

도시형 자기부상열차 실용화사업을 위한 시스템 운영개념 작성 방안에 대한 연구

A Study on the Method to Prepare System Operational Concept for Practical Use Project of Urban Maglev train

정경렬* 박철호** 윤세균*** 김찬목****
 Chung, Kyung Ryul Park, Chul Ho Yoon, Se Kyun Kim Chan Mook

ABSTRACT

When developers conduct a systems engineering approach the first problems that they will be faced are how to define and analyze the operational concept. In case of practical use project of MAGLEV train, those problems are also important since end products of practical use project must be assured for commercial service level. Lack of domestic developer's experience on systems engineering activity can cause a confusion a progress of the project. This study will propose a guide to establish an operational concept of project to develop or construct urban transit system.

key words : practical use project, operational concept, MAGLEV, urban transit system

1. 서 론

시스템엔지니어링은 대형복합시스템을 성공적으로 개발하기 위해 대두된 학문 분야이다. 초기의 인위적 시스템(man-made system)을 개발할 때 핵심적인 요소는 과학과 기술력이었으나 60년대 이후 시스템의 규모가 커지고 복잡도가 증가함에 따라 개발 사업의 실패 확률이 비약적으로 증가하였다. 가장 대표적인 분야가 항공, 우주, 방산, 소프트웨어 등이다. 시스템엔지니어링은 크고 복잡한 시스템의 개발을 좀더 체계적으로 이루어가는 프로세스와 방법론을 의미하며 일반시스템이론(General Systems theory)에 그 기반을 두고 있다.

국제시스템공학협회(International Council on Systems Engineering, 이하 INCOSE)에서 대형 프로젝트의 실패요인을 분석한 결과 개발 후기의

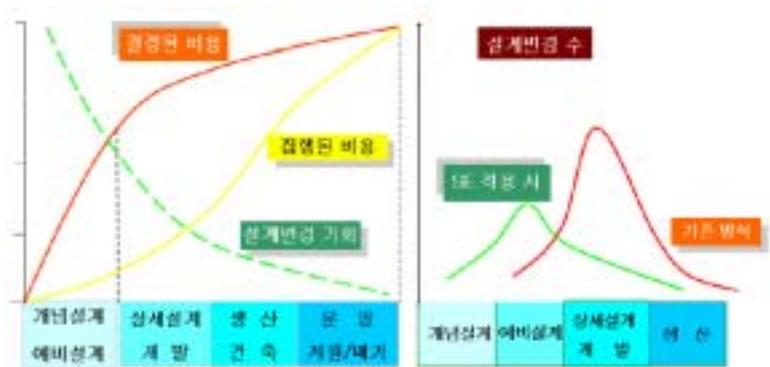


그림 1. SE 적용 시 설계변경 기회 및 소요 비용의 변화

* 정경렬, 정회원, 한국생산기술연구원, 융합기술개발단

E-mail : chungkr@kitech.re.kr

TEL : (041)589-8251 FAX : (041)589-8230

** 한국생산기술연구원 융합기술개발단

*** 재단법인 서울디자인센터 디자인개발지원팀

**** 아주대학교 대학원 시스템공학과

문제점 발견과 이를 수정하기 위한 일정/비용상의 리스크 발생으로 결국 개발사업의 실패에 이르는 사실이 밝혀지게 되었다. 이러한 현상은 근본적으로 시스템 개발 초기에 "개발에 관련된 문제의 정의(Problem Definition)" 활동이 제대로 이루어지지 못하기 때문에 발생한다. 여기서 "개발에 관련된 문제의 정의"란 잘못된 목표를 지향하고 있거나 필요한 요구사항이 누락되거나 각기 서로 다른 상황에 처한 개발자들이 시스템 목표에 대한 공통된 이해를 하지 못하고 있는 상황을 의미한다. 따라서 시스템 엔지니어링의 핵심은 시스템 개발 초기 관련된 문제점과 요구사항을 정확히 파악하고, 관련된 모든 개발자들의 공통된 이해를 형성시키며, 개발 목표와 현황을 지속적으로 관리하는데 있다.

운영개념을 정의하는 활동은 문제 정의 활동의 일부분으로 시스템이 어떻게 사용되는지(how the system will be used)를 결정한다. 국내의 철도시스템 개발은 이러한 문제 정의 활동이 취약한 편이다. 독립적인 시스템의 개발보다 해외 기존 시스템을 기반으로 한 시스템 개발이 많았으며 철도시스템 전반에 걸친 사업보다는 일부 하부시스템에 대한 개발사업이 대부분이었기 때문이다. 그러나 2006년 말부터 추진 중인 도시형 자기부상열차 실용화사업은 독자적인 기술개발의 성격이 강하며, 차량 뿐만 아니라 신호, 통신, 전력, 검수, 역사, 차량기지에 이르기까지 상업적 운행에 필요한 모든 하부시스템이 사업범위에 포함되어 있어 운영개념의 정의와 분석이 그 어느 때보다 중요하다.

본 연구에서는 운영개념이 무엇이고 어떤 역할을 수행하는지 알아보고 현재 진행 중인 도시형 자기부상열차 실용화사업 수행 경험을 바탕으로 국내의 철도 시스템 개발 환경 속에서 운영개념을 정의하는 방안에 대해 고찰해보도록 한다.

2. 시스템 운영개념이란?

2.1 시스템 운영개념의 목적

앞서 언급한 바와 마찬가지로 운영개념(Operational Concept 또는 Concept of Operations) 후일 운영단계에서 시스템이 어떻게 사용되는지를 설명한 내용이다. 시스템 운영개념을 정의하는 첫 번째 목적은 시스템이 무엇이고 어떻게 운영되는지를 정의하여 시스템 개발에 관련된 모든 이해관계자들에게 공통된 비전을 갖게 하는 것이다.

철도시스템은 개발에서 폐기에 이르기까지 많은 이해관계자들이 관여하게 된다. 또한 개발 단계에서도 차량, 신호, 통신, 시설물, 검수체계 등 각 하부시스템 분야별로 개발자는 서로 다른 개발환경과 경험, 관점을 가지고 있게 된다. 따라서 이해관계자들이 목적하는 시스템에 대한 의사소통을 하더라도 각자의 언어와 입장에서 의견을 표현하고 이해하기 때문에 논의가 비효율적이고 부정확하다.

이때 운영개념은 각 시스템 이해관계자들의 공통된 이해의 장으로서 활용될 수 있다. 즉, 각 시스템 이해관계자가 정의된 운영개념을 통해 목표시스템에 대한 공통된 이해를 할 수 있는 것이다. 이는 도시형 자기부상열차 실용화사업과 같이 상업적 운행에 필요한 모든 시스템을 동시에 개발 또는 설치하는 사업에서 매우 중요한 부분이다.

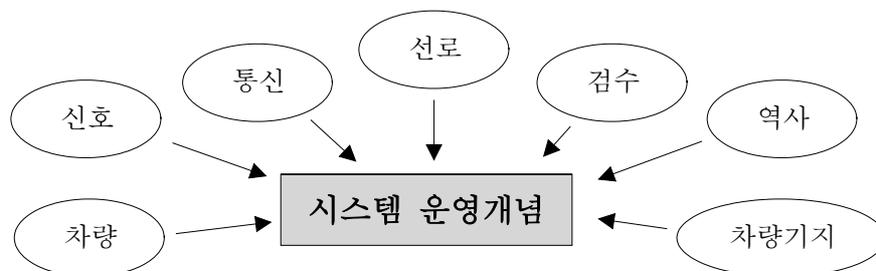


그림 2. 운영개념 정의 목적 1 - 목표에 대한 개발자들의 공통된 이해

운영개념을 정의하는 두 번째 목적은 요구사항에 대한 완성도를 높이는 것이다. 시스템의 개발에 있어 완전한 요구사항 집합이란 존재하지 않는다. 요구사항은 항상 불완전한 정보가 포함되거나 필요한 항목이 누락될 가능성을 안고 있다. 운영개념은 시스템이 어떻게 사용될 것인지를 기술하기 때문에 운

영개념을 개발할 때에는 실제 운영 환경과 그에 따라 필요한 요소에 대한 고민을 하게 된다. 그 결과 운영개념 개발 활동은 시스템과 다른 시스템의 상호작용에 관한 불완전하지만 상당한 양의 정보를 제공하게 된다. 운영개념의 불완전함은 시스템의 개발 과정에 걸쳐 지속적으로 관리/보완됨에 따라 개선된다.

특히 잘 정의된 운영 시나리오는 기능분석과 같은 역할을 하여 기능 요구사항에 누락된 내용이 없는지 확인할 수 있도록 한다. 이는 시스템의 기능분석(Functional Analysis)과 비슷한 효과로 주어진 입력과 필요한 출력을 토대로 볼 때 시스템에 정의된 기능 요구사항이 충분한지를 판단하는 논리적인 분석이 가능하기 때문이다. 실제로 미국에서는 9.11 테러 이후 자국 내 테러조직을 색출하는 과정에서 당시까지 밝혀진 테러조직과 사건들을 바탕으로 기능분석을 수행하여 밝혀지지 않은 조직의 존재를 예측했던 사례가 있다.

2.2 시스템 운영개념의 내용

본 연구에서는 운영개념에 포함될 내용들을 도출하기 위해 해외에서 작성된 다양한 형태의 운영개념서(Operational Concept Document)를 입수하여 비교/분석하였다. 철도시스템에 직접적으로 적용된 해외자료는 드물기 때문에 주로 교통시스템에 관련된 운영개념서가 조사되었는데, 연구에 참조된 주요 자료 목록은 표 1과 같다.

운영개념 관련 자료의 비교/조사 결과 다음과 같은 공통점이 존재함을 알 수 있었다.

① 시스템의 정의

운영개념서에서 공통적으로 서두에 등장하는 내용은 시스템의 정의이다. 시스템의 종류 및 목적과 범위를 정의한다. 특히 시스템의 범위는 개발하고자 하는 내용과 그와 연관관계를 갖는 외부 시스템을 식별한다.

② 임무/요건(mission/needs)의 정의

임무(mission)는 시스템이 수행해야 하는 최우선적인 요구사항을 의미한다. 이와 함께 목표사양이나 정책적 요구사항, 관련 이해관계자 등 개발 프로젝트에 부여되는 가장 근본적인 요구사항(Originating Requirements)들이 운영개념서에 정의되어 있다.

③ 운영 시나리오의 정의

시스템의 종류에 따라 차이가 있지만 우선 시스템이 운영되는 각종 상황을 가정하고 그에 따라 적절한 운영절차와 외부시스템과의 상호작용을 기술한다. 여기에는 일반적인 운영 상황, 우발적으로 발생한 이례적인 상황, 정비 및 안전 모드 등이 포함된다.

3. 국내 운영개념 연구 사례

2.1절에서 고찰한 바와 같이 서로 다른 분야의 다양한 하부시스템의 복합체인 철도시스템에서 운영개념이 매우 중요하지만 실제로 운영개념이 심도깊게 논의되고 활용된 개발 사례를 찾기는 어렵다. 초

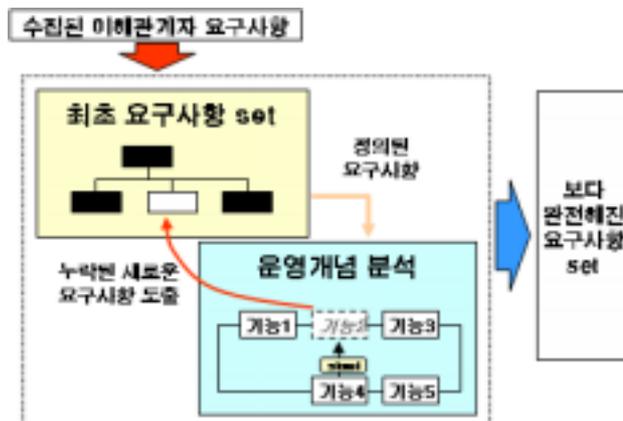


그림 3. 운영개념 정의 목적 2 - 요구사항의 보완

표 1. 주요 해외 운영개념 자료 및 내용

| 제 목 | 내 용 |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| ANSI/AIAA G-043-1992 | 미국표준협회(ANSI)에서 발행된 OCD 작성을 위한 가이드 |
| TMS_OCD Guidbook | G-043-1992 문서에 대한 설명 자료 |
| STARNET Concept of Operation | 미국 새크라멘토 시의 교통정보 시스템 업데이트에 관한 OCD, 지멘스社 작성 |
| DalTrans Operational Concept Document | 미국 달라스 시의 교통정보 시스템에 관한 OCD |

기 개념설계 단계부터 독자적으로 진행된 개발된 본격적인 철도 개발사업은 사실상 G7 고속전철 기술 개발사업이 최초인 만큼 독자 개발의 역사가 짧기 때문이다. 더욱이 차량뿐만 아니라 신호/통신/노선/역사/검수 등 철도시스템을 총체적으로 개발하는 사업은 거의 없었기 때문에 운영개념에 대한 필요성이 크게 대두되지 않았던 것으로 보인다.

단 한국철도기술연구원에서 수행된 경량전철 기술개발사업에서 신호시스템에 대한 운영 시나리오 개발/분석이 이루어진바 있다. 검증된 도구와 EFFBD(Extended Functional Flow Block Diagram) 기법이 활용되었으며, 특히 신호시스템은 철도시스템의 운전/운행과 밀접한 영향을 갖기 때문에 향후 유사 과제에서 활용할 수 있는 가치가 높다.

다만, 신호시스템이 주로 운전/운행에만 관련을 갖기 때문에 전체 시스템 관점에서 관심을 갖는 운영 개념과는 차이가 있다. 예를 들면 신호시스템 외 타 시스템과의 연관은 잘 드러나지 않는다. 또한 운전/운행에 초점이 맞춰진 자료로 화재/구원운전과 같이 다양한 시스템 운영 관점의 시나리오는 부족하다. 또한 운영 시나리오만 정의되어 있어 독립된 문서 형태의 완전한 운영개념서로 보기는 어렵다.

4. 철도시스템 개발 시 운영개념 작성의 문제점 및 해결방안

본 절에서는 국내 개발환경에서 운영개념 정의를 할 때 발생하는 문제점과 해결방안을 알아보도록 한다.

4.1 문제점 1 : 운영개념 관련 기초 자료의 부족

국내의 철도 운영이 오랜 역사를 자랑하고 고속철도에서 지하철에 이르기까지 많은 수의 철도시스템이 운행되고 있지만 운영 시나리오가 포함된 운영개념의 개발 사례를 찾아보기는 어렵다. 이는 앞에서 지적한 바와 같이 해외 시스템의 도입 사례가 많고 독자 개발의 역사가 짧기 때문이다.

운영개념을 정의할 때 처음 부딪히는 문제점은 기존의 운영 시나리오가 없기 때문에 업무의 시작점이 없다는 것이다. 운영 시나리오의 초안을 작성하기에 가장 적절한 이해관계자는 운영주체이다. 운영주체가 포함되지 않은 개발 사업에서는 이러한 방법이 어렵다. 또한 대부분의 철도 운영기관들은 운영개념, 운영 시나리오 등의 용어에 익숙하지 않기 때문에 더욱 협조를 꺼리는 경향이 있다.

따라서 대부분의 경우 개발자 스스로 운영개념을 개발하려는 노력을 기울여야 한다. 이 경우 운영/지원에 대한 노하우가 부족하기 때문에 상당한 이해관계자의 검토와 내용의 갱신이 반복되어야 신뢰성있는 자료를 기대할 수 있다.

<해결방안>

기존의 자료가 가용하지 않다면 운영실무자와의 인터뷰를 통해 운영개념의 초안을 작성해야 한다. 인터뷰 이전에 대상 시스템에 대한 상식 수준에서 예상되는 운영 시나리오 사례를 준비한다면 인터뷰는 더욱 신속하고 효과적으로 진행된다. 운영 시나리오를 구축하기 위한 인터뷰에서 개발자가 이해관계자로부터 얻어내야 할 핵심적인 정보는 다음과 같다.

① 시스템의 모드 및 상태

동일한 시스템과 동일한 환경(입력)하에서도 시스템의 모드 및 상태(modes & status)가 다르다면 다른 출력이 예상된다. 따라서 시스템이 어떤 모드와 상태를 갖는지 식별하는 것이 운영 시나리오의 작성에 있어 최우선적인 활동이다.

② 시스템/외부시스템 운영 절차

시스템/외부시스템의 운영 절차는 운영 시나리오의 핵심이다. 여기에는 운영과 지원업무가 모두 포함된다. 외부시스템은 시스템과 상호작용하는 모든 외부시스템을 의미하며 차장, 정비사와 같은 운영 인력도 이에 포함된다.

③ 시스템 입/출력

상황과 절차에 따른 시스템의 입/출력 내용을 정확히 식별한다. 이 내용은 후일 시스템의 인터페이스와 기능 요구사항에 누락된 내용이 있는지를 논리적으로 검증하는 기초 자료가 될 것이다. 모든 종류의 입출력을 식별하도록 노력해야 한다. 시스템 이론(system theory)에 따르면 시스템 간의 입/출력은 물질(material), 에너지(energy), 데이터(data) 등이 있을 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 국내 철도운영은 오랜 역사를 자랑하며, 경험이 많은 실무자들이 현업에 종사하고 있기 때문에 자료는 없어도, 데이터는 없을 수 없다. 국내의 철도환경 속에서는 위와 같이 자료를 찾기보다 만들어가는 형태로 접근하는 것이 적절하다.

4.2 문제점 2 : 운영절차의 표현 방안

초안이 텍스트 형태로 만들어진 다음 당면하는 문제는 운영절차를 어떻게 표현할지를 결정하는 것이다. 텍스트 형태의 자료는 정보전달력이 떨어진다. 많은 이해관계자가 효과적으로 이용하기 위해서는 이해하기 쉬운 형태로 표현되어야 한다. 또한 각 시스템의 관계와 운영 절차, 인터페이스 등이 효과적으로 표현되어야 한다. 운영절차를 표현하는 가장 일반적인 방법은 다이어그램이나 표를 이용하는 것인데, 여기에는 N2 차트, 시퀀스 다이어그램(sequence diagram), 상태도(state chart) 등 다양한 방식이 있기 때문에 운영개념을 표현하기 가장 적절한 통일된 방식을 결정해야 한다.

<해결방안>

운영절차를 표현하기 적합한 다이어그램은 여러 가지가 있을 수 있지만 그 중 EFFBD(Extended Functional Flow Block Diagram)가 적절할 것으로 판단된다.

EFFBD는 주로 기능분석을 위해 사용하는 방법이며 중요한 특징은 다음과 같다.

- ① 다층구조적(multi-tier) : 여러 수준의 기능 다이어그램이 모여 하나의 기능 아키텍처를 형성한다. 각 수준의 기능 다이어그램은 해당 수준에 적절한 기능으로 구성된다. 즉 2수준, 3수준의 기능들을 하나의 다이어그램에 표현하지 않고 분리시키는 것이 좋다.
- ② 시간순서적(time-sequenced) : 각 기능들은 시간순서에 따라 오른쪽에서 왼쪽의 방향으로 배열되며 각 기능들의 선후관계는 선으로 연결되어 있다. 따라서 기능의 배치만으로 수행되는 순서와 인과관계를 알 수 있다.
- ③ 단계적(step-by-step) : 각 기능은 box로 표현되며 연속적(continuous)이기보다 단속적(discontinuous)으로 취급된다. 이는 개념설계 수준의 추상적 단계에서 기능 아키텍처를 효율적으로 작성하기 위한 것이다.

EFFBD는 "OR", AND" 게이트를 사용하여 선택적이거나 연결되는 기능의 흐름을 표현할 수 있다. 또한 "LOOP"이나 "ITERATE", "TREAD KILL" 등의 논리적인 표현이 제공되며 기능과 기능 사이의 입/출력 아이টে를 표현할 수 있다.

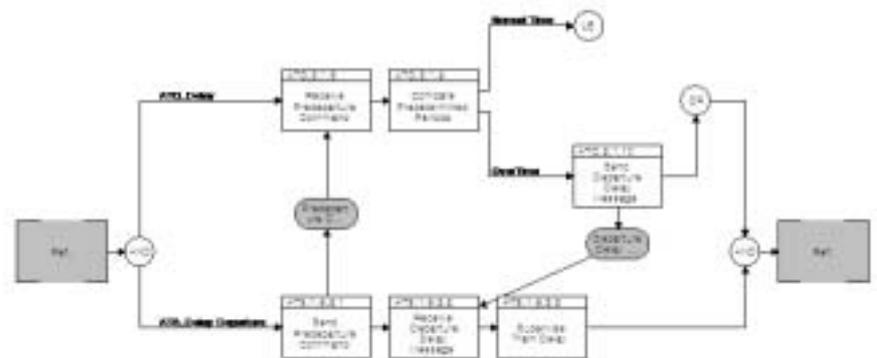


그림 4. EFFBD의 일반적인 형태 - 경량전철 사례

EFFBD의 가장 큰 장점은 표현이 직관적이기 때문에 비전문가들에게도 쉽게 이해될 수 있다는 것이다. 또한 각 시스템의 기능과 입출력 아이টে이 하나의 다이어그램에 표현된다는 장점이 있다. EFFBD를 지원하는 시스템엔지니어링 도구는 RDD®, CORE®,

Cradle® 등이 있다.

4.3 문제점 3 : 운영개념서 양식의 부재

운영 시나리오는 운영개념서에서 가장 중요한 내용이지만 2.2 절에서 살펴본 바와 같이 운영개념서의 일부에 불과하다. 따라서 운영개념서를 어떤 항목으로 구성해야 할지를 결정해야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 국내에서는 운영개념서가 개발된 사례가 없기 때문에 참고할만한 양식도 존재하지 않는다. 인터넷 상에서 입수할 수 있는 해외의 운영개념서 중 철도 관련 문서는 비교적 드문 편이다.

<해결방안>

각종 운영개념서 관련 자료를 분석한 결과 미국표준협회(ANSI)에서 작성한 시스템 운영개념서(OCD) 가이드라인인 ANSI/AIAA G-043-1992가 가장 체계적이고 효과적인 구성을 하고 있는 것으로 판단되었다. ANSI/AIAA G-043-1992에서 제안하는 운영개념서(OCD)의 구성은 지면관계상 생략하기로 한다. 이 운영개념서 구성의 특징은 우선 시스템을 정의하고 운영상의 요구사항을 정리한 다음, 시스템 수준의 요구사항 및 기술적 참조내용을 기술한다. 즉 "시스템 정의(system definition)" -> "운영 관점(operational view)" -> "시스템 관점(system view)" 이라는 흐름을 가지고 있어 문서의 이해가 직관적이고 편리하다.

도시형 자기부상열차 실용화사업에서는 ANSI/AIAA G-043-1992에서 제시된 운영개념서의 구성과 용어를 한국적 정서와 사업의 특성에 맞추어 수정하여 활용할 예정이다.

5. 결 론

시스템엔지니어링에서 가장 핵심적인 내용은 시스템 개발과 관련된 문제를 정의하는데 노력을 기울여 개발 후기에 발생 가능한 설계변경 및 문제점 발생 가능성을 개발 초기로 끌어당기는 것이다. 이를 위해서는 시스템 개발 초기에 문제 정의(Problem Definition) 활동에 충실해야 하며, 시스템의 운영개념을 정의하고 분석하는 활동은 문제 정의 활동에서 중요한 역할을 한다.

시스템이 다양한 분야로 분리되어 있고 각 분야의 유기적인 협력이 필요한 철도시스템 분야에서 운영개념을 개발하고 분석하는 활동은 특히 중요하지만 그동안 국내의 개발 환경에서 적극적으로 활용된 사례는 부족하다.

본 연구에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 수행되는 시스템 운영개념 정의 및 분석 업무를 수행하며 얻은 실무적 경험을 바탕으로 철도시스템에서 운영개념서를 개발할 때 실무적으로 발생하는 문제점과 해결방안을 제시하였다. 주요 문제점으로 운영 시나리오에 활용할 수 있는 자료와 인식의 부재를 지적하였고, 이에 대한 해결방안으로 인터뷰를 통한 초안 작성 방안, 시나리오 표현 방법, 관련 표준문서를 제시하였다.

6. 참고문헌

1. Systems Engineering Handbook ver 2a, INCOSE SE handbook working group, 2004
2. Systems Engineering Handbook ver 3, INCOSE SE handbook working group, 2006
3. Buede, D., The Engineering Design of Systems, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
4. ANSI/AIAA G-043-1992, Guide for Preparation of Operational Concept Document, American National Standard Institute, 1993
5. DalTrans-OCD-1.15, DalTrans Transportation Management Center, 2002
6. STARNET Concept of Operations, Siemens ITS, 2006