

원자력발전소 시뮬레이터의 소프트웨어 개발요건

박근옥^U 이종복 서용석
한국 원자력 연구소
{gopark, jbleel, yssuh}@kaeri.re.kr

Software Development Requirements for Nuclear Power Plant Simulators

Park-Geun Ok^U Lee-Jong Bok Shur-Yong Suk
Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

원자력발전소의 운영 목표는 안전하고 효율적으로 설비를 운영하여 양질의 전기를 소비자에게 공급하는데 있다. 시뮬레이터는 설비의 운영에 중추적인 역할을 담당하고 있는 운전원의 작업 숙련도 향상뿐만 아니라 설계도구로 활용되는 중요한 설비이다. 국내 원자력산업계는 연구기관의 주도하에 다수의 시뮬레이터를 개발하였으며 최근에는 일반 산업체를 개발에 참여시키고 있다. 그러나, 시뮬레이터의 하드웨어와 소프트웨어 개발을 위한 관련 요건이 일반 산업체에게 충분히 인식되지 못하여 개발에 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 시뮬레이터 개발을 위한 소프트웨어 개발요건을 고찰하고 국내 일반 산업체에게 권고되는 개발 참여 전략을 제안한다.

1. 서론

시뮬레이터는 원자력발전소를 안전하고 효율적으로 운영할 수 있도록 원자력 관련 종사자를 교육훈련 시키는 데 일반적으로 사용되는 도구이다. 시뮬레이터는 컴퓨터 환경을 이용하여 각종 발전설비의 과도현상, 정상 및 비상 운전상태를 실제의 원자력발전소와 동등한 수준으로 모의해 준다. 다양한 유형의 시뮬레이터가 있으나 이들은 NPA(Nuclear Plant Analyzer), CNS(Compact Nuclear Simulator), 전 규모 훈련용 시뮬레이터(Full Scope Simulator)의 세 가지로 구분할 수 있다. NPA는 시스템 설계와 해석에 사용되며, CNS는 원자력발전소를 구성하는 각 계통의 기본교육에 사용된다. 전 규모 훈련용 시뮬레이터는 원자력발전소를 직접 운전하는 운전원의 숙련도 향상 훈련에 사용되며 동시에 각종 연구개발 활동에 이용된다[1][2][3].

최근에는 보다 경제적이고 안전한 새로운 원자력발전소의 개발, 설계의 타당성 검증, 운전작업 성능을 높일 수 있는 각종 운전작업 지원 시스템 개발, 설계에 내포된 인적요인(human factor)의 연구 등을 위하여 실정에 적합한 시뮬레이터가 계속 개발되고 있다. 국내 원자력 산업계는 연구기관을 중심으로 시뮬레이터 개발을 추진

해 왔으나 개발기술이 성숙됨에 따라 최근에는 일반 산업계를 참여시키고 있다. 원자력산업은 전형적인 거대 산업이고 시스템 개발과정의 투명성, 철저한 시험, 고품질의 개발 결과물을 요구하므로 일반 산업체가 시뮬레이터 개발에 참여하려면 높은 진입장벽을 극복해야 한다. 본 연구에서는 그 동안 국내 일반 산업체가 시뮬레이터 개발에 참여하였던 경험을 살펴보고 보다 성공적인 시뮬레이터 개발을 위하여 개발자가 인식해야 할 시뮬레이터 소프트웨어 개발요건과 개발참여 업체에게 권장되는 개발전략을 제시한다.

2. 관련 표준

원자력발전소 시뮬레이터 개발에 적용되는 표준은 아직까지는 개발자가 반드시 준수해야 하는 강제사항은 아니다. 그러나, 표준을 준수하지 않는 시뮬레이터는 일반적으로 수용되지 않는다. 시뮬레이터 개발자에게 유용한 주요 관련 표준은 RG 1.149[4], ANSI/ANS-3.1[5], ANSI/ANS-3.5[6] 등을 들 수 있다. 이들 표준은 시뮬레이터 개발을 위한 상위수준의 개발요건만을 제시하고 있으므로 시뮬레이터 개발자는 참고문헌 [7]에서 [9]를 포함한 IEEE와 NUREG (Nuclear Regulatory

Guide)의 관련 표준을 참조해야 한다.

3. 국내 산업계의 시뮬레이터 개발 참여경험 고찰

원자력 연구기관과 전력기관이 발주한 원자력발전소 시뮬레이터 개발에 참여한 국내 업체는 아직 많지 않다. 대기업의 경우에 2 개, 중소기업의 경우에 5 개 업체 정도만이 원자력발전소 시뮬레이터 개발에 참여한 실적을 갖고 있다. 그러나, 이들 업체도 시뮬레이터 개발의 일부분 영역만을 취급하였으므로 완전한 기술을 보유하고 있다고 말하기 어려운 실정이다. 최근 몇 년 동안에 연구기관이 발주한 시뮬레이터 개발에 참여하였던 업체의 개발 경험을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 시뮬레이터 관련 표준 내용과 발주기관의 개발 요구사항을 충족할 수 있는 개발 제안서 작성이 쉽지 않다.
- (2) 시뮬레이터를 구성하는 소프트웨어의 개발요구사항이 이질적이어서 유사 시스템 개발경험이 없으면 개발에 참여하기 어렵다.
- (3) 소프트웨어 개발과정에 철저한 문서화 작업, 확인 및 검증, 시험 등을 요구하므로 개발부담이 크다.
- (4) 시뮬레이터 개발에 요구되는 기간이 길고 원자력산업계로부터의 발주 빈도가 낮아 장기적인 기술투자가 어렵다.

사실상 상기와 같은 어려움을 국내 업체가 소화할 수 있는 능력을 보유하지 못하였기 때문에 시뮬레이터 개발은 연구기관 또는 해외업체와의 협력을 통하여 개발되어 왔다. 향후 설계되고 건설되는 원자력발전소는 디지털 시스템에 기반을 두므로 소프트웨어 개발이 차지하는 비중이 매우 높다. 또한 원자력발전소를 운영하는데 사용되는 감시, 제어, 보호용 응용 소프트웨어는 시뮬레이터의 경우 보다 엄격하게 고 품질을 요구하고 있다. 이러한 실정을 감안할 때 국내 산업계는 원자력산업 환경에 요구되는 소프트웨어 개발요구를 충족시킬 수 있는 국내 업체의 육성이라는 문제를 앓고 있다.

4. 소프트웨어 개발요건

원자력발전소용 시뮬레이터에 사용되는 하드웨어는 일반 산업계에서 사용중인 장비를 구매 또는 제작하여 사용하므로 개발요건 충족에 특별한 장애가 없다. 시뮬레이터를 구성하는 소프트웨어는 시뮬레이션 모델, 강사작업반(instructor station) 소프트웨어, 인간기계연계(man-machine interface) 소프트웨어로 크게 구분할 수 있다. 각 소프트웨어는 요구되는 성능특성요건과 개발공정요건을 만족해야 한다.

4.1 성능특성요건

성능특성은 모의 충실도(fidelity of simulation), 모의 시간규모(time scale of simulation), 모의 범위(scope of simulation), 프로세서의 속도, 프로세서의 정밀도로 구분할 수 있다. 이들 특성은 상호 연관성을 가지므로 하나의 특성에 대한 수준의 증가는 다른 특성에 대한 수준의 감소를 수반한다. 즉, 모든 특성의 수준을 증가시키려면 투자경비의 상승부담을 감수해야 한다.

모의 충실도는 시뮬레이션을 실행하는 소프트웨어가 실제의 발전소가 갖는 동적 특성(예 : 열역학적, 수력학

적, 물리적 반응특성)을 정확하게 표현하는 정도를 의미한다. 모의 충실도에 대한 사용자 요구가 높을수록 시뮬레이션 모델을 구성하는 수학방식의 유형이 다양하고 각 방식에 대한 수치 연산의 정밀도가 높아진다. 이는 고성능의 컴퓨터 환경을 요구하게 되고 실시간 성능특성 요건만족에 큰 영향을 미치게 된다.

모의 시간규모는 소프트웨어가 시뮬레이션을 실시간(real time) 보다 느리게 또는 빠르게 실행될 수 있는 정도를 의미한다. 원자력발전소 시뮬레이터는 사용자가 발전소 이상상태의 진행을 느린 속도로 모의하면서 특정한 운전변수의 추이변화를 면밀히 진단하는데 많이 사용된다. 실시간 보다 빠르게 진행되는 모의의 경우, 시뮬레이션 모델 자체가 컴퓨터 상에서 반드시 빠르게 진행되지는 않는다. 일반적으로 빠르게 모의를 진행할 필요가 있는 특정 운전변수는 빠르기의 요구에 따라 서로 다른 유형의 수학방식을 사용함으로써 사용자 요구를 충족시킨다.

모의 범위는 실제의 원자력발전소를 구성하는 다양한 하위계통들 중 어느 계통까지의 동적 특성을 시뮬레이터가 모의하는 가를 의미한다. 모의범위 중에서 시뮬레이터가 보유해야 할 오동작(malfunction) 유형과 동적 특성의 정밀도 요구는 소프트웨어 개발작업량을 좌우하는 주요 변수이다.

프로세서의 속도는 주어진 문제를 해결하기 위하여 사용되는 컴퓨터의 처리속도를 의미한다. 프로세서의 정밀도는 단어 크기(word size), 즉 부동소수점 연산치리에 사용되는 32 비트 또는 64 비트의 크기를 의미한다.

4.2 개발공정요건

시뮬레이터를 개발하기 위한 공정요건은 시스템 요구분석, 교육 및 훈련 요구사항 정의, 세부 개발목표 설정과 시험요건의 개발, 소프트웨어 개발 및 구현, 개발제품의 시험평가로 구성된다.

시스템 요구분석 공정은 사용자(시뮬레이터 개발 발주자)가 요구하는 시뮬레이터의 성능특성요건, 시뮬레이터로 훈련을 받는 사람(예 : 운전원)의 기능적 역할, 원자력발전소 운전환경에 대한 작업 및 직무특성 등을 이해하고 이와 관련된 정보를 수집 및 분석하는 단계이다. 이 단계에서 시뮬레이터 개발자는 세 가지 유형 중에서 사용자가 어느 유형의 시뮬레이터를 개발하려는지 확실하게 인식해야 한다. 일반적으로 NPA의 경우에는 고도의 연산 정밀도가 요구되지만 실시간 응답특성은 낮고 사용자의 작업특성은 단순한 특징을 갖는다. 전 규모 훈련용 시뮬레이터의 경우에는 연산 정밀도 요구는 비교적 낮으나 실시간 응답특성 충족이 매우 중요한 비중을 차지하며 사용자의 작업특성이 복잡한 양상을 갖는다.

교육 및 훈련 요구사항 정의 공정은 사용자가 어떤 목적과 용도에 주안점을 두고 개발이 완료된 시뮬레이터를 사용할 의도를 갖고 있는 가를 파악하고 이를 문서화하는 단계이다. 비록 시뮬레이터가 원자력발전소 환경에 근접하는 모의기능을 갖는 설비이지만 사용자가 의도하는 교육훈련의 목표에 따라 시뮬레이터 소프트웨어 개발 범위는 크게 달라진다. 따라서 시뮬레이터 개발자는 사

용자가 의도하는 교육훈련에 대한 요구사항을 정확하게 정의하고 이를 문서화해야 한다.

세부 개발목표 설정과 시험요건의 개발 공정은 이전단계 공정의 작업결과를 통합하여 다음과 같은 항목내용을 결정하고, 이에 대한 명세서를 작성하는 공정이다.

- (1) 응용 소프트웨어가 표출해야할 속성(behavior)
- (2) 속성이 달성되어지는 조건(하드웨어 장비의 상태, 요구되는 작업 지원도구, 시뮬레이터의 전반적인 운영환경 등을 포함)
- (3) 성능척도(속도, 정확도 등)
- (4) 수락할만한 성능의 기준이 되는 근거(예 : 참조 발전소, 다른 시뮬레이터 등)
- (5) 시험인자(소프트웨어 단위시험, Factory Acceptance Test, Site Acceptance Test 등에 사용하고 시험의 성공과 실패를 판별하는데 적용할 인자)

소프트웨어 개발 및 구현 공정은 세부 개발목표 설정과 시험요건의 개발 공정 단계에서 작성한 명세서를 컴퓨터 환경에서 구현하고 소프트웨어 단위시험을 수행하는 단계이다. 이 단계에서는 다음과 같은 부수적인 작업도 동시에 이루어질 수 있으므로 시뮬레이터 개발자는 이에 대한 개발업무가 사용자의 책임인지 개발자의 책임인지를 분명하게 해야 한다.

- (1) 훈련을 시키는 강사와 훈련받을 교육생이 사용할 각종 절차서와 교재
- (2) 교과과정 개발(초급, 중급, 고급 등)
- (3) 시뮬레이터 환경에 첨가되는 지원 시스템 개발(예 : 전자운전절차서, 진단시스템, 자료관리 시스템 등)

개발제품의 시험평가 공정은 FAT(Factory Acceptance Test)와 SAT(Site Acceptance Test)로 구분할 수 있다. FAT는 사용자의 참여 하에 시뮬레이터 개발자에 의하여 수행된다. SAT는 시뮬레이터를 구성하는 하드웨어와 소프트웨어가 사용자가 요구하는 지정된 현장에 모두 설치 완료된 후, 시뮬레이터 개발자의 참여 하에 사용자에게 의하여 수행된다. FAT와 SAT의 수행을 위하여 APT(Acceptance Test Procedure)가 개발되어야 한다. 따라서 ATP 개발을 위한 사용자와 개발자의 책임이 사전에 정의되어야 한다.

5. 국내 산업계의 개발전략 제언

국내 업체가 원자력발전소 시뮬레이터 개발에 어려움을 느끼는 요인은 적합한 개발전략을 갖고 있지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서는 그 동안의 시뮬레이터 개발경험을 바탕으로 다음과 같은 개발전략을 권고하고자 한다.

- (1) 시뮬레이터를 구성하는 소프트웨어(시뮬레이션 모델, 강사작업반 소프트웨어, 인간기계연계 소프트웨어) 중 어느 영역의 소프트웨어 개발에 주력할 것인지를 결정한다. 단일 회사 또는 단일 조직만으로 서로 이질적인 속성을 갖는 시뮬레이터 소프트웨어를 모두 개발하기에는 조직관리와 인력투입 부담이 크기 때문에 업체의 실정에 적합한 영역의 선택이 필요하다.
- (2) 자사의 능력으로 개발하기 어려운 소프트웨어 개발 영역은 유사 경험이 있는 다른 회사에게 개발을 맡기고

타 회사와 함께 개발조직을 구성하여 시뮬레이터 개발수주에 참여한다. 본 연구기관이 약 3년에 걸쳐 개발하였던 훈련 및 실험용 시뮬레이터의 경우 해외의 1개 업체와 국내의 2개 업체가 개발조직을 구성하여 성공적인 개발을 수행하였다[10].

(3) 사용자가 제안요청서를 통해 요구하는 시뮬레이터의 성능특성요건과 개발공정요건을 관련 표준의 내용과 비교하여 면밀히 분석하고 이를 바탕으로 제안서를 작성한다. 기존의 개발경험에 비추어볼 때 국내 업체는 대기업과 중소기업 모두 제안서 작성에 취약점을 갖고 있다. 시뮬레이터의 성능특성요건과 개발공정요건을 정확하게 파악하고, 요건 중 충족하기 어렵거나 제약이 필요한 요건은 반드시 제안서 제출 시에 명시해야 한다.

(4) 개발공정 요건에서 살펴보았듯이 원자력발전소 시뮬레이터 개발에는 소프트웨어 개발 자체 이외에도 많은 개발작업이 포함되어 있다. 따라서, 개발 참여업체는 개발참여 이전에 그러한 개발업무가 사용자의 책임인지 개발자의 책임인지를 분명하게 명시한다.

(본 연구는 과학기술부에서 시행하는 원자력연구개발사업으로 수행되었음)

6. 참고 문헌

- [1]. 박재창 외, "Compact Nuclear Simulator 성능향상 기술개발", 한국원자력학회 1999 추계학술발표논문집.
- [2]. 김요한 외, "원자력교육원 제2시뮬레이터 검증용 발전소 모델링", 한국원자력학회 1999 추계학술발표논문집
- [3]. 정재준 외, "고리 원자력발전소 1, 2 호기 원전분석기 개발", 한국원자력학회 1999 추계학술발표논문집
- [4]. USNRC, "Nuclear power plant simulators for the operator training", Regulatory Guide 1.149, 1981.
- [5]. ANSI/ANS-3.1-1981, "Selection, qualification and training of personnel for nuclear power plant", 1981.
- [6]. ANSI/ANS-3.5-1985, "Nuclear power plant simulators for use in operator training", 1985.
- [7]. IEEE std 1046-1991, "Application for distributed digital control and monitoring for power plants".
- [8]. NUREG/CR-2353, "Specification and verification of nuclear power plant training simulator response characteristics".
- [9]. NUREG-5930, "High integrity software standards and guidelines".
- [10]. 심봉식 외, "Development of a full scope Human Machine Simulator for Human Factors Experiments", 한국원자력학회 1997년 춘계학술대회논문집.