

화물용 튜브운송시스템의 운영개념서 및 운영요구사항서 개발에 관한 연구

최요철¹⁾*,
SEKOREA¹⁾

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

Yo Chul Choi¹⁾

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

Abstract : 본 논문은 전세계적으로 신교통시스템으로 연구되고 있는 튜브운송시스템에 대한 개념과 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서 및 운영요구사항의 개발에 관한 것이다. 철도시스템의 개발 초기에 시스템의 정확한 운영개념을 확립하고 이를 기반으로 시스템에 대한 사용자의 명확한 사용자 요구사항 및 운영요구사항을 도출하는 과정은 매우 중요하며, 시스템의 개발 초기 단계 즉 개념설계 단계에서 반드시 수행되어야 한다. 본 논문을 통해서 문헌적인 운영개념서의 형식에 대한 조사, 특징, 그리고 현실적인 운영상황을 고려한 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서를 제안하였다. 운영개념서를 통해서 사용목적, 운영시나리오, 비상상황 등의 정보가 식별하였으며 이를 바탕으로 시스템의 운영요구사항서를 개발하였다. 개발된 운영개념서 및 운영요구사항서는 확인된 사용자 요구사항 및 시스템 요구사항으로 구체화 되며, 시스템 아키텍처의 참고문서로서 활용될 수 있다.

Key Words : Tube Transportation System For Freight (TTSFF; 화물용 튜브운송시스템), 운영개념서 (Operational Concept Documents), 운영요구사항서(Operational Requirement Documents), Systems Engineering (시스템엔지니어링), 신교통시스템(New Transit System)

1. 서론

전 세계적으로 대도시나 중소도시 간 물류운송서비스가 빈번하게 발생하는 지역에서는 화물차량으로 인한 도로교통체증, 인적 및 물적 교통사고 증가, 배기가스로 인한 환경오염, 기타 사회적 비용증가 등의 큰 이슈가 지속적으로 발생하고 있고, 이러한 문제는 물류비용의 증가 등 경제적인 손실뿐만 아니라 도로교통시스

템의 문제점이 부각되고 있다. 상기의 문제점을 해결하기 위한 신개념의 물류교통시스템(New Transit System for Freight)의 필요성이 대두되고 있으며, 이러한 필요성을 인식하고 미국, 독일 등 교통선진국에서는 새로운 대안 교통수단으로 튜브운송기술 및 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이에 대한 도입의 필

* 교신저자 : ycchoi@sekorea.re.kr

요성에 대해 긍정적인 연구결과가 발표되고 있다.¹ 현재까지 전 세계적으로 튜브운송시스템이 실용화된 국가는 없으나 관련 기술과 소규모의 시제품이 많은 연구 성과가 발표되고 있다. 튜브운송기술의 본격적인 연구개발은 1990년대 이후이며, 전 세계 각국에서 다양한 기술적인 시도가 이루어지고 있다. 그 중에서 대표적인 사례로서 화물 운송용으로 개발되고 있는 TubExpress, CargoCap 등이 있다. Fig 1은 대표적인 화물용 튜브운송시스템인 TubExpress의 개념도를 나타내고 있으며, 교통량의 증가와 이로 인한 교통체증의 증가로 인해 화물운송을 주로 담당하고 있는 트럭의 수송 효율성 저하, 물류비용의 증가, 에너지 비용을 증가 등의 문제를 해결하기 위한 대책으로 미국에서 연구되기 시작했다.²

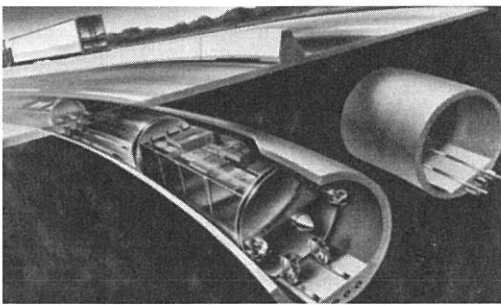


Fig 1. TubeExpress 개념도

국내의 경우 일반적인 튜브운송시스템에 대한 연구가 진행되고 있는 상황이며 튜브운송시스템에 대한 성능변수 및 목표사양이 연구된 상태에 있다. 그리고 예측시나리오를 기반으로 운영개념 및 운영요구사항이 포괄적으로 개발되었다.³ 상기의 운영개념과 운영요구사항은 전 세계적으로 수행되고 있는 튜브운송시스템 연구 사례를 기반으로 하고 있어 이에 대한 분

석을 통해 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서 및 운영요구사항서를 작성이 요구된다. 상기의 연구결과에 대한 분석과 시스템엔지니어링 요구사항 정의 프로세스를 기반으로 하여 화물용 튜브운송시스템에 대한 구체적인 운영개념서와 운영요구사항서를 제시하였다.²⁾ ³⁾ 운영개념서는 시스템 개발의 초기 단계에서 고객 또는 사용자의 요구(needs)를 만족시키는 시스템의 임무 및 운영시나리오를 구체적으로 제시한 문서이며, 이를 기반으로 시스템의 운영요구사항서를 작성하게 된다.



Fig 2. 일반적인 운영개념서 구성내용

본 논문을 통해서 개발한 운영개념서 및 운영요구사항서는 미국의 MIL STD에서 제안하는 양식을 준용하여 개발하였다.⁴ 본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서 화물용 튜브운송시스템의 개요 및 사례, 2장에서는 운영개념서 및 운영요구사항서 작성 양식 개발, 운영개념 사례 제시, 화물용 튜브운송시스템의 운영개념도 및 운영시나리오 제시 등의 운영개념서 및 운영요구사항서의 작성 방안, 3장에서는 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서와 운영요구사항서 개발, 4장에서는 결론, 마지막으로 5장에서는 전산관리 방안에 대해 도식적으로 제시하였다.

2. 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서와 운영요구사항서 작성 방안

시스템엔지니어링 생명주기 프로세스 중 이해관계자 요구사항 정의 프로세스에서는 시스템에 요구되는 모든 서비스를 식별하기 위하여 예상되는 환경 및 운영 시나리오, 지원 시나리오에 대응하는 일련의 대표적인 활동을 정의하도록 하고 있으며, 이러한 내용은 운영개념서를 통해서 구체화 된다.⁵ 이는 사용자와 시스템의 상호 작용을 식별하는데 도움을 준다. 또한 IEEE 1220인 KS표준인 KS X ISO/IEC26702에 따르면 요구사항 분석 단계에서 이해관계자 요구사항 정의, 시스템 경계 정의, 외부 제약사항 정의, 운영 시나리오 정의, 운영 모드 정의 등의 시스템 운영과 관련된 사항들을 식별하고 분석하도록 하고 있다.⁶ 이는 향후 시스템 요구사항을 개발하는 중요한 정보가 되며, 시스템 규격서 작성의 기준이 된다.

2.1 운영개념서와 운영요구사항서 작성 양식

본 논문에서 제시한 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서 및 운영요구사항서의 작성 양식은 미국의 MIL STD에서 제안하는 OCD(Operational Concept Document) 및 ORD(Operational Requirements Document) 양식을 준용하여 개발하였으며, 그 장별 구성내용은 아래와 같다.⁷ 운영개념서는 개발하고자하는 시스템에 대한 요구, 사용자관점의 운용 특성, 시스템 개요, 운영 및 지원환경, 그리고 운영시나리오 등의 항목으로 구성되었다. 운영개념서는 text뿐만 아니라, 시스템엔지니어링 도구를 활용한 상위수준의 계층구조도, 컨텍스트 다이어그램, 그리고 거동 다이어그램 등이 포함되어 작성할 수 있다.

Table 1 운영개념서 작성 양식

장	구성내용
1. 범위	<ul style="list-style-type: none"> 문서의 레이아웃, 각 장에 대한 간략한 설명 시스템 범위 설정 시스템의 개발에 대한 근거와 필요성
2. 참고문헌	<ul style="list-style-type: none"> 관련문헌이나 기술자료 제시
3. 사용자 관점의 운영	<ul style="list-style-type: none"> 시스템에 관련된 사용자와 그들의 행위를 식별하고 절차적으로 기술 조직 및 인력 구성 식별
4. 운영요구	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 하부 요소 관점에서의 시스템 목적/목표 시스템에 대한 요건
5. 시스템 개요	<ul style="list-style-type: none"> 시스템의 범위 및 내/외부 인터페이스
6. 운영 및 지원 환경	<ul style="list-style-type: none"> 시스템의 운영/지원에 관련된 외부 시스템 식별(설비, 장비, 소프트웨어, 구성원, 자원 등)
7. 운영 시나리오	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 사용자 관점으로부터 시스템 운영을 조명 부하(stressed) 및 실패(failure)를 가정한 상황을 상정 시나리오 통합을 통한 시스템 운영 시나리오 도출

시스템운영개념서는 일반적으로 시스템, 하부시스템, 하드웨어 형상품목, 소프트웨어 형상품목, 컴포넌트 또는 기타 항목에 대하여 대상시스템의 사용자는 누구인지, 시스템의 사용목적은 무엇인지, 시스템을 어떻게, 어디에서 사용할 것인지 그리고 전형적인 운영 시나리오는 어떤 것인지 설명하는 문서이다. 특히 특정 임무와 연관된 시나리오는 전형적이고 제한된 사용목적을 표현하는데 적절하도록 선택해야 한다.

Table 2 운영요구사항서 작성 양식

장	구성내용
1. 일반적인 운영능력 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 임무 영역 • 시스템 서술 • 운영개념 • 지원개념 • 임무 요구 기술서
2. 위험	<ul style="list-style-type: none"> • 직면하게 될 위험 • 예측된 위험 환경
3. 현 시스템의 단점	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 시스템의 단점 • 중간 수준 시스템의 단점
4. 요구되는 능력	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 성능 • 물류 및 준비 • 기타 시스템 특성 • 운영 정보
5. 프로그램 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 정비 계획 • 지원 장비 • 휴먼시스템 통합
6. 조직 구조	<ul style="list-style-type: none"> • 조직 구조
7. 일반 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 운영 능력 • 최종 운영 능력

운영요구사항서는 제안된 개념 또는 시스템에 대한 작전 성능 요구사항을 기록한 정형화된 문서이다. 임무 필요를 충족시키기 위한 시스템 능력 요구사항을 초기 사용자운영요구서에 정의하며, 이것은 후반 획득 단계에 있는 평가에 사용된다. 초기 사용자운영요구서에 운영성능 파라미터로 기술된 요구사항은 시스템에 맞게 테일러링되고, 시격, 열차제어, 등판능력, 생존성 등과 같은 시스템 수준의 성능 요구사항에 반영된다.

2.2 화물용 튜브운송시스템의 운영개념 사례 분석

대표적인 화물용 튜브운송시스템인 Tub Express와 CargoCap에 대한 운영개념을 나타낸 표를 살펴보면 시스템의 임무, 운영 조건, 그리고 기능 및 성능요소등 제시하고 있으며, 이를 기반으로 보다 본 논문에서는 구체적인 운영개념서를 개발하였다.

Table 3 기존 튜브운송시스템의 운영 개념

구분	1	2
	TubExpress	CargoCap
개요	도시 간 장거리 화물운송트럭을 대체하기 위한 지하 물류운송	도시 내 지하공간을 이용한 24시간 자동 물류운송
용도	화물	화물
운영 조건	도시 간	혼잡한 도심 내
운행 최고 속도	36km/h	36km/h
시격 /간격	21sec (210m)	N/A
캡슐당 운송량	8 ton	2 ton
시간당 운송량 (편도)	1000ton/hr (70% load factor)	N/A

2.3 운영개념도

기 연구된 화물용 튜브운송시스템의 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 운행을 통해서 화물트럭회사, 화물버스회사, 개인용화물비행기, 화물운송용 헬기, 비상조치기관과 정보를 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.

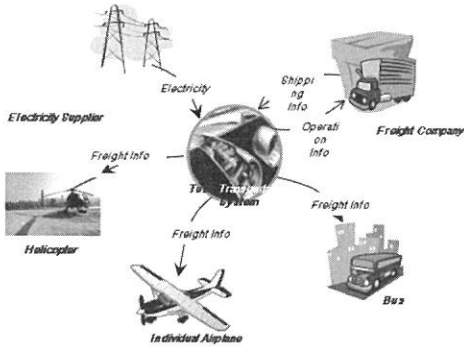


Fig. 3 화물용 튜브운송시스템 운영개념도

2.4 운영시나리오

시스템의 예상 운영 범위를 정의하기 위해 운영 시나리오 개발이 필요하며, 사용자

의 요구를 만족시키는 각 운영 시나리오에 대한 환경 및 그 밖의 시스템과의 예상되는 상호작용, 인간의 작업 및 작업 순서 그리고 인터페이스가 이루어지는 시스템, 플랫폼 또는 제품과의 물리적 상황 연결을 정의하기 위해 외부환경과 시스템, 시스템 수준의 거동을 제시하였다. 이는 향후 시스템엔지니어링 도구를 활용하여 재 도식화 될 수 있다. Fig 4는 Fig 3을 통해 식별된 시스템과 외부요소들의 거동을 데이터를 시간적으로 표현한 다이어그램이다.

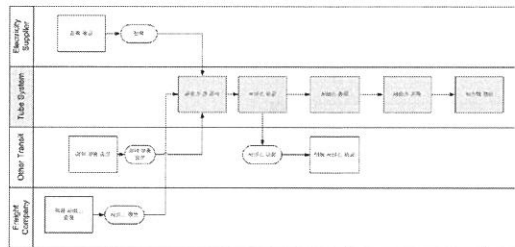


Fig. 4 화물용 튜브운송시스템의 컨택트 수준 거동 다이어그램

Fig 5는 대략적인 화물용 튜브운송시스템의 주요 하부시스템(또는 하부구성요소) 간의 거동을 데이터를 포함하여 표현한 다이어그램이다.

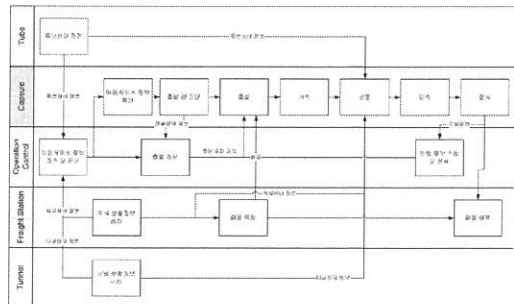


Fig. 5 화물용 튜브운송시스템의 시스템 수준 거동 다이어그램

3. 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서 및 운영요구사항서 개발

3.1 화물용 튜브운송시스템 운영개념서

올바른 운영개념서는 요구되는 시스템의 임무, 사용자 요구사항, 운영 및 지원 환경, 그리고 운영시나리오 등이 잘 서술되어야 한다. 이러한 운영개념서를 통해서 올바른 운영요구사항서를 작성할 수 있다. 상기에서 제시한 Table 1에 따라 작성한 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서를 아래 Fig 6에 제시하였다. 각 항목별 주요 키워드와 특징을 중심으로 운영개념서를 작성하였다. 운영개념서의 구체화를 제고하기 위해 시스템엔지니어링 도구를 활용한 다이어그램 등을 추가하였다.



Fig. 6 화물용 튜브운송시스템 운영개념서

3.2 화물용 튜브운송시스템 운영요구사항서

운영개념서를 통해서 식별된 임무, 사용자 요구, 운영시나리오를 기반으로 Fig. 7같은 운영요구사항서를 작성하였다. 운영요구사항서는 Table 2를 활용하

였으며, 일반적인 운영능력기술, 위협, 현 시스템의 단점, 요구되는 능력, 프로그램 지원, 조직 구조, 일반 고려사항 등의 주요한 항목을 중심으로 사용자의 요구 및 시스템의 운영환경을 고려한 운영요구사항서를 작성하였다.



Fig. 7 화물용 튜브운송시스템 운영요구사항서

4. 결론

본 논문은 전 세계적으로 신교통시스템으로 연구되고 있는 튜브운송시스템에 대한 개념과 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서 및 운영요구사항의 개발에 관한 것이다. 철도시스템의 개발 초기에 시스템의 정확한 운영개념을 확립하고 이를 기반으로 시스템에 대한 사용자의 명확한 사용자 요구사항 및 운영요구사항을 도출하는 과정은 매우 중요하며, 시스템의 개발 초기 단계 즉 개념설계 단계에서 반드시 수행되어야 한다. 본 논문을 통해서 문헌적인 운영개념서의 형식에 대한 조사, 특징, 그리고 현실

적인 운영상황을 고려한 화물용 튜브운송시스템의 운영개념서를 제안하였다. 운영개념서를 통해서 사용목적, 운영시나리오, 비상상황 등의 정보가 식별하였으며 이를 바탕으로 시스템의 운영요구사항서를 개발하였다. 개발된 운영개념서 및 운영요구사항서는 확인된 사용자 요구사항 및 시스템 요구사항으로 구체화 되며, 시스템 아키텍처의 참고문서로서 활용될 수 있다.

5. 향후 과제

화물용 튜브운송시스템에 대한 운영개념 및 요구사항은 시스템의 생명주기 단계를 거치는 동안 변경이 가능하며, 시스템요구사항과의 추적을 위해 체계적인 관리방법이 필요하다. 시스템엔지니어링 활동의 효과적이고 생산적인 지원을 위해 전산지원도구의 활용을 적극적으로 고려해야 하며, 이에 대한 효과성은 다양한 프로젝트를 통해서 입증되었다. 올바른 운영개념서 및 요구사항을 수립한 후 전산도구를 활용한 체계적인 관리가 필요하며, 운영개념서의 내용에 대한 관리뿐만 아니라, 자동출력을 위한 환경을 구축하여 실시간적인 변경을 반영한 문서 출력이 가능하도록 해야 할 것이다.

참고문헌

1. Texas Transportation Institute, "FEASIBILITY OF TUBE TRANSPORTATION TO RELIEVE HIGHWAY CONGESTION", FHWA/TX-00/1803-S, 1998
2. 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. 5, No.2, pp. 17-26, 2009
3. Nam Sung Won, Huck Bin Kwon, Mavris, "A Study on the Tube Transportation Technology, 2008.12
4. 방위사업청(DAPA), "시스템엔지니어링 가이드북 Version 1.0", pp. 75-77, 2007. 10
5. KS X ISO/IEC 15288, "정보기술-시스템 및 소프트웨어 공학-시스템생명주기 프로세스", 지식경제부 기술표준원, pp. 36-38, 2009. 3
6. KS X ISO/IEC 26702, "정보기술-시스템공학-시스템공학 프로세스의 적용 및 관리", 지식경제부 기술표준원, pp. 40-46, 2009. 5
7. MIL-STD-499B, "Systems Engineering", DOD, pp 4, 1974

