

전산지원도구를 이용한
철도안전 성능평가 시험설비 구축 사업 관리방안 연구
**A Study on Managing the Construction Process of Railway Safety Test
Facilities Using the Systems Engineering Tool**

김윤미*
Kim, Yun-Mi

최경진*
Choi, Kyoung-Jin

조연옥**
Cho, Youn-ok

ABSTRACT

A railway is a complex system integrated with a lot of technical elements such as trains, track facilities, human factors, operation & control and maintenance. As a mass transportation system, a railway could contain potential risks that may result in a high death rate and property losses. Accordingly, Railroad Safety Technology R&D Corps. is adopting the plan of the construction of Railway Safety Test Facilities as a part of the Railway Total Safety Project to enhance the railway safety, and carrying out researches on effective project management methods with Systems Engineering techniques.

Recently, various systems engineering tools such as CORE or Cradle are applied to manage the system requirements and the project management process in the part of the aerospace engineering and automobile engineering so on. The railway industry also makes an effort to develop an efficient management skills using systems engineering tools as the railway system is multi-disciplinary. Therefore, we propose the more effectual management method of constructing the Railway Safety Test Facilities applying the systems engineering tool to the research.

1. 서론

철도교통은 대량수송수단이라는 고유의 특성을 가지므로, 충돌·탈선 및 화재와 같은 중대사고가 발생하게 되면 대형 인명 및 재산 피해로 이어질 가능성이 대단히 높다. 이러한 철도 중대 사고에 대한 철도교통의 안전을 확보하기 위해서 중대 사고에 대한 철도시스템의 안전도를 객관적으로 시험, 평가할 수 있는 대규모 시험시설을 마련하는 것이 필요하다. 이에 따라 철도종합안전기술개발사업단은 철도 중대 사고에 대한 철도교통 안전성 확보를 위한 철도시스템 안전관리체계 구축사업의 일환으로 안전도를 객관적으로 시험·평가할 수 있는 시험설비 구축사업을 추진하고 있으며, 시스템엔지니어링 기법을 이용한 해당 사업의 체계적인 관리 방법을 연구하고 있다.

최근 우주·항공·자동차 분야에서 다양한 도구를 사용하여 시스템에 대한 요구사항 및 사업 진행 프로세스를 효율적으로 관리하는 연구가 진행되고 있으며, 이러한 연구 경향은 철도 분야에서도 더욱 가속화될 것으로 예측된다. 따라서 본 연구에서는 시스템엔지니어링 전산지원도구를 이용하여 철도안전 성능평가 시험설비 구축 사업을 보다 체계적으로 관리할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 비회원
E-mail : yun_1771@hotmail.com

TEL : (031)460-5571 FAX : (031)460-5509

* 한국철도기술연구원, 정회원

E-mail : kjchoi@krii.re.kr

TEL : (031)460-5242 FAX : (031)460-5509

본 논문은 기존의 철도안전 성능평가 시험설비 구축 사업이 시작된 경위, 목적, 의의 및 보다 효율적인 구축 사업 관리 방안 제안 등의 내용으로 구성되어 있다.

2. 철도안전 성능평가 시험설비 구축 사업 개요

2.1 철도시스템의 안전성

철도시스템이 올바르게 작동하기 위해서는, 운전/차량/궤도/신호 등과 같은 구성요소들의 유기적 결합을 바탕으로 동시에 개별적으로 기술안전성을 확보해야만 한다. 이를 정리하면 도표 1.과 같다.

도표 1. 철도 시스템과 안전성 평가 프로그램

철도 시스템 구성	운전, 차량, 궤도, 신호	시스템 공학 기술 수준
운영 및 수송체계	운전, 관제, 교육, 훈련, 비상대응	인적 수준 및 오류 예방
안전성 평가 및 검증	인증 및 위험도 평가/안전성 시험설비	중대사고 및 고장 예방 /피해저감

철도 시스템의 안전성은 복합적 철도시스템(운전, 차량, 궤도, 신호)의 기술수준/ 운영 및 수송체계(운전, 관제, 교육훈련, 비상대응)의 인간공학적 수준 및 불완전 오류의 예방/ 안전성 평가 및 검증(인증 및 안전 시험설비)에 의한 중대사고 및 고장의 예방 및 피해저감에 의해 상호 유기적인 시스템으로 보완되고 있으며, 각자의 고유영역에서 안전 활동을 하고 있다. 대부분 고유 영역의 안전 활동이 상대 영역에 미치는 나쁜 영향에 대하여 실증적 연구 활동에 많은 제약이 있는 것이 현실이다.

최근에는 안전에 대한 개념이 점차 실용적이고 체계적인 기준으로 변화하고 있으므로, 새로운 제품의 평가와 승인에 이전보다 더 많은 비용과 시간이 소요되고 있다. 철도 업계에서도 보다 실질적이고 경제적인 이익을 창출해내기 위해, 안전에 대한 새로운 승인 기법 및 철도시설이 가지고 있는 높은 수준의 안전성을 평가 할 수 있는 시스템 도입이 절실하다.

철도 업계는 안전성 평가시스템의 변화 흐름에 발맞추기 위해, 철도 시스템 분석의 정확한 정의·확인/ 논증 시스템 확립·전문가 의견을 체계적으로 정리하는 정보화 DB 구축 등의 활동이 필요하다. 이 같은 활동을 통해 서비스에 대한 구체적인 반응을 확인·비교하며, 과도한 규제 혹은 세부 기준에서 철도 산업을 보호할 수 있다. 또한 동시에 시스템 안전의 최대 과제인 중대사고의 유형을 구별하고 사고 예방노력을 강화하여, 그 효과를 극대화 할 수 있다.

철도차량 및 기반시설을 갖추어야 하는 종합적인 물류수송 시스템으로서의 철도 최대목표는 더 많은 적재량을 실을 수 있는 차체 개발과 더욱 빠른 운행속도를 이용해 어느 정도 달성 가능하다. 하지만, 이러한 계획을 성공적으로 수행하기 위해서는, 제동 및 현가장치 시스템에 대해 차축 하중 증가가 미치는 영향에 대한 협동 연구가 필수적이다. 상호 운용을 위한 요구사항을 만족시키기 위해 구체적으로 차륜과 대차(bogie) 기술 향상에 대한 연구가 뒤따를 것이다. 이때 상호간에 안전성을 해치는 결과에 대해 충분한 시스템적 접근이 요구된다. 전통적 상호 운용성 지침의 실행은 차량과 기반시설 개선 및 유지보수를 이용한 안전성 보장이 밀반침 되어야 한다. 또한 철도시스템에서의 기반시설 및 차량 규격 최적화에 대하여 기술적이고 경제적인 연구에 의해 보완되어야 하는 데, 일부 기술 안전성은 다음 사항을 포함하여 총괄적인 시스템 공학 체계로 검토되어야 한다.

- 모델링 및 시뮬레이션 기법을 통해 차량과 기반시설 요소에 대한 이해 개선
- 열차운용, 기반시설 구성요소 및 유지보수 최적화
- 열차 운전 조건 및 기반 시설 상태점검에 필요한 이상 진단 시스템 개발
- 열차속도 및 고 하중(차축하중, 전차선 용량 증가 등)과 시설 적재 하중의 증가
- 열차 운행 주기 증가에 의한 위험성 증가 및 노선 용량 관리

핵심요소 시스템과 총괄 시스템인 운송 수단과 연계 및 전달에 있어 상호 안전한 운용을 위한 노력이

전반적으로 필요하다. 대량의 인적 물적인 이동이 고속철도로 수송하게 되면 불안정한 위험은 매우 증가하게 된다. 실제 사고 사례와 이론적 지식의 교환에 의해 추진하는 안전성의 평가와 관리는 국가적 규정에만 의존하는 것보다 현실적으로 바람직한 안전성 확보와 발전을 가져올 수 있을 것이다.

2.2 철도안전 성능평가 시험설비 구축 기본구상

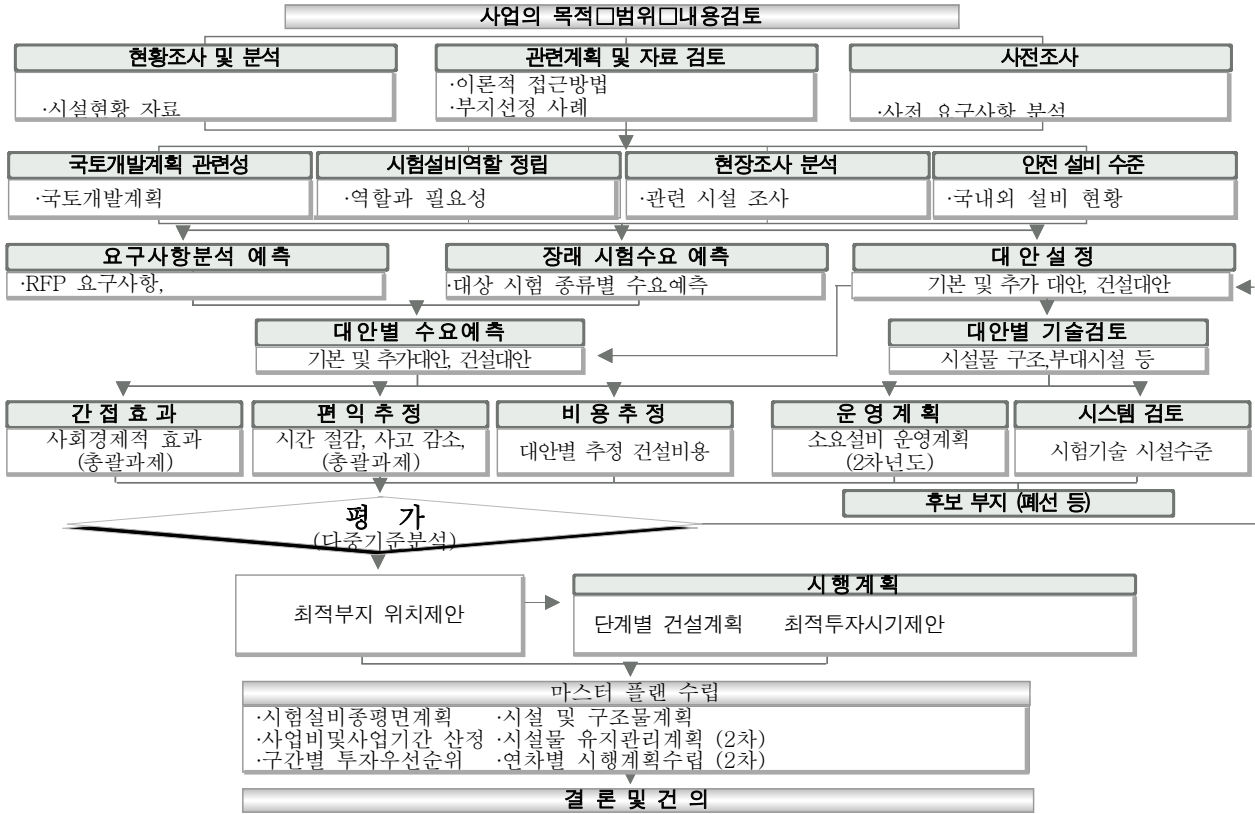


그림 1 철도안전 시험평가시설 구축 기본구상

철도안전 성능평가 시험설비 구축 사업은 철도 중대사고 예방 및 피해저감을 위해, 철도화재 방지 및 평가기술 개발·충돌 및 탈선 안전평가 기술개발을 통해 중대사고 안전평가 기반 시설 구축을 목적으로 하고 있다. 해당 사업은 한국철도기술연구원에서 수행한 철도종합안전기술개발사업 기획연구에서 수립한 철도안전시험평가시설 세부 구축계획(안)에 기반을 두고 시작되었으며, 기초기술조사 및 부지조사의 범위 확대 등을 통하여 과제의 범위 및 역할을 재정립 해 왔다. 초기에 이루어진 기초기술조사의 내용은 아래 도표와 같다.

도표 2. 기초 기술조사 및 연구 현황

국내외 철도안전 시험평가 근거자료 조사	-국내외 철도법령 및 국제 표준/기준 및 국제 권고안 및 연구개발 보고서 대상 철도 중대사고 예방을 위한 필수 요구시험 종목 도출
국내외 철도안전 대형시험평가시설 조사	-2003년 철도종합안전기술개발사업 기획 시 조사되었던 선진국 철도안전시험평가시설 및 기타 철도관련 정보망 이용 철도안전관련 시설 구축 사례 심층적 분석 후 필요 시험 장비 도출
철도안전시험평가시설 최적 선정 연구	-국내외 철도안전 시험평가기술 및 시험 인프라 심층적 조사·분석 후 최적의 안전시험평가시설 선정 ▶ 2006, 철도안전 시험평가시설 구축 엔지니어링 연구, 화재 5종/충돌 5종/탈선 3종 설비 등 총 13종 우선 검토 ▶ 2007, 철도종합안전기술개발사업 시험설비구축 전문가 자문 ▶ 2007, 철안사 과제 총괄 위원회/장비 심의 위원회 심의 후 화재/충돌/탈선 총 3종 시설 우선 도입 ▶ 2008, 현재 장비 중복 설치로 인해, 도입해야할 충돌 시험설비 재검토

도표 3. 철도안전성능평가 시험설비 주요 검토항목 분석

우선 검토	분야	설비명	용도	시험항목	국내외 보유 유사 장비 현황
3	충돌	1.철도차량 실물충돌 안전성 평가 시험설비	-열차 충돌 및 사고 상황 재현 -안전장치 및 구조작동 평가 -사고/피해예측 및 평가 활용 <종합 대형 시험평가, 육외>	-안티클라이머 안전성능시험 -표준충돌사고 각본 검증시험 -여객 및 승무원 상해치 시험 -경충돌 안전확보 성능시험 -연결기 동하중시험 -완충차막이 성능시험 -선로장애물 안전 성능시험	-미국(TTCI) <대형: 약50만 USD/1회> -폴란드 Zmigord CNTK <소형: 약10만 EURO/1회> -영국 AEA -프랑스 Vitry Lab -인도국영철도
		2.차량구조 압괴 안전성 평가설비	-차체압괴 변형도 시험 -차체 에너지 흡수 시험 -연결기 등의 압괴시험	-차체압괴 특성시험 -충돌안전 장치 부품별 압괴 특성	1.국내 건기연(용량 부족) 2.국외: 연20억원 시험비 예상 -영국: 정적압괴시험설비 -프랑스: 정적압괴시험설비 -폴란드 Zmigord CNTK <소형: 약10만 EURO/1회>
1	탈선	1.차륜탈선 안전성능 평가 시험설비	-차량탈선 위험도평가 및 시험기준 -차륜거동변화 탈선위험 시험 -플랜지 진입각별 탈선현상규명 <종합 대형 시험평가>	-철도차량/궤도 상호 적합성 시험 -차륜/궤도 상호작용력 시험 -윤중, 횡압 측정시험 -탈선계수 규명시험	-일본 RTRI: Creep force test bed -일본 RTRI: Wheel-rail contact reciprocating motion unit -미국 TTCI: Vibration Test unit
	화재	1.철도차량 화재안전 성능평가 시험설비	-내화구조 모형 철도차량 활용 -철도차량의 화재안전도 -화재진압 설비의 안전성능 <종합 대형 시험평가>	-차량화재 안전성능평가 시험 -차량화재 시뮬레이션 검증 시험 -차량화재 연소거동 시험 -차량화재연기/가스독성시험 -차량화재 발열/발연량 시험 -차량용 화재제어장치 성능평가시험	1. 국내: 건기연 -대형 건축물 화재시험동 2. 호주: CSIRC: Train Saloon -내화복도형 <외국시험 3.5억원/1회>
		2.철도시설(터널/역사) 화재안전 성능평가 시험설비	-철도터널의 화재안전도 시험 -터널화재진압 설비 안전성능 -연소거동 가시화 시스템 <현장구축, 대형 시험평가>	-터널 화재 안전성능평가 시험 -터널/역사화재 제연/배연 시험 -장대터널 구난역 방연시험 -장대터널 대피통로 및 안전통로 효율시험 -터널축소모형 모의화재시험 -철도터널화재 및 승객 시뮬레이션 -장대터널 연결 송수관 효율시험	-스위스: Hagerbach Test Gallery 화재시험시설 - 헝가리 트쁘: 화재규모 계측시험 안전구축 시험 불충족
		3.중/소형 철도설비 화재안전 성능평가 시험 설비	-의자,도어등 중형화재 평가 -국제기준의 일반장비 및 소형 시편 성능시험 -내장재별 화재특성 평가시험 -중/소형 배기 및 집진 설비 <일부 노후장비 교체>	-연기밀도 시험 -가스독성 시험 -화염 전파시험 -발열량/발연량 시험 -산소지수 시험	[중형] 1. 국내: 건설기술연구원(설치 중) 2. 호주, 미국, 영국, 스웨덴, 핀란드 등: 톱코더 SB [소형] 1. 국내: 5개 기관 -방재시험연, 건설기술연구원 -고방검정공사, 건자재시험연구원 -철도기술연구원, 원사직물시험연 2. 국외: 각국 화재시험 연구기관

본 사업에서 대상으로 하는 중대 사고는 대형 인명피해를 유발할 수 있는 열차 운행 중의 사고를 말한다. 현재 국내에서는 열차 운행 중에 일어나는 열차 사고를 열차충돌·열차탈선·열차접촉·열차화재로 분류하고 있는데, 이 중 열차접촉사고는 대형 인명피해의 우려가 없으므로 이를 제외한 열차의 화재·충돌·탈선사고를 중대사고의 유형으로 분류하고 본 연구의 대상으로 하였다.

기초기술자료의 분석을 통해 필수 안전시험 표준목록을 작성하였으며, 기초기술자료와의 연관관계를 분석했다. 또한 필요성·대체가능성·사용빈도·기술의 선진성·중대사고 방지 기여도의 5가지 항목에 대해 설비별 평가를 수행한 후, 시험 종목별 중요도를 도출하였다. 각각의 항목에 대해 전문가 자문을 거쳐 우선순위가 높은 순서부터 번호를 부여하였으며, 이를 바탕으로 철도안전 시험평가설비 선정(안)에 대하여 시험설비의 중요도 및 우선순위 평가를 진행했다.

2.3 사업 진행상의 문제점

본 사업은 화재·충돌·탈선과 같은 중대 사고를 예방하고 그 피해를 최소화하기 위해, 철도 시설의 안전성을 평가할 수 있는 시설을 구축하고 있다. 그러나 각 화재·충돌·탈선 과제 책임자 및 실무자,

이를 관리하고 통제하며 사업을 이끌어가는 철도종합안전기술개발사업단 소속 SE 및 사업총괄 책임자, 지식경제부 및 한국건설교통기술평가원 담당자 등 너무나 많은 이해관계자들이 독립된 업무를 수행하며 해당 사업을 진행하고 있으므로, 각 이해관계자들의 의견이 적절한 시기에 정확하게 반영되고 있는지 판단 여부가 어렵다는 문제점이 제기되었다. 이는 이해관계자들의 업무 영역에서 필요에 의해 변경사항이 발생한다 해도, 그것을 신속하게 확인하고 결과물에 반영할 수 있는 방법이 미흡하다는 의미이다. 만일 데이터의 변경 관리가 철저히 이루어지지 않는다면, 그 변경 사항이 사업 진행에 미치는 영향 분석도 제대로 될 수 없다. 또한 각 데이터의 일관성 및 추적성 확보의 어려움도 풀어야 할 과제이며, 사업 진행과 관련된 책임자의 권한 설정을 통해 데이터에 대한 접근을 통제 및 관리하는 방안도 검토되어야 한다. 이에 대해 본 연구에서는 사업의 진행 상황을 보다 명확하게 확인하고, 요구사항과 사업 진행 프로세스를 체계적으로 관리할 수 있도록 전산지원도구를 사용할 것을 제안하고자 한다.

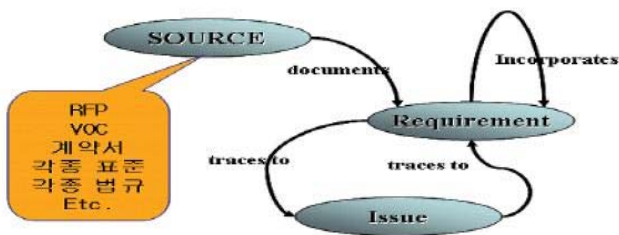


그림 2 요구사항 분석 및 추적성 확보 절차

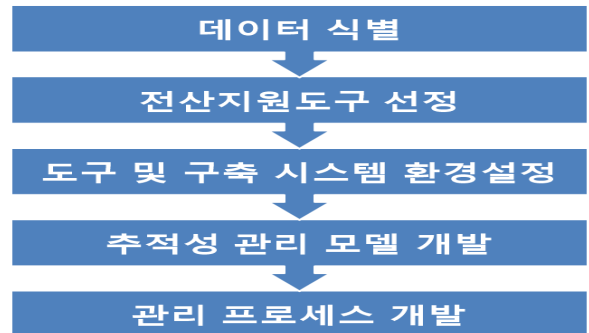


그림 3 연구 절차

3. 전산지원도구를 이용한 구축방안 연구

3.1 연구방법

전산지원도구를 사업 관리에 활용하면, 사업이 시작되고 결과물을 내는 전 수명주기에 걸쳐 시스템 엔지니어링 활동을 지원 받을 수 있다. 추적성이란 처음 이해관계자에게서 도출된 요구사항과 추후의 활동을 통해 변화된 요구사항과 사업 프로세스가 어떻게 연계되어 있으며 상호 의존하고 있는지를 나타내는 정보를 말한다. 특정 요구사항이 초기에 누구에 의해 제안되었으며/왜 그러한 요구사항이 어떤 과정을 거쳐 도출되었는지/다른 요구사항 및 활동과 어떤 관계를 맺고 있는지와 같은 히스토리화 정보를 파악할 수 있다면, 사업 진행 과정을 좀 더 명확하게 이해할 수 있을 것이다. 이렇게 데이터의 일관성과 추적성을 확보하면, 그 다음 단계에서는 변경 관리에 따른 영향을 분석해야 한다. 그리고 각 이해관계자의 업무 영역과 중요도에 따라 사업에서 내는 결과물에 해당하는 데이터에 접근하는 권한을 설정함으로써, 데이터의 보안을 유지하는 것도 중요하다.

본 사업 내에 구축되어 있는 Cradle 프로그램을 이용하여, 추적성을 확보하고 변경에 대한 이력을 체계적으로 관리하는 방안을 선정했다. 처음 사업이 시작 됐을 때의 요구사항과 위험원을 Cradle 안에 입력하여 하나의 데이터 모델을 구축하고, 변경에 대한 모든 이력을 관리하여 언제 누가 무엇을 변경 했는지에 관련된 사항들을 추적 관리할 수 있도록 연구되고 있다.

3.2 시험설비 구축 사업 관리의 전산지원도구 적용

시험설비 구축 사업을 보다 효율적으로 관리할 수 있도록, Cradle에 탈선 안전성능 평가 설비와 관련된 실제 데이터를 입력했다. 사업 초기에 철도안전 SE 및 총괄 과제에 할당된 ‘프로젝트는 안전평가 시험시설 구축 계획을 통합 및 조정한다.’ 항목과, 철도차량 탈선 안전성능 평가 및 사고방지 기술 개

발 과제에 할당된 ‘프로젝트는 탈선안전성 시험평가기술을 개발해야 한다.’ 항목과 요구사항 사이에 추적성과 변경사항을 입력했으며, 각 요구사항에 따른 위험원을 Hazard 항목에 입력했다. 또한 일반사항/기본 설계/상세 설계/제장/설치/시험 각각의 공정에서 각 과제 책임자를 포함한 이해관계자의 권한을 개별적으로 설정하여 정해진 사람 외에는 변경 혹은 이의를 제기할 수 없도록 설정했다.

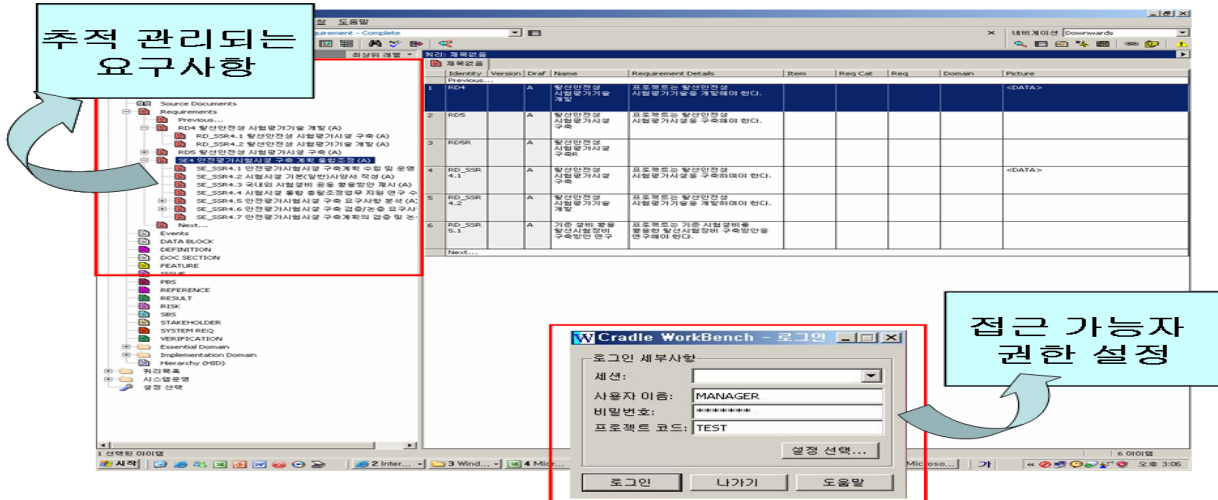


그림 4 요구사항 입력 및 접근 가능자 권한 설정

4. 결론

본 연구에서는 철도에서 발생 가능한 중대사고인 충돌·탈선 및 화재 사고를 예방하고 피해를 저감하기 위해, 안전성 평가를 실증적으로 실시할 수 있는 시험설비 구축 방안을 SE 기법을 활용하여 정립했다. 필요성과 목적, 현재 상황에서의 매우 복잡한 절차와 기술적 수행 과정의 어려움을 해결하기 위한 체계적 구축 방안을 수립하고자 하였다.

본 연구를 통하여 대형 시험설비 구축사업은 전문가 자문과 정책 판단 등의 충분한 예비검증과 구축 이후 활용성 및 유지보수도 고려해야 한다는 것과, 이를 위해 전산지원도구를 이용한 체계적인 사업관리가 필요함을 알 수 있다. 단순히 기본 조사와 설비 구축이라는 결과물만을 생각하는 것이 아니라, 이해관계자의 의견과 잦은 변경사항을 모두 반영하여 하나의 시설구축 체계를 세우는 것이라 할 수 있다.

본 연구에서 전산지원도구를 이용하여 철도 안전성 평가를 위한 시험설비 구축 사업을 보다 체계적으로 관리하고, 공정 관리의 간결함과 추적성 확보가 용이하도록 구축이 가능함을 알 수 있다. 향후 추가 연구를 통하여 설비 구축을 전 과정으로 확대함으로써 보다 활용성을 높일 수 있는 방안을 연구할 계획이다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원 홍용기 외 8인, 철도종합안전기술개발사업 철도안전 시험평가시설 구축 엔지니어링 최종보고서, 2005
2. 철도종합안전기술개발사업단 조연옥 외 7인, 철도안전 시스템 엔지니어링 및 사업총괄 제3차년도 중간보고서, 2007, 한국철도기술연구원
3. 최경진 조연옥 김상암 김윤미, “철도 안전성 평가를 위한 시험설비 구축 방안”, 한국철도학회, 2007
4. 이우동 신정렬 안태기, “전산지원도구를 이용한 도시철도시설 안전기준 DB 구축 연구”, 한국철도학회, 2006