 근거 등이 구체화 되어야 한다. 또한 하나의 요구사항이 두 가지 이상의 뜻을 지니고 있을 때 이를 분해하여 추적해 주어야 한다. Fig. 4는 목표사양 및 운영개념을 기반으로 DB화된 사용자 요구사항을 나타낸 것이다.

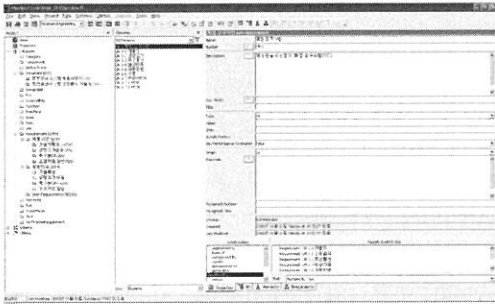


Fig. 4 사용자 요구사항 개발

또한 Fig. 5는 요구사항 다이어그램으로 이는 SysML 2.0에서 요구하는 표준 요구사항 다이어그램이다.

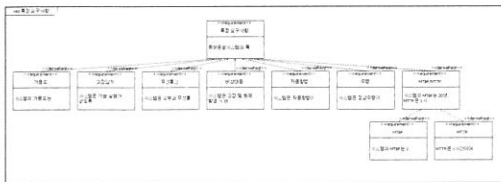


Fig. 5 사용자 요구사항 Requirement Diagram

### 3.4 기능 아키텍처

상기에서 정의된 사용자 요구사항에는 기능요구사항을 비롯하여 성능, 제약사항을 포함하고 있다. 시스템의 주요 기능을 식별하기 위해 먼저 상위의 기능 Context를 운영개념을 바탕으로 Fig. 6과 같이 작성하였다. 튜브운송시스템을 중심으로 7개의 외부기능을 식별하였으며, 입력 및 출력요소를 기반으로 이들의 기능간 인터페이스를 Fig. 7과 같이 식별하였다. 이를 통해 각 구성요소 간 인터페이스 대상, 형태, 범위, 크기, 우선순위, 정확도 등의 특성을 파악할 수 있다. 상위기능은 튜브운송시스템 기능, 외부전력시스템 기능, 화물차기능, 개인화물항공기 기능, 화물버스기능, 헬기 기능, 비상조치기관기능으로 파악되었다.

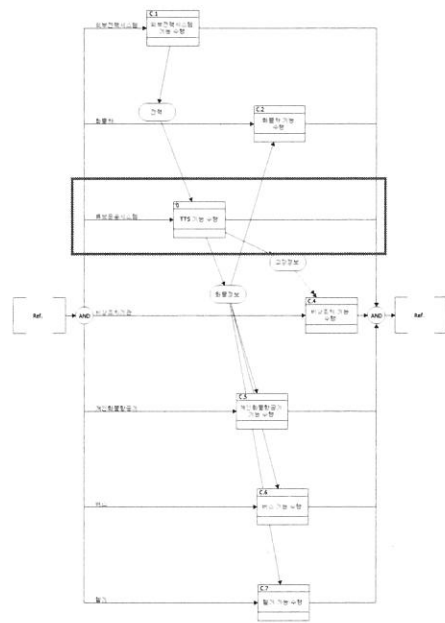


Fig. 6 상위 기능 Context

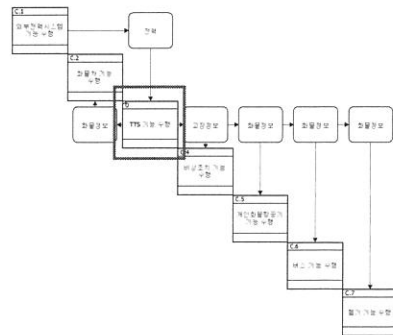


Fig. 7 외부와 시스템간 기능 인터페이스 (N2다이어그램)

다음 Fig. 8은 상기에서 분석된 상위 기능 Context에 대해 튜브운송시스템 부분을 분해하여 나타낸 기능 흐름도이다. 외부로부터 받은 입력을 통해 시스템이 운용되는 과정을 나타내고 있다. 이를 통해 기능이 하위로 분해되고 세부기능 간 주고받는 데이터 등이 단계적으로 식별된다.

튜브운송시스템의 내부 구성요소의 기능간 논리적 정보 흐름을 파악함으로써 향후 물리적 인터페이스를 식별하는데 도움을 줄 수 있다. 또한 Fig. 9는 시스템 구성요소의 인터페이스를 나타낸 것이다.

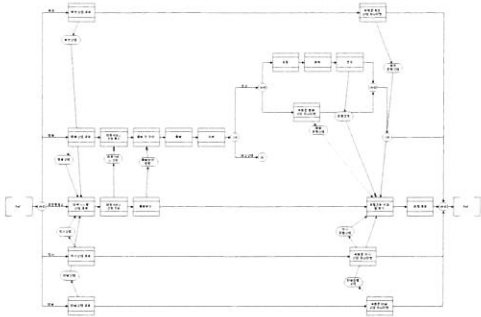


Fig. 8 튜브운송시스템 기능 흐름도

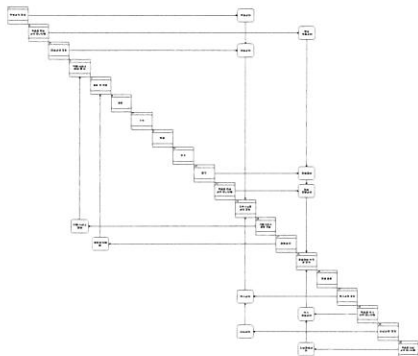


Fig. 9 시스템 기능간 인터페이스

### 3.4. 물리적 아키텍처

외부시스템과 시스템간의 기능 아키텍처 개발이 완료되면 각 기능을 수행할 물리적 아키텍처 개발이 진행된다. 외부시스템을 포함한 상위 시스템 기능분석을 통해서 식별된 기능을 물리적 구성품에 할당한다. 기능 요소와 물리적 요소는 allocated to 관계로 추적(trace)된다. Fig. 10는 외부시스템과 시스템(5개의 하부시스템)의 물리적 구조를 나타내고 있다.

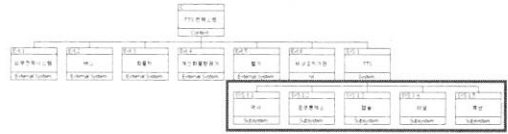


Fig. 10 튜브운송시스템 상위 물리 아키텍처

다음 Fig. 11은 물리적 블록 다이어그램(PBD)으로 외부시스템과 시스템간 상에서 외부시스템과 시스템의 기능간 관계를 N2다이어그램으로 표현하였다면, 물리적 관계는 PBD를 활용하여 나타낼 수 있다. 인터페이스 관계를 나타내는 그림이다. 시스템이 모두 6개의 외부시스템과 인터페이스를 가진다. 또한 Fig. 12는 시스템 내부요소간 물리적 관계를 나타내는 것으로 시스템 내부에는 모듈 5개의 구성요소들이 인터페이스를 이루고 있다.

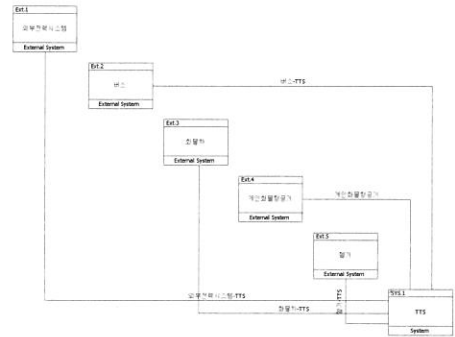


Fig. 11 외부시스템과 시스템 간 PBD

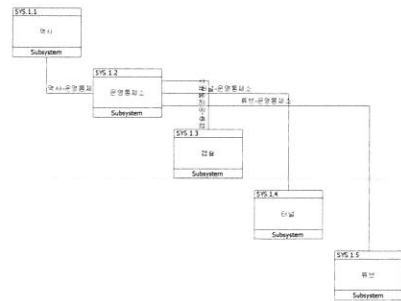


Fig. 12 시스템 내부요소간 PBD

### 3.5 통합 아키텍처

튜브운송시스템의 요구사항 계층구조, 외부시스템과 시스템을 포함한 기능아키텍처 개발, 그리고 각 기능에 대한 물리적 아키텍처를 순차적으로 개발하였다. 이러한 순차적인 접근의 확인 및 올바른 데이터 추적을 통해 설계의 정확도 및 설계의 오류를 미리 판단하고 수정할 수 있다. Fig. 13은 전체 사용자 요구사항 중 주행 요구사항을 기준으로 주행기능, 시스템 및 하부시스템 요소의 추적결과를 CORE에서 제공하는 계층구조 추적 모듈을 통해서 출력한 것이다. 요구사항에서 출발하여 물리적 아키텍처까지 순차적이고 명확하게 추적관계를 형성하고 있다. 이러한 구조화의 중요성을 설계의 변경에 따라 신속하게 대응할 수 있을 뿐 아니라 향후 설계문서의 출력 시 구조화된 문서를 생성할 수 있다.

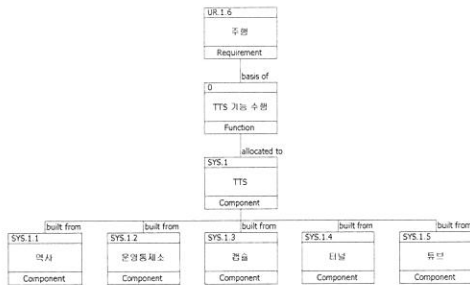


Fig. 13 튜브운송시스템의 통합 아키텍처

### 4. 결론

본 논문에서는 기 작성된 튜브운송시스템의 성능변수 및 목표사양을 분석하고 이를 기반으로 튜브운송시스템의 아키텍처를 시스템엔지니어링 개발 프로세스에 입각한 순차적인 방법으로 요구사항관점, 기능관점, 물리적 관점에서 제시하였다. 하나의 시스템을 개발 시 하나의 관점에 대해 다양한 표현과 다이어그램을 통해서 분석하는 노력은 시스템을 보다 명확하게

이해하고 이를 하부수준으로 분해하는 과정에서 보다 쉬운 접근을 가능하게 한다. 구축된 아키텍처는 향후 시스템 개발의 틀을 제공함과 동시에 시스템의 성능분석 시 정보를 제공할 수 있을 것이다.

### 5. 참고문헌

1. Texas Transportation Institute, "FEASIBILITY OF TUBE TRANSPORTATION TO RELIEVE HIGHWAY CONGESTION", FHWA/TX-00/1803-S, 1998
2. Nam Sung Won, Huck Bin Kwon, Mavris, "A Study on the Tube Transportation Technology, 2008.12
3. H.K. Lee, "A statement of accounts of the government in 2002, pp. 1-10, 2003
4. MIL-STD-499B, "Systems Engineering", DOD, pp 4, 1974
5. H.B. Kwon, J.S. Park, S.W. Nam, and S.K. Choi "A present condition and Vision of the tube Transportation Technology", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 3, p p. 59-71, 2008
6. Yo Chul Choi, Huck Bin Kwon, "A Study on the Categorization System and Performance Parameters for the development of the Tube Transportation System's Requirements", Korean Council On Systems Engineering Review, Vol 1. 5, No.2, pp. 17-26, 2009