

## 조립 및 정비에 대한 가상 모의 기술

박영근<sup>1†</sup> · 주현준<sup>1</sup> · 김천영<sup>1</sup> · 정나현<sup>1</sup> · 이준규<sup>1</sup> · 이인원<sup>1</sup>

### Virtual Simulation for Assembly and Maintenance Tasks

Young-Keun Park · Hyun-Jun Ju · Cheon-Young Kim · Na-Hyeon Jung · Jun-Kyu Lee · In-Won Lee

#### ABSTRACT

This paper describes the development and applications of maintainability simulation system based on virtual reality technology. The immersive type maintainability simulator using virtual reality is developed and assembly simulation using DELMIA software is conducted for an air-to-ground munition as an example. The simulation processes and result validate the feasibility and effectiveness of maintainability simulation system for logistic element development.

**Key words** : M&S, Maintainability, Logistics

#### 요약

본 논문에서는 가상현실 기술을 기반으로 정비성 모의 시스템에 대한 개발 기술 및 적용 사례에 대해 기술하였다. 정비성 모의를 위해 가상현실 장비를 기반으로 한 몰입형 시뮬레이터가 개발되었으며, 상용 소프트웨어인 DELMIA를 활용한 조립 시뮬레이션이 공대지 유도무기를 대상으로 수행되었다. 개발된 시스템은 설계 단계에서 군수지원 요소 개발에 다양하게 활용이 가능하였으며 효용성을 확인할 수 있었다.

**주요어** : 모델링 및 시뮬레이션, 정비성, 군수지원

## 1. 서론

무기체계 개발에 있어서 사용자의 주요 요구사항중의 하나는 정비성이다. 개발 과정 중에 정비성에 대한 요구도 충족 여부를 판단하는 방안으로 정비성 전문가의 공학적 분석 방법과 시제품을 이용한 검증으로 판단하는 방법이 있다. 정비성 전문가의 공학적 분석에 의존하는 경우 정비성과 관련한 많은 경험 값이 확보되지 않은 경우 분석결과의 신뢰성 판단에 어려움이 있으며, 시제품을 이용한 검증의 경우 시제품 생산 후에 검증을 수행함으로써 검증단계에서 발생한 문제를 해결하기 위하여 과도한 비용 및 시간이 요구된다. 따라서, 이러한 문제점을 미연에 방지하는 방안으로 개발 초기부터 M&S 기법을 활용하

여 정비성 요구도 만족 여부를 판단하고 이를 설계 초기에 반영함으로써 수정 설계에 따른 비용 증가 위험을 해소하는 방법이 대안으로 제시되고 있다.

LMA(Lockheed Martin Aeronautics)의 경우 F-35 개발을 위해 DELMIA를 활용하여 설계단계에서 조립성 및 정비성에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 인체 모델로는 DELMIA에서 제공하는 Human 모델을 적용하였다<sup>[1]</sup>. 보잉의 경우 정비성 시뮬레이션과 관련해서 핵심기술로 Haptic에 대한 연구를 진행하고 있으며, 정비성 시뮬레이션 및 분석을 위해 DELMIA가 활용되고 있다<sup>[2]</sup>. 1990년대 후반 광학카메라 및 센서 기반의 위치추적장치 및 역감제시형 햅틱장치, 입체 디스플레이 장치와 같은 하드웨어 장치의 개발과 이를 구동하기 위한 소프트웨어 기술의 발달로 가상의 환경 하에서 조립 및 분해를 시뮬레이션 할 수 있는 기술이 시도되었다<sup>[3-5]</sup>. 특히 Dimitris Mavrikios 등은 항공기 개발 시 정비성을 고려하기 위한 적극적 설계 방법으로 가상현실 기법 적용을 제안하고 있다<sup>[6]</sup>. EADS의 경우 Airbus 개발 시 수행한 SAMIRA I, II 프로젝트를 통해 6자유도 대형 역감 제시 장치를 활용하여 CAD

접수일(2012년 9월 4일), 심사일(1차 : 2012년 11월 18일), 게재 확정일(2012년 12월 7일)

<sup>1)</sup> 국방과학연구소

주 저 자 : 박영근

교신저자 : 박영근

E-mail; pyk@add.re.kr

데이터를 기반으로 객체간의 간섭과 충돌 그리고 3차원 가시화를 통합한 조립 분해 시뮬레이션을 구축한 바 있다<sup>7)</sup>. 국내의 경우 국방과학연구소에서 가상시제(Virtual Prototype) 기술의 일부로서 CAD 데이터를 변환하여 가상의 조종실 환경을 구성하고 정비사가 Cyber glove를 착용한 후 가상의 조종실에서 각종 계기 장치를 모의할 수 있는 기술을 개발하였다<sup>8)</sup>. 이러한 컴퓨터 모의를 통한 정비성 시뮬레이션 기법은 3D CAD 모델 등 설계 자료를 군수지원 개발에 적용함으로써 설계와 군수지원 관련 자료 간의 일관성을 유지할 수 있고 자료 재사용에 따른 군수지원 개발 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

본 논문에서는 국내에서 최초로 개발되고 있는 공대지 유도무기체계 사업을 통해 개발된 정비성 모의 시스템에 대한 개발 기술 및 적용 사례에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 정비성 시뮬레이션 시스템 개발

본 정비성 모의 시스템은 크게 햅틱/트래커 장치 등 가상현실 장비를 기반으로 한 몰입형 정비 시뮬레이션과 상용 프로그램인 DELMIA 기반의 시뮬레이션으로 구성된다(Fig. 1).

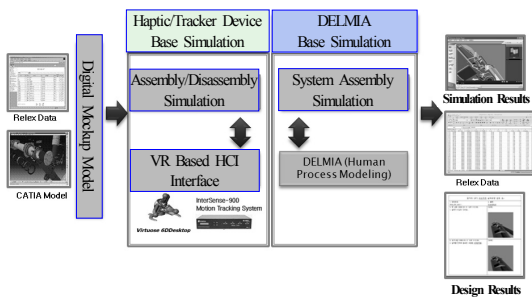


Fig. 1. Maintenance Simulation Concept



Fig. 2. DELMIA Base Assembly Simulation

## 2.1 DELMIA 기반 시뮬레이션 시스템

항공분야 설계에서 많이 활용되고 있는 CAD 프로그램인 CATIA를 개발한 프랑스 닷쏘사가 제공하는 소프트웨어인 DELMIA는 아바타 형태의 휴먼모델을 통해 정비성 분석을 위한 시뮬레이션 환경을 제공한다. DELMIA는 정비 절차를 정의하고 관련된 동작을 쉽게 휴먼 모델에 부여할 수 있는데 휴먼 모델로는 한국을 포함한 국가별 남녀 표준 체형 DB가 제공하며 걷기, 오르기, 물체 옮기기 등 여러 동작들의 조합을 통해 작업시간 분석을 포함한 정비성 시뮬레이션이 가능하다.

DELMIA 기반 시뮬레이션은 우선 유도무기체계의 CATIA 형상모델을 DELMIA로 로딩 후 조립 관련 작업 환경을 정의하고, 정비사 모델링 및 작업절차 생성, 절차별 정비사 자세를 생성한다(Fig. 2). 이에 대한 시뮬레이션 프로세스는 Fig. 3과 같다.

## 2.2 몰입형 정비 시뮬레이션 시스템

몰입형 정비 시뮬레이션 시스템은 무기체계 점검 시 고장이 식별이 될 수 있는 경우 하위 구성품을 분해 및 조립하는 과정에서의 정비 용이성을 식별하기 위하여 개발된 시스템이다. 이 시스템은 1인용 데스크탑 환경에서 6자유도 소형 역감 제시장치 및 관성센서 기반의 위치 추적 장치를 통해 몰입된 환경에서 유도폭탄의 조립 분해 절차를 시뮬레이션 할 수 있도록 개발되었으며, 개념도는 Fig. 4와 같다<sup>9)</sup>.

소프트웨어 측면에서 몰입형 정비 시뮬레이션 시스템은 닷쏘사의 가상현실 지원 소프트웨어인 Virtool4를 기반으로 개발되었다. 시스템은 조립/분해 시뮬레이션을 수행하는 시뮬레이션 엔진을 중심으로 인터페이스 컴포넌트가 개발되었으며, 시각적 렌더링 및 가시화, 장치 컨트롤러 및 촉각 렌더링은 Virtool4에서 제공하는 기능을 활

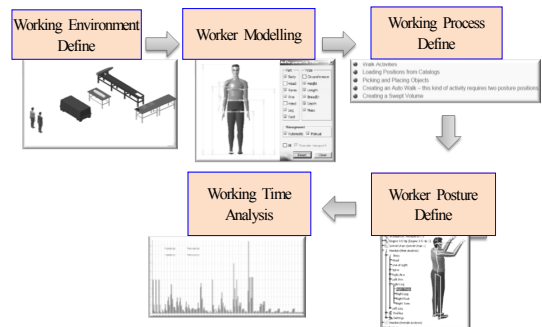


Fig. 3. DELMIA Simulation Process Model

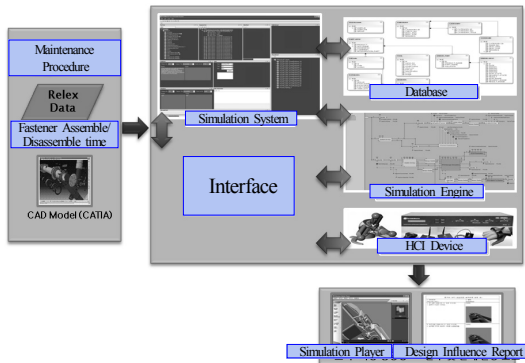


Fig. 4. Immersive Type Maintenance Simulation

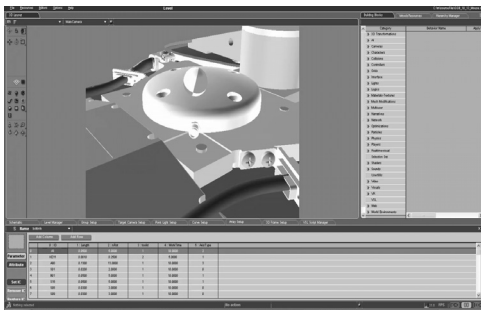


Fig. 5. System Execution

용하였다. 개발된 모듈은 C# 환경에서 개발한 시뮬레이션 제어 컴포넌트와 인터페이스를 가지며 시뮬레이션 수행 중 절차의 생성과 편집, 프로덕트 모델과 공구의 관리 기능 등의 기능을 수행한다. 하드웨어 및 소프트웨어를 포함한 시스템에 대한 주요 사양은 Table 1과 같다.

조립/분해 정비 업무는 시뮬레이션 상에서 Sequence와 Task 그리고 Action으로 나누어서 구현하였다. Sequence는 정비 절차서에 기록될 논리적인 작업절차명이며, Task는 하나의 작업절차를 수행하기 위해 공구 사용을 통한 체결류의 체결/해제, 손을 사용한 구성품의 분해/조립의 단위이고, Action은 시뮬레이션 상에서 Task를 수행할 때 햅틱 또는 트래킹 장치와 시뮬레이션 객체 간의 상호작용을 표현하는 단위로 대상 파트의 장탈착 상태와 공구 혹은 손에 부착된 상태 등으로 구성된다.

분해 시뮬레이션의 경우 분해될 부품은 초기에 상위 조립체에 결합되어 있다. 체결류 분해 Task가 사전에 수행되어 모든 체결류가 분해되어 있을 경우, 상위 조립체로부터 부품은 분리 상태가 되며, 손이 부품에 접근하였을 때 시뮬레이션 엔진은 손의 이동을 모니터링하다 선택

Table 1. System Specification

Item	Spec	Add
Virtool4	Rendering Engine	
	Keyboard Interface	✓
	Interactive Physics Pack	
	Dynamic Motion Limits	✓
	Collision Detection	✓
	Simulation Engine	✓
	Simulation Interface	✓
Haptic Device	Haption Virtuoso6D	
Haptic Server	Voxell Point Shell base Haptic Rendering	
Tracking Device	IS-900 Tracking System	
PC	Intel Core2 Quad 3.0GHz	

조건이 만족되면 부품은 자동 선택되어 손에 부착된 상태가 된다. 손에 부착된 부품은 손의 이동에 따라 경로상의 간섭을 검사하며 위치를 이동한다. 햅틱 장치를 사용하면 물체의 무게감이 자동으로 계산되어 햅틱장비에 피드백됨으로써 사용자는 부품의 무게감을 느낄 수 있고 또한 간섭이 발생하였을 때 충돌감도 느낄 수 있다. 정비 Action을 수행하여 부품을 모델에서 제거 할 경우 부품은 제거된 객체들이 저장되는 저장 컨테이너로 자동으로 이동된다.

### 3. 정비성 시뮬레이션 적용 사례

정비성 시뮬레이션은 설계단계에서 조립 및 정비성 검토에 활용되어 검토 결과를 설계에 반영하였고, 군수지원 관련 검토회의 자료 작성 및 군수지원 요소개발의 하나인 전자교범 및 전자교보재 개발에 적용되었다.

#### 3.1 조립 시간 검토

국내에서 개발되고 있는 공대지 유도무기 사업은 기존 무유도 폭탄에 비행보조키트를 장착하여 사거리 및 정확성을 획기적으로 향상시키는 유도무기 체계개발 사업이다. 평시에 키트와 폭탄은 별도 보관되며, 전시에 소요량만큼 조립되어 항공기에 장착된다. 따라서 전시 신속한 작전 지원을 위해 조립 소요 시간에 대해 요구가 소요군으로 부터 제시되었다. 무기체계 개발기관인 국방과학연구소에서는 시제가 제작되기 전 설계단계에서 유도폭탄의 조립 소요 시간에 대한 요구도 만족여부를 확인하기 위하여 DELMIA 기반 시뮬레이션을 수행하였다<sup>[10]</sup>.

시뮬레이션을 위해 정비사 모델링은 협업이 가능하도록

록 표준 한국 남성 체형을 기준으로 2인 1조 휴먼 모델을 구성하였다. 유도폭탄의 조립 과정은 세밀한 동작 구현이 필요하다. 우선 조립 동작에서 다른 부품들과의 간섭이 발생하는지를 확인하고, 간섭이 일어날 경우 작업자의 자세나 위치를 변경하여 간섭이 일어나지 않도록 수정하였으며 조립 작업이 작업자 시야 내에서 이루어지는가를 확인하기 위해 작업자의 자세를 반복 수정하였다. 또한 작업자 자세 분석을 통하여 가장 적은 하중을 가진 안정적인 자세를 최종적인 조립 동작으로 적용하였다. 조립 시간의 많은 부분은 주요 부품을 조립하는데 사용되는 볼트와 같은 표준부품을 반복적으로 작업하는 시간에 소요된다. 따라서 신뢰성 있는 분석 결과를 얻기 위해서는 표준 부품에 대한 작업 시간 자료가 요구되었다. 본 논문에서는 MIL-HDBK-470A에서 제시하는 표준부품의 작업 시간을 활용하였으며 기타 추가로 필요한 표준부품에 대한 작업 시간은 해당 작업을 직접 동영상으로 촬영 후 적합한 작업 시간을 판단하였다<sup>[11]</sup>. 총 작업 시간은 각각의 동작 구현 시 프로그램 상에서 휴먼 모델의 이동 거리와 움직이는 속도에 따라서 자동으로 계산된다.

개발 초기 군 요구 사항을 고려하여 조립 시간에 대한 설계 요구 조건은 40분 이내로 설정되었으며, 설계단계에서 DELMIA시뮬레이션을 통해 예측된 조립 시간은 38분이다. 실제 운용 평가 단계에서 시제를 활용하여 조립을 수행한 결과 37.1분이 측정되어 조립 시간에 대한 설계

요구조건을 만족함을 확인할 수 있었다.

본 시뮬레이션을 통해 시뮬레이션 결과와 실제 측정값이 매우 근사한 결과를 보여 줌으로써 DELMIA를 활용한 시뮬레이션의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 또한 가시적인 조립 시뮬레이션을 통해 조립 절차 및 설계에 대한 오류를 설계 단계에서 수정함으로써 수정 설계에 따른 비용 및 시간을 최소화 할 수 있었다.

### 3.2 설계 영향성 검토

유도무기 설계 단계에서 설계된 CAD 모델을 바탕으로 정비성 검토를 수행하여 구성품 간섭제거 등 11건의 설계 오류 및 개선 사항을 도출하여 설계에 반영하였다. Fig. 6은 시스템 점검용 투명 점검창의 위치 및 크기를 판단하기 위하여 정비사 자세에 따른 시야 범위를 보여 주고 있다. 이를 통해 운용자가 안정적인 자세에서 점검이 가능할 수 있도록 점검창을 수정 설계하였다.

### 3.3 군수지원 관련 회의 자료 작성

군수지원검토(LDC : Logistics Data Check) 회의는 설계내용에 대하여 군수지원분석한 결과를 각종 양식에 따라 작성한 후 사용자와 검토하는 과정으로 과거에는 책자형 기술 자료검토 위주로 업무가 진행되었다. 그러나 본 시뮬레이션 결과를 동영상으로 제작하여 각각의 정비 업무 분석내용 검토 시 활용함으로써 검토자의 시스템 이해도를 높일 수 있어 효과적인 검토가 가능하였다. 본 유도무기체계 개발의 총 정비 업무는 83건이었으며 주요 업무를 중심으로 55건의 정비 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 종합군수지원 실무조정회의, 상세설계 검토회의, 시험평가 등에 적용되었으며, 이에 대한 적용 예는 Fig. 7과 같다.

Table 2. Assembly Working Time

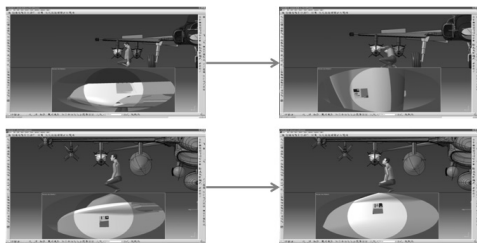
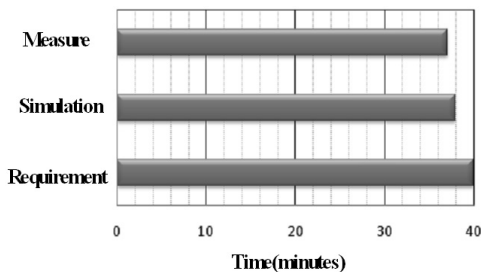


Fig. 6. Maintainability Check Example

### 3.4 전자교범 및 전자 교보재 개발

전자교범은 “체계의 고장탐구 및 정비를 위해 필요한



Fig. 7. Logistic Data Check(LDC)



Fig. 8. IETM Example

기술정보를 최종 사용자에게 상호대화식 형식으로 시현하기 위해 서식 및 구성을 최적화 한 체계”로 정의한다<sup>12)</sup>. 따라서 전자교범에는 사용자의 이해도를 높이기 위한 동영상도 포함될 수 있으므로 본 시뮬레이션 결과를 이용하여 총 55건의 동영상도 교범에 반영하였다. 과거에는 동영상을 포함시키기 위하여 시제품을 이용하여 실 작업자가 정비 업무를 수행하는 과정을 동영상으로 촬영 후 편집하여 전자교범에 포함하는 절차로 수행되어야 했으나 본 시뮬레이션 결과를 직접 활용함으로써 25일 정도 소요되는 일반 촬영방법에 비하여 5일정도로 단축하는 효과를 볼 수 있었다.

전자 교보재는 사용자의 교육에 있어서 일반 책자형 교안을 대신한다. 주요 특성은 다양한 멀티미디어 자료 제공, 문제은행 방식의 평가기능 제공, 화면 이동의 네비게이션 기능 등이 있다. 시뮬레이션 결과의 동영상 작업 내용은 전자교보재의 멀티미디어 자료 제공기능을 대체하는 효과를 보였다. Fig. 8은 전자교범에 적용된 사례를 보여 주고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 유도무기체계 개발에 정비성 시뮬레이션을 적용한 효과를 확인하였다. 정비성 분석 전문가 또는 군수지원 전문가에 의해 수행되는 설계내용에 대한 정비성 검토를 실시간으로 햅틱장비를 이용하여 수행할 수 있었으며 유도무기 조립절차 및 항공기 장착 형상에 대한 정비성 검토를 시뮬레이션 함으로써 제작 후 발생하는 설계 결함사항을 설계단계에서 반영할 수 있는 체계를 구축하여 수정 설계에 따른 비용 및 시간을 최소화 할 수 있었다. 또한, 이러한 결과물을 군수지원 개발 업무에 활용함으로써 해당 군수지원 요소 개발기간을 단축할 수 있

음을 확인하였다.

본 연구 결과는 정비성 시뮬레이션을 이용하여 유도무기체계 뿐만 아니라 모든 체계개발에 적용 시에도 효과적일 수 있음을 확인하였다. 또한, 향후 정비성 시뮬레이션에 대한 기반 기술 및 응용 기술을 확보하여 궁극적으로 연구개발 과정에서 종합군수지원 실기평가를 대체할 수 있는 핵심기술들을 확보하였다.

#### 참 고 문 헌

1. David Alexander “Computers in engineering”, Aerospace Engineering April 2004, pp. 31.
2. www.boeing.com/assocproducts/vps
3. A. Gomes de Sa, and G. Zachmann, “Virtual Reality as a Tool for Verification of Assembly and Maintenance Processes”, Computers & Graphics 23, pp. 398-403, 1999.
4. A. Seth, H. Su, and J. M. Vance, “SHARP: A System for Haptic Assembly & Realistic Prototyping”, Proc. of the DETC’06/CIE-99476, Sept. 10-13, 2006.
5. Luis Matey et al., “A Large Haptic Device for Aircraft Engine Maintainability”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.24, No.6, pp. 70-74, Nov.-Dec. 2004.
6. Dimitris Mavrikios<sup>1</sup>, Vassiliki Karabatsoyl, Kosmas Alexopoulos<sup>1</sup>, George Chryssolouris “A Virtual Reality based Paradigm for Human-Oriented Design for Maintainability in Aircraft Development”, 7th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference, September 2007.
7. C. Le Roy, “Airbus Practice for Maintainability and Human Simulations”, EDKMT1-Ref, OR0500004 Issue 1, 2005.
8. Moon-Yeol Kim, Young-Keun Park, Cheon-Young Kim, Sung-Lae Kim, Tae-kyu Reu, “The Development of the Variable Virtual Cockpit Prototyping System”, KSAS 2007 Spring Conference Proceedings, pp. 736-739, 2004. 4.
9. Jun-kyu Lee, Hyunjun Ju, Na-hyeon Jung, Ji-Youn Yang, Taekyu Reu, “Implementation of an Assembly/Disassembly Simulation for the Maintenance Task Verification”, KSAS 2009 Fall Conference Proceedings, pp. 1173-1176, 2009. 11.
10. Keun-Young Reu, Cheon-Young Kim, Na-hyeon Jung, Hyunjun Ju, Byoung-Su Kim, “Guidance weapon assembly simulation using the DELMIA”, KSAS 2008 Fall Conference Proceedings(II), pp. 1220-1223, 2008. 11.
11. MIL-HDBK-470A, Designing and Developing Maintainable Products and Systems, August 1997.
12. ILS development guidelines, DAPA, 2009.1.



**박 영 근** (pyk@add.re.kr)

1988 한국항공대학교 항공기계공학과 학사  
1990 한국항공대학교 항공공학 석사  
2005 한국과학기술원 기계공학(항공우주공학전공)박사  
1993~현재 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 체계공학



**주 현 준** (jubal@add.re.kr)

1991 전남대학교 산업공학과 학사  
1993 전남대학교 산업공학과 석사  
2003 국제신뢰성전문가(CRE)  
1993~현재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 군수공학, 체계공학, 신뢰성공학



**김 천 영** (cykim@add.re.kr)

1991 광운대학교 전자계산기공학과 학사  
1993 광운대학교 대학원 전자계산기공학과 석사  
1993~현재 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 체계공학, 모델링&시뮬레이션, 모델 기반 시뮬레이션, 가상공학(가상시제)



**정 나 현** (nahyeon@add.re.kr)

1988 한국항공대학교 항공기계공학과 학사  
1992 한국과학기술원 기계공학과(항공우주공학전공) 석사  
1993~현재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 종합군수지원, 체계안전공학



**이 준 규** (jkleee@add.re.kr)

2004 한국과학기술원 물리학과 학사  
2006 한국정보통신대학원 공학부 석사  
2006~현재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 가상현실



**이 인 원** (liw@add.re.kr)

1984 인하대학교 항공우주공학과 학사  
1994 한국과학기술원 기계공학과(항공우주공학전공) 석사  
1984~현재 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 체계공학