

철도종합안전프로젝트를 위한 시스템엔지니어링 적용 체계 연구

A Study on the Application System of the Systems Engineering for the Railway Total Safety Project

최요철[†] · 조연옥^{*}

Yo-Chul Choi · Yun-Ok Cho

Abstract

This paper presents the Case of Systems Engineering Application for the Railway Total-Safety Project. Key points to consider for project are: 1) Establish the SE Based-Project organization system, 2) Define the SE Activities, 3) Manage technically the SE Based-Project, etc. They were of much help that the Railway Total-Safety Project which were efficiently implemented and managed. As I take it, the Systems Engineering is very reasonable approach for the systematical and technical conduct of a project.

Keywords : Systems Engineering(시스템엔지니어링), Requirement(요구사항), Railway Total Safety Project(철도종합안전프로젝트), Peer Review(동료 검토회), Work Breakdown Structure(업무분해구조), Project Management(프로젝트 관리)

1. 서론

철도시스템은 안전성, 쾌적성, 정시성을 최대한 만족시키는 공공교통 수단으로서 철도의 안전 확보 및 관리는 사람, 열차, 선로시설, 운영·제어, 유지보수 등 시스템 전반에 대한 위험분석 및 안전성 평가를 기본으로 하고 있다. 그러므로 위험을 사전에 제거하거나 적정수준으로 관리할 수 있는 시스템 차원의 안전성 평가 및 안전 확보 기술이 필요하다. 위에서 언급한 위험분석 및 안전성 평가 기반의 철도안전시스템을 개발하기 위한 철도종합안전프로젝트는 시스템 차원의 안전성 평가 및 안전 확보 기술을 확보하기 위한 접근 방법으로 선진국을 중심으로 입증된 시스템엔지니어링(Systems Engineering) 기법을 도입하고자 한다. 국제시스템공학협회의에서는 시스템엔지니어링을 복잡한 시스템 개발 문제의 해결과 이해당사자들의 요구사항을 만족시키기 위해 필요한 전문분야의 복합 기술과 시스템 전체의 최적화를 위한 모든 요소들을 절충하는 방법이나 성공적으로 시스

템을 구현하기 위한 학제간 접근법 및 방법으로 정의하고 있다[1]. 안전중시의 철도시스템을 대상으로 하는 철도종합안전프로젝트는 시스템엔지니어링 기법을 활용하여 철도시스템 안전요구사항(기준) 개발 및 프로젝트 관리에 적용하고자 한다. 시스템엔지니어링은 프로젝트 관리, 요구사항, 기능, 거동 및 물리적 아키텍처를 정의, 통합 및 검증활동을 바탕으로 철도종합안전프로젝트를 보다 효과적이고 효율적으로 정의하고 추적, 관리할 수 있게 해준다. 특히 시스템엔지니어링 접근을 활용하여 다분야로 이루어진 철도종합안전프로젝트를 위해 SE 기반의 프로젝트 관리체계를 정착시키고, 프로젝트 내 모든 요소들의 기술적 통합 관리와 이해당사자 간의 참여와 의사소통을 원활하게 하는 방법을 제시할 것이다. 특히 제시되는 시스템엔지니어링 프로젝트 관리 기법을 통해 프로젝트에 참여하는 각 과제 참여자들은 스스로 자신의 프로젝트의 진행상황을 파악하여 업무를 수행하고, 업무 활동의 중간 결과물을 총괄 검증기관에 제출하여 결과물이 최초 요구사항을 만족하는지를 단계적으로 검증하며 진행할 수 있도록 도와줄 것이다.

[†] 정회원, 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부
E-mail : ycchoi@krti.re.kr
TEL : (031)460-5549 FAX : (031)460-5509

^{*} 정회원, 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

2. SE를 활용한 프로젝트 관리

2.1 시스템엔지니어링 적용 방안 연구

철도종합안전프로젝트는 사업초기부터 시스템엔지니어링을 적용하기 위한 연구를 수행하였다[2]. 철도안전을 종합적으로 분석하고 그 결과를 실행에 옮기는 활동은 매우 어려우며, 많은 조직과 인력, 프로세스, 연구수행 방법론, 도구, 그리고 자원을 필요로 한다. 수많은 프로젝트의 수행을 통해 나타난 비용의 증가, 일정의 지연, 성능 저하 등의 문제를 프로젝트의 초반기에 점차적으로 해결해 나가고자 국내외 SE 적용사례를 중심으로 프로젝트 관리 및 시스템엔지니어링 적용 체계 수립 등의 핵심 활동을 정의하고자 하였다. 그림 1은 SE 적용 시 기대되는 프로젝트의 성과를 수명주기 단계 위에 도식화 하였다. SE 적용으로 프로젝트 기본 요구사항 및 기능요구사항을 초기 단계에 분석하여 고객의 원 요구사항에 일치하도록 노력하였으며, 불가피하게 발생하는 요구사항 및 설계 변경 등을 최소화시키고 전체적인 프로젝트의 성과를 높이고자 한다.

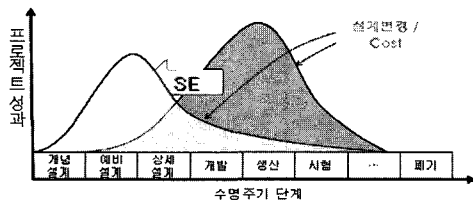


Fig. 1. Project Results Prediction by life cycle phases

2.2 시스템엔지니어링 기반 프로젝트 구성 체계 수립

건설교통부에서 추진하고 있는 철도종합안전기술개발사업 기획보고서를 살펴보면 현재 철도산업 환경이 안고 있는 문제점을 다음과 같이 크게 5 가지로 지적하고 있다[2]. 1) 급변하는 철도산업 환경과 기술발전에 대응한 능동적 대처 결여. 2) 시스템적 접근을 통한 체계적 안전관리 미흡. 3) 철도안전법 및 제도의 효율적·기술적 시행기반 부족. 4) 중대 사고 안전도 평가를 위한 대형시험설비 부족. 5) 정확한 사고조사 및 정보공유 결여에 의한 사고/장애 재발 우려[2]. 위와 같은 문제들이 철도산업 전반에 걸쳐 발생하고 있고 이를 해결하고자 하는 노력이 정부를 비롯하여 철도운영기관, 그리고 철도시설관리자, 연구기관 등 여러 기관에서 이루어지고 있다. 이에 철도종합안전프로젝트는 이러한 문제를 총체적으로 정의하고 해결하기 위한 노력으로 그림 2와 같이 시스템엔지니어링 기반의 철도종합안전프로젝트 구성 체계를 수립하였다. 중장기적으로 안전관리체계 구축, 안전기술

개발, 안전평가체계 구축의 프로젝트 목표를 동시에 달성하기 위해 SE기반으로 프로젝트 관리, 요구사항 분석 및 관리, 시스템 요구사항(System Requirement)정의, 기능 정의, 인터페이스 조정 및 업무 할당 등의 활동을 세부적으로 계획하였다. 시스템엔지니어링 기반으로 차량, 시설, 소프트웨어, 위험물 등에 대한 안전기준 및 체계 구축 활동을 지원하고, 위험원 분석과제에서 도출된 위험원을 중대사고 과제에 할당하고 이 위험원을 해결하기 위한 기술적 활동을 지원한다. 또한 전체적으로 철도종합안전프로젝트에서 산출되는 모든 결과물을 철도안전정보지원시스템을 통해 관리할 수 있는 요구사항을 제시하고, 안전정보지원시스템 구축을 지원한다.

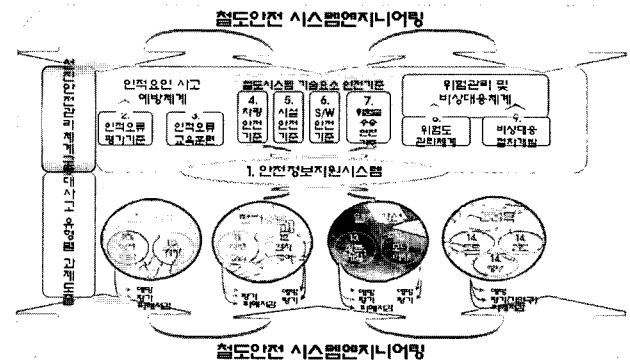


Fig. 2. SE-Based Project Organization Structure

2.3 시스템엔지니어링 활동 정의

철도종합안전프로젝트에서 수행하는 상위 기능을 정의하는 일을 쉬운 과정이 아니다. 이를 위해 시스템엔지니어링에서 활용하는 기능 모델링 통합 정의(IDEF0: Integration Definition for Function Modeling) 모델을 사용하였다. IDEF0을 적용하기 위해 먼저 프로젝트의 입력 및 출력물을 정의해야만 한다. 그리고 프로젝트에 영향을 주는 요소들을 식별하여 프로젝트 통합 및 조정의 역할을 담당하도록 하였다. 또한 프로젝트의 수행 과정에서 발생하는 수명주기지원시스템을 정의하여 프로젝트를 지원하도록 정의하였다. 그림 3은 프로젝트수행을 위한 개괄적인 SE Activities Definition을 도식

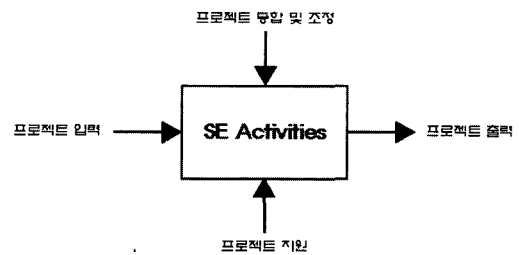


Fig. 3. SE Activities Definition

적으로 나타낸 최상위 수준의 정황 다이어그램이다.

그림 4는 그림 3의 SE Activities Definition을 수행하기 위한 방법을 IDEF0을 활용하여 구체적으로 도식화하였다. 기능 모델링 통합 정의(IDEF0: Integration Definition for Function Modeling)는 분석, 개발, 리-엔지니어링, 그리고 정보시스템의 통합, 비즈니스 프로세스, 또는 소프트웨어 엔지니어링 분석을 위한 일반적인 모델링 기법으로 데이터 흐름, 시스템 통제, 그리고 생명 주기 프로세스의 기능 흐름을 보여주는데 사용된다[3]. 프로젝트 초기에 기획보고서, RFP, 사업 계획서 등의 원 요구사항 문서(ORD)를 프로젝트의 입력으로 정의하고, 세부적인 SE 활동을 통해 SEMP, WBS, ICD, 각 과제별 결과물 등의 출력물을 정의하였다. 이러한 모든 활동은 SE 관리팀을 구성하여 체계적으로 수행하였으며, 모든 업무가 서로 추적될 수 있는 업무체계를 구성하였다.

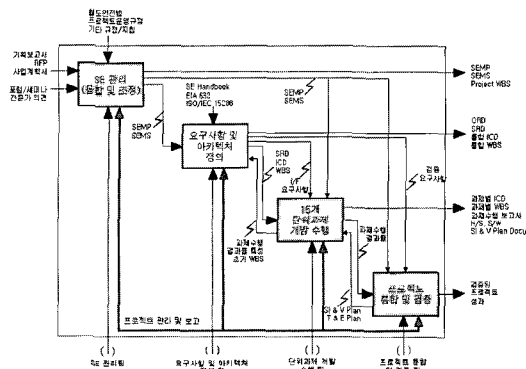


Fig. 4. SE Detailed-Activities Definition

3. SE 기반의 프로젝트 기술적 관리

3.1 요구사항 검토를 위한 동료 검토(Peer Review) 체계 수립

소프트웨어 개발방법론이나 프로세스 개선모델을 보면 'Peer Review'라는 말이 자주 언급된다[4]. Peer Review의 '동료 검토회'라는 의미이며, 잘못된 것을 발견해서 고치는 것도 목적중의 하나이긴 하지만 근본적으로 Peer Review는 하나의 시스템의 설계나 개발단계에서 발생할 수 있는 오류나 실수를 동료 간의 검토 또는 확인을 통해 사전에 발견하고 이를 줄이고자 하는데 있다. 동료 검토회는 주로 S/W 개발 시 사용되어지나, 동료 검토회 활동이 주는 기본 의미는 여러 개발 프로젝트에 적용가능하다고 판단된다. 일반적으로 제시되는 Peer Review의 프로세스는 역무, 검토 형식, 검토 승인 절차, 동료 검토회의 평가, 동료 검토회 등급의 제출 등의 순서로 진행된다. 본 사업에서는 이를 조정(Tailoring)하여 요구사항의 수집에서 확정단계까지 적용함으로써 보

다 명확하면서도 합의된 요구사항이 도출되도록 노력하였다. 그림 5는 종래의 Peer Review의 장점을 이용하여 본 연구에서 프로젝트 요구사항을 분석하기 위해 개발한 Peer Review 체계이다. 요구사항 분석팀을 구성하고 RFP와 이해 당사자 최초 요구사항을 기반으로 요구사항 분석 활동을 시작한다. 1차 분석이 끝난 요구사항을 대상으로 최초 요구사항 Peer Review를 수행하고, 이 결과를 반영하여 2차 요구사항 분석을 수행한다. 2차 분석을 마친 요구사항을 System Requirement로 정의하고, 합의 프로세스를 수행한다. 합의 프로세스는 각 과제의 연구책임자와의 합의를 도출하는 과정을 의미한다. 합의된 요구사항은 이해당사자에게 전달되며, 데이터베이스에 저장되어 관리된다.

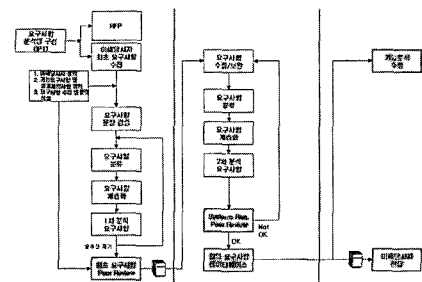


Fig. 5. Project Requirement Peer Review Structure

3.2 요구사항 분석을 통한 프로젝트 목표 분석 프로세스

프로젝트의 초기 목표 및 요구사항을 만족시키는 제품을 개발하기 위해서 중요한 활동 중의 하나인 요구사항 엔지니어링 활동을 위해 그림 6과 같이 SE 기반의 요구사항 엔지니어링 프로세스를 수립하였으며, 이를 요구사항 파악, 정의, 분석, 검토, 그리고 확정의 순으로 진행하였다.

본 철도중합안전프로젝트에서는 위에서 수립한 요구사항 엔지니어링 프로세스를 활용하여 사업 기획보고서 및 RFP, 그리고 수차례의 포럼/세미나/공정회의를 통해 제기된 의견들을 종합하여 각 과제별 요구사항을 표 1과 같이 본 프로젝트에서 분석하고 관리할 수 있는 수준으로 확정하였다.

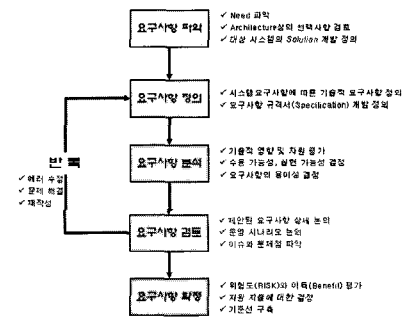


Fig. 6. Requirement Engineering Process

요구사항 엔지니어링 프로세스를 수행함으로써 프로젝트의 임무를 명확히 하고, 년차별 목표를 세부적으로 작성하였으며, 과제간 영향을 주는 인터페이스(I/F)를 인터페이스 회의를 통해 세부적으로 정의하였다. 표 1은 철도중합안전 프로젝트의 단위과제의 확정 요구사항을 정리한 것이다.

Table 1. The settled systems requirement of a unit project

Table with 4 columns: Number, Requirement, Remark, and Content. It lists various technical requirements for a unit project, such as 'The system shall be able to handle...' and 'The system shall be able to...'.

3.3 업무분해구조(WBS)의 활용한 프로젝트 관리 프로세스

종래의 프로젝트에서는 아래의 그림 7과 같이 명확한 프로젝트의 정의나 세부계획이 없이 간단한 일정표를 사용하여 프로젝트를 진행한다. 그러나 프로젝트의 업무를 세부적으로 분해하지 않은 상태에서 주어진 기간 동안 체계적으로 수행하지 못하므로서 비용 증가, 일정 지연, 불투명한 프로젝트 관리, 낮은 품질의 결과물 등의 실패를 가져오는 경우가 많이 있다는 분석이 나오고 있다.

이러한 종래의 모호한 프로젝트 계획을 조금이나마 지양하고자 본 철도중합안전프로젝트에서는 엔지니어링 노력, 자원할당, 비용 예측, 비용지출, 그리고 비용 및 기술적인 성능 추적이 가능하도록 업무분해구조(WBS)[5]의 방법을 도

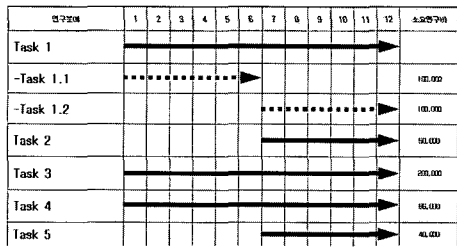


Fig. 7. A traditional project management Plan

입하고 이를 상용소프트웨어를 활용하여 보다 체계적인 프로젝트 관리를 수행하였다. 작성된 WBS는 표 1에서 제시한 바와 같이 확정된 시스템 요구사항과 연구계획서를 중심으로 작성되므로서 전체적인 업무의 연계성을 확보하였다. 그림 8은 WBS를 활용한 프로젝트 관리 계획을 보여주고 있다.

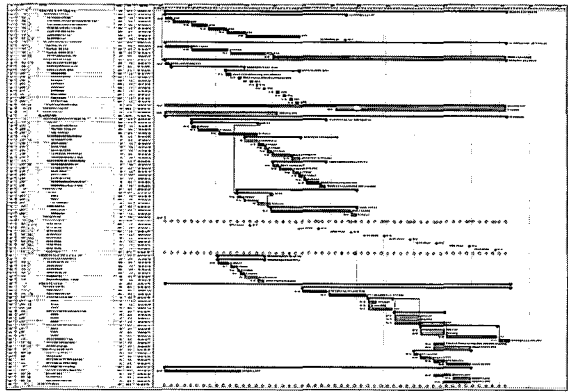


Fig. 8. Project Management Plan using the WBS

3.4 인터페이스 조정 매트릭스(Interface Control Matrix)

철도중합안전프로젝트는 안전체계 및 기준, 안전기술개발, 그리고 안전평가를 담당하는 단위 프로젝트로 구성되었으며, 이를 통합적으로 관리하기 위해 본 프로젝트에서는 각 프로젝트 간 인터페이스 되어지는 입력 및 출력물을 정의하고 이를 명확히 확인하여 각 프로젝트에 할당하고 인터페이스 조정 매트릭스(ICM)를 통해 지속적으로 관리하였다. 전체 인터페이스 조정 매트릭스를 작성하기 위해서 그림 9와 같이 인터페이스 조정 템플릿을 개발하였다. 이러한 템플릿을 통해 인터페이스 되는 업무를 파악하고, 결과물을 생산하기 위한 공통된 노력을 정의하였다. 또한 이 과정을 통해 새로운 요구사항이나 제약사항을 도출하므로서 전체 프로젝트 요구사항을 변경관리(Configuration Management) 하였다.

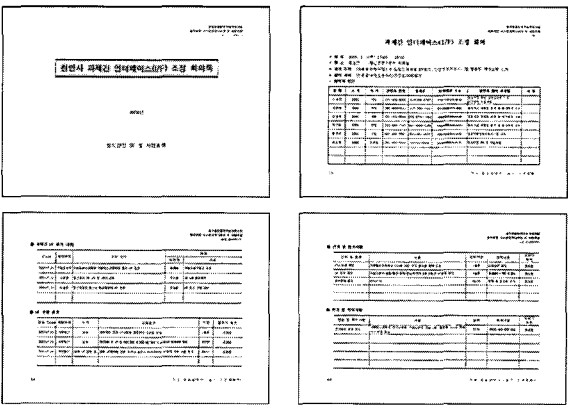


Fig. 9. Interface Control templet among projects

단위과제의 RFP나 연구계획서에는 타 단위과제와의 인터페이스 상황이 명확히 식별되지 않는다. 이는 전체 프로젝트의 효과적, 효율적 성과 달성을 저해하는 위험요인임에 분명하다. 이러한 프로젝트 위험요인을 찾아내기 위해 단위과제와의 면담 및 공정회의를 통해 1차 전체 프로젝트의 통합 ICM (Interface Control Matrix)을 그림 10과 같이 작성하였다.

과제명	1차 설계	2차 설계	3차 설계	시공	운영	유지보수	개선	종료
1. 1차 설계	Y							
2. 2차 설계		Y						
3. 3차 설계			Y					
4. 시공				Y				
5. 운영					Y			
6. 유지보수						Y		
7. 개선							Y	
8. 종료								Y

Fig. 10. 1st integrated ICM of total Projects

일차적으로 1차 통합 ICM에서는 단위과제 간 인터페이스 사항을 식별하고 이를 통보하였다. 이후 추가적인 면담, 세미나, 공정회의를 통하여 2차 확정 통합 ICM을 그림 11과 같이 작성하였다. 확정 통합 ICM을 기본으로 각 과제간 구체적인 인터페이스 조정 활동을 진행하도록 유도하였다. 또한 각 과제간 인터페이스 조정 활동의 결과를 총괄 프로젝트 팀에 송부하여 통합 ICM를 지속적으로 형상관리 하였다.

과제명	1차 설계	2차 설계	3차 설계	시공	운영	유지보수	개선	종료
1. 1차 설계	Y							
2. 2차 설계		Y						
3. 3차 설계			Y					
4. 시공				Y				
5. 운영					Y			
6. 유지보수						Y		
7. 개선							Y	
8. 종료								Y

Fig. 11. The 2nd settled integration ICM of total Projects

형상관리는 단위과제간 협조해야 하는 인터페이스 요구사항 및 제약조건을 전체적으로 확인하고 WBS에 인터페이스 요구사항을 삽입하여 관리하도록 하였다. 표 2는 확정 통합 ICM으로부터 도출된 단위과제 인터페이스 요구사항을 단위과제로 예를 들어 나타내었다.

Table 2. Interface requirements of a unit project

과제명	요구사항	요구사항 설명	요구사항 ID
1. 1차 설계	1.1	1차 설계는 2차 설계에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	1.1.1
2. 2차 설계	2.1	2차 설계는 3차 설계에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	2.1.1
3. 3차 설계	3.1	3차 설계는 시공에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	3.1.1
4. 시공	4.1	시공은 운영에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	4.1.1
5. 운영	5.1	운영은 유지보수에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	5.1.1
6. 유지보수	6.1	유지보수는 개선에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	6.1.1
7. 개선	7.1	개선은 종료에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	7.1.1
8. 종료	8.1	종료는 프로젝트 종료에 대한 인터페이스 요구사항을 식별하고 이를 통보한다.	8.1.1

3.5 추적관리를 통한 프로젝트 진행 관리

각 프로젝트의 업무들은 전체 프로젝트의 목적과 목표를 항상 인식하고 모든 업무가 추적성을 가지고 진행상황이 관리되도록 하였다. 매주 단위 과제별 회의를 수행하고, 이의 결과를 매월 실시되는 전체 공정회의에 반영하여 프로젝트의 진행상황을 체계적으로 관리하고, 이슈발생 시 전체적으로 이를 공론화하여 문제를 해결하고 이를 문서화하였다. 모든 과제의 업무를 수행함에 있어서 그림 12와 같이 해당 기간에 할당된 시스템요구사항(SR)을 식별하고 이를 WBS에서 일정과 자원, 중간성과물들을 확인하고 이를 문서화함으로써 업무가 전체적으로 추적성을 잃지 않도록 하였다.

해당 SR

SR 1	시스템은 '가-미'를 설치할 때 관련 시공 항목은 '가-미'를 설치할 수 있다.	관련 SR은 '가-미'를 설치할 때 관련 시공 항목은 '가-미'를 설치할 수 있다.	SR ID: SR-001	SR Title: '가-미' 설치
------	--	--	---------------	--------------------

해당 WBS

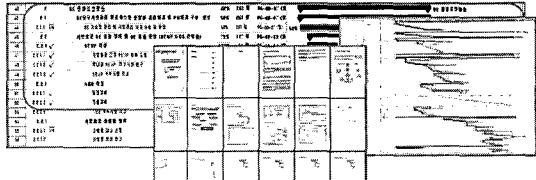


Fig. 12. Task progress management using traceability

4. 결론

본 논문은 철도중합안전프로젝트의 시작단계와 진행단계에서의 시스템엔지니어링(SE) 적용 방안과 실제 수행한 SE 프로세스 적용을 중심으로 연구를 수행하였다. 이를 정리하면 1) SE 기반의 프로젝트 구성 체계 수립, 2) SE Activities 정의, 3) SE 기반의 프로젝트 기술적 관리 등이다. 이는 철도중합안전프로젝트를 효과적이고 효율적으로 수행하고 관리하는데 많은 기여를 하였으며, 특히 프로젝트를 체계적이면서 기술적으로 수행하는데 시스템엔지니어링은 매우 타

당한 접근방법이라고 판단된다. 마지막으로 본 논문에서 언급한 모든 SE 활동을 수행하는 SE 관리팀은 독립된 팀 구조로 구성되어야 하며, SE 활동 수행에 필요한 적절한 책임과 권한이 활동 초기에 정의되어야 함을 제안한다.

후 기

본 논문은 2005년도 건설교통부에서 철도종합안전기술개발사업으로 지원된 “철도안전 시스템엔지니어링 및 사업총괄”과제 연구결과의 일부이다.

참 고 문 헌

1. INCOSE, “Systems Engineering Handbook”, ver 2.0, July 2000.
2. 건설교통부, “철도종합안전기술개발사업 기획보고서”, 2003.
3. DoD Systems management college, “Systems Engineering Fundamental”, DAU, Jan 2001.
4. http://www.inews24.com/php/news_view.php?g_serial=120492&pay_news=0&g_menu=090334.
5. DoD, “Work Breakdown Structure”, MIL-STD-881, 2 Jan 1998.