2000 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

Linux-PC 에서 Compact Nuclear Simulator 소프트웨어의 재사용

Reuse of the Compact Nuclear Simulator Software under PC with Linux

차 경호, 박재창, 권기춘, 이기영

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

본 연구는 Open Source Software(OSS)를 탑재한 PC 에서 시뮬레이터의 원시 프로그램(source program)을 재사용하고, 그 활용을 높이기 위한 목적으로 수행되었다. 이러한 연구를 위해, 연구 및 훈련을 위한 한국원자력연구소의 축소형 시뮬레이터(Compact Nuclear Simulator: CNS)에 사용된 원시 프로그램을 Linux-PC 환경에서 재사용을 구현하여 고찰하였다. 재사용 구현에는 500 MHz PC와 Linux 2.2.5-22 커널이 사용되었으며, 구현된 시뮬레이션 prototype은 CNS의 운전제어반을 이용하여 주요 기능이 시험되었다. 단지 CNS 프로그램만을 Linux-PC 환경에서 재사용하여 제한적이지만, 소규모 시뮬레이터 개발 및 upgrade, PC 환경의 시뮬레이션, 그리고 예측 시뮬레이션에 유용한 것으로 예측되었다.

Abstract

This study was approached to reuse source programs for a nuclear simulator under PC with Open Source Software(OSS) and to extend its applicability. Source programs in the Compact Nuclear Simulator(CNS), which has been operated for institutional research and training in KAERI, were reused and implemented for Linux-PC environment with the aim of supporting the study. PC with 500 MHz processor and Linux 2.2.5-22 kernel were utilized for the reuse implementation and it was investigated for some applications, through the functional testing for its main functions as interfaced with compact control panels in the current CNS. Development and upgrade of small-scale simulators, establishment of process simulation for PC, and development of prototype predictive simulation, can effectively be enabled with the experience though the reuse implementation was limited to port only CNS programs for PC with Linux.

1. 서론

원자력 분야의 시뮬레이터 사용은 운전원 훈련뿐 아니라 계통개발과 사고관리 등 그 응용이 확대되고 있다. 최근 PC 를 시뮬레이터에 사용하여 비용과 유지보수에서의 경제성을 확보하려는 노력이 증가하고 있다. 고리 훈련용 시뮬레이터의 upgrade 가 그 사례가 될 수 있다.

한편, PC 와 Open Source Software(OSS)를 시뮬레이터 개발과 upgrade 에 활용하는 것도 하나의 접근(approach)이 될 수 있다. OSS 로 알려진 Linux 는 운영체제 자체뿐 아니라 대부분의 유틸리티들도 개방(open)되어 컴퓨터 프로그램 개발에서의 비용이 절감될 수 있고, 호환성과 안정성 측면에서도 좋은 성능을 나타낸다. 잦은 버전향상에도 불구하고, 그 사용이 증가하는 경향을 띤다.

한국원자력연구소에서 운용중인 Compact Nuclear Simulator(CNS)는 실규모 시뮬레이터(full-

scope replica simulator)의 크기가 축소된 운전 제어판넬(Compact Control Panels)과, Small LOCA 와 같은 발전소에서 발생 가능한 중요 사건들의 대부분을 시뮬레이션할 수 있다. 이러한 이유에서 CNS 원시 프로그램(source program)을 Linux-PC 환경에 재사용하여, 그 응용과 활용 가능성을 고찰하였다. 그리고, 소규모 시뮬레이터 서버로서의 기능성을 확인하기 위해 CNS 에서 주요 기능을 시험하였다.

재사용 구현은 편의상 C 언어를 사용하였는데, 이는 Linux 자체뿐 아니라 Linux 응용 개발에서도 C 언어를 많이 사용하기 때문이다. 그리고, 안전 프로그래밍(Safe Programming)에 대한 NRC/CR-6463[5]의 C 언어에 대한 권장사항 일부를 확인하기 위한 저자의 의도일 뿐, Fortran 언어로 씌어진 원시 프로그램을 그대로 이식해도 문제가 없을 것으로 간주된다.

2. 배경

2.1 연구목적

부품단종이나 기기 노후화로 인하여 컴퓨터 교체, 프로그램 이식, 그리고 디바이스 드라이브나 공학 응용 프로그램의 수정과 개발이 요구되기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 상용기기와 표준적용, 모듈설계 등 다양한 접근이 시도되고 있다. 특히, 원자력 안전계통에 디지털 기술의 적용과 더불어 소프트웨어 결함에 대한 우려가 높아 왔다. 이러한 이유에서도 검증된 소프트웨어의 재사용은 비용과 개발기간 등에서 장점을 제공할 수 있으며, 시뮬레이터 개발에서도 소프트웨어 재사용은 Testing 과정에서 tuning 에 많은 시간을 할애하는 것에 비추어 예외일 수는 없다고 하겠다.

그러므로, 부품단종이나 기종생산의 중단에 따른 시뮬레이터 개발이나 성능향상이 요구될 때, 프로그램 재사용의 효과를 고찰하고자 한다. 그리고, 한국원자력연구소에서 사용되어온 CNS 프로그램을 Linux-PC 환경에서의 재사용을 통해 활용 가능한 응용을 제시하고자 한다. CNS 프로그램은 성능향상(upgrade)과 계측제어 시험설비 개발에 재사용되어 왔다.

2.2 Linux

핀란드 헬싱키 대학의 Tovalds 에 의해 인텔 80386 마이크로 프로세서의 보호 모드 프로그래밍을 배우고 싶어했던 동기에서 출발되어, 짧은 기간에 오늘날과 같은 Linux 로 개발되기에는 UNIX 호환(소스의 사용)과 익명 FTP 사이트(NIC. FUNET. FI)에 freax라는 운영체제에 대한 소스 코드의 공개(open source)라는 2 가지 사실과, Microsoft 와 경쟁적인 회사들의 Linux 에 대한 간접적인 지원이 중요한 요인으로 작용한 것으로 간주된다.

오늘날 네트워크(인터넷)을 통해서도 배포되는 Linux 의 특징은 소스가 공개되는 소프트웨어(Open Source Software: OSS), 코드 사용에서의 자유로움(code for free), 분산(네트워크) 개발환경으로 인한 프로그램 오류(error)의 빠른 검증, UNIX 와의 높은 호환성(high compatibility), 적절한 안정성(moderate stability), UNIX 와 같은 multi-tasking, 다양한 하드웨어의 사용가능(symmetric multiprocessor 등), multi-format file system(FAT16, FAT32, NTFS, Ext 2FS 등), multi-protocol networking(TCP/IP, IPX, AppleTalk 등), X11/Xfree86 graphic libraries 및 GNU C compiler & tools, 그리고 그래픽 사용자 인터페이스의 제공을 들 수 있다.

2.3 CNS

원자력발전소의 기초적인 계통교육을 목적으로 개발된 CNS 는 웨스팅하우스 3 loop, 993 MWe PWR 로 고리원자력발전소 3&4 호기의 설계 데이터를 참조하였으며, 는 프로세스 시뮬레이션을 위한 컴퓨터, 운전조작을 위한 제어스위치와 경보 표시 판넬, 그리고 그래픽 표현에 의한 정적, 동적 정보(변수, 상태)의 모니터링을 위해 3 개의 컬러 디스플레이 등 최소한의 제어실 기능을 갖도록 개발되었다.

그러나, 부품단종과 노후화로 인한 잦은 고장이 발생하여 시뮬레이터로서의 기능이 상실되어, 1997 년부터 3 년 동안 UNIX(HP-UX 10.2)를 탑재한 컴퓨터 시스템, Ethernet(TCP/IP 통신 프로토콜), Programmable Logic Controller(PLC), 그리고 컴퓨터 모니터(X-터미널)로 교체하여 성능향상(upgrade)을 수행되었다[4].

한편, CNS 의 VMS/MicroVAX-II 환경에서 운용되던 시뮬레이션 프로그램은 계측제어 시험검증설비를 위해 재사용되었다[1]. UNIX/HP-9000 환경에서 수 년간 검증되어온 프로그램은 CNS 성능향상에 다시 사용되었으며, 그래픽 디스플레이 페이지와 통신기능은 성능향상 이전 구현을 참조하여 상용 컴퓨팅 환경에 적합하도록 새로 개발되었다. 현재, 향상된 CNS 성능과 좌식 운전제어가 가능한 축소된 운전제어판넬을 이용하여 계통교육에 활용되고 있다.

3. CNS 프로그램의 재사용(Reuse)

3.1 설비 및 자원

프로그램 소스 수준의 이식은 컴퓨터 하드웨어, 운영체제, 프로그래밍 언어가 다른 컴퓨팅 환경에서 기존 프로그램을 사용하고자 할 때에 요구된다. 기존 원자력 시뮬레이터의 컴퓨팅 환경과 매우 다른 Linux-PC 환경에 이식할 소스 프로그램은 1999 년도에 성능향상이 완료된 CNS 의 버전을 사용한다. 재사용에 사용된 설비와 프로그램, 그리고 재사용 구현에 사용된 PC 하드웨어와 OSS 를 각각 [표-1]과 [표-2]에 요약하였다.

재사용 자원	설 명
운전제어판넬	기능시험에 사용
시뮬레이션 프로그램	CNS 에서 시험된 FORTRAN 프로그램
그래픽 프로그램	CNS 에서 Picasso-3 R2.3(UNIX 버전)을 이용하여 개발되어 사용되는 그래픽 디스플레이 페이지의 소스 프로그램 (프로그램 검증 등의 목적으로 이식되어 사용되었음)
디바이스(PLC) 인터페이스	CNS 의 시뮬레이션 컴퓨터와 PLC 사이의 데이터 통신을 위한 C 프로그램
초기조건 데이터	CNS 에서 사용된/생성된 데이터 파일들

[표-1] 재사용에 사용된 CNS 설비와 프로그램

구 분	자 원 목 록
상용 PC 하드웨어	500 MHz Intel processor (CPU) 64 MB memory/2 GB hard-disk 20” color monitor Ethernet LAN card (TCP/IP)
소프트웨어	Linux 2.2.5-22 GNU gcc 2.7 컴파일러 & f2c Picasso-3 R2.3 (OSS 는 아니지만 그래픽 디스플레이 페이지를 통한 검증을 위해 설치)

[표-2] 재사용 구현에 사용된 PC 하드웨어와 소프트웨어

3.2 프로그램 이식

프로세스 모델링 프로그램은 정적(static) 모델링 프로그램과 동적(dynamic) 모델링 프로그램들로 구성된다. 이러한 정정, 동적 프로그램 소스를 C 프로그램으로 번역(translation)하여 사용하였다(프로그램 번역을 위한 이유는 서론에서 언급하였음).

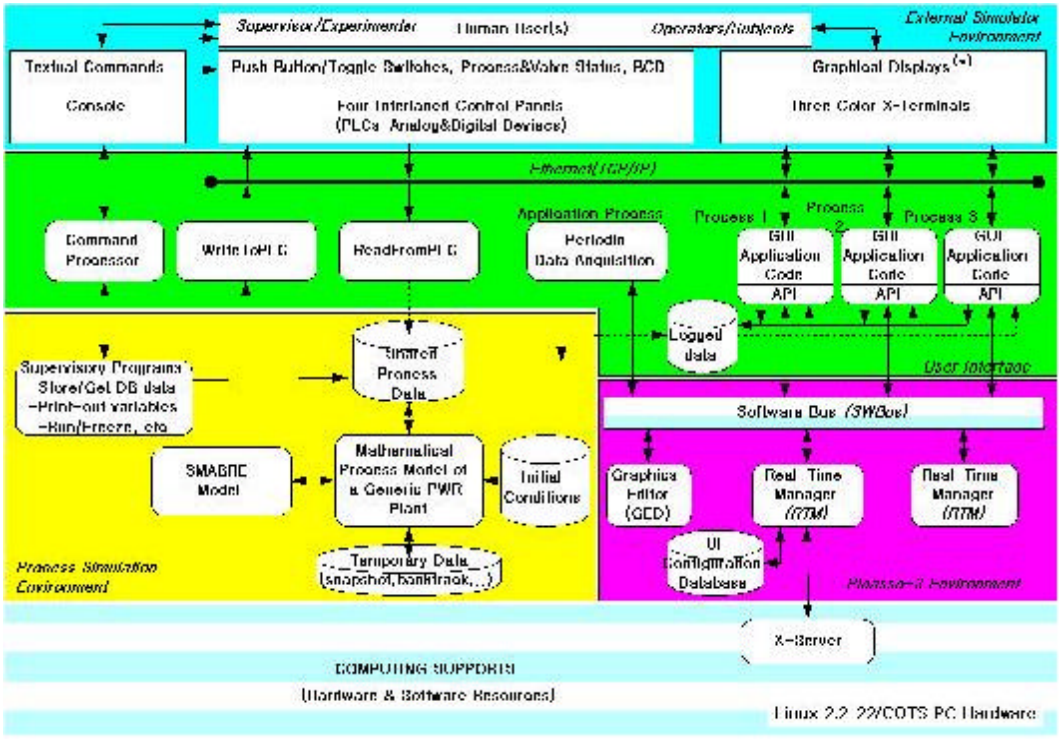
감독자(Supervisor) 프로그램은 Fortran 과 C 프로그램으로 구현되었으며, 이들 중 Fortran 프로그램은 C 프로그램으로 번역하여 사용되었다. 주 컴퓨터에 상주하는 감독자 프로그램에는 운전제어판넬에 설치된 스위치의 동작상태를 점검하기 위한 테스트 기능도 있다.

PLC 인터페이스 프로그램은 C 언어로 구현 되었으며, 소스 프로그램은 GNU gcc 컴파일러의 호환성으로 인해 프로그램 변경 없이 모두 재사용 하였다. 시뮬레이션에 사용되는 데이터 파일들은 CNS 에서 사용된 것을 그대로 사용하였다. 소스 프로그램을 Linux-PC 환경에서 번역한 후, 동기화를 위한 signal 처리, 공유 메모리 설정 등 약간의 소스 프로그램 수정만으로 Linux 환경에 이식된다.

CNS 에서 Picasso-3 R2.3 을 이용하여 개발된 응용 프로그램은 C/C++, 그리고 Picasso-3 의 언어 문법에 의한 객체지향(object-oriented) 프로그램이고, Linux 버전에 의해 소스 프로그램의 변경 없이 그대로 사용할 수 있어 이식을 위한 별다른 노력이 요구되지 않는다 (Windows/NT 환경에서도 Picasso-3 프로그램의 변경 없이 100% 재사용이 가능하다).

한편, 프로세스 시뮬레이션 프로그램의 프로세스 변수 값을 주기적으로 읽어서 Picasso-3 프로그램에 제공하기 위한 프로그램이 C 언어로 구현되었으며, 이 프로그램 또한 HP-UX(HP Compiler)와 Linux(GNU gcc Compiler)간의 호환성으로 인하여 소스 프로그램의 변경 없이 거의 대부분이 사용되었다. 이러한 Picasso-3 프로그램들은 OSS 가 아니라 할지라도 trending 등의 그래픽 정보가 제공되므로 기능 검증에 매우 유용하게 사용된다. 이러한 목적으로 인하여 Linux-PC 환경에 모두 재사용 하였다.

Linux-PC 환경에서의 소프트웨어 구조는 [그림-1]과 같으며, 이는 CNS 의 소프트웨어 구조와 거의 동일한 구조를 갖도록 구현되었다.

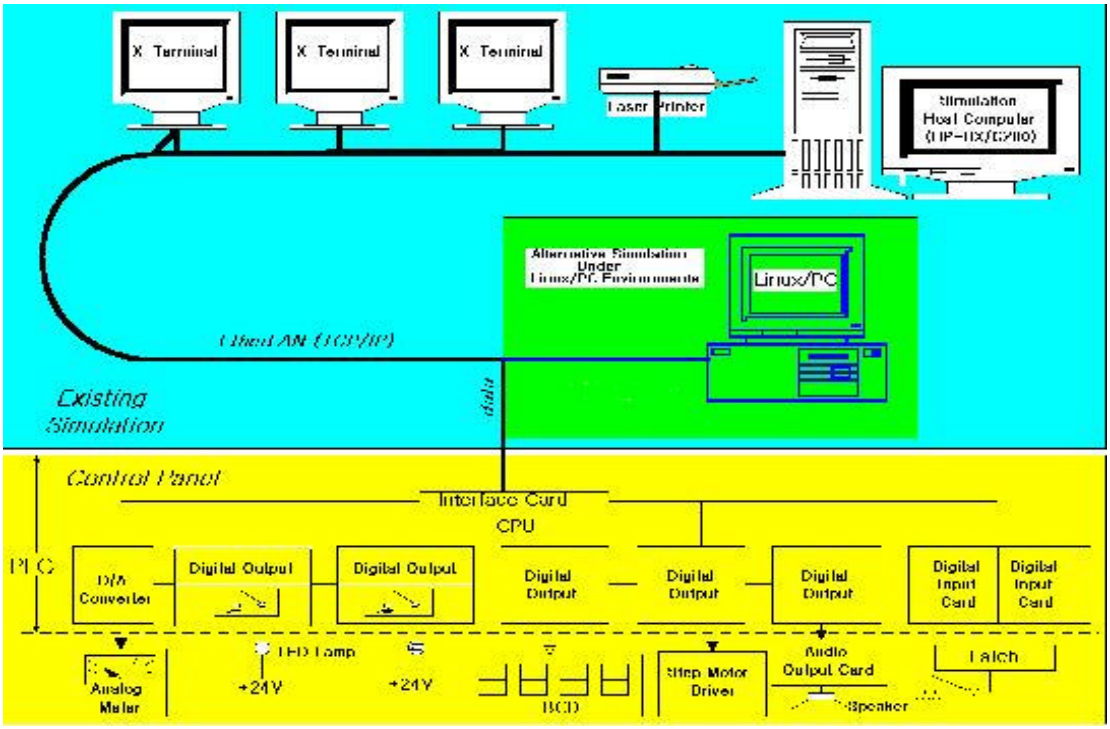


[그림-1] Linux-PC 환경에서의 소프트웨어 구조

4. 시험 및 평가

4.1 기능시험

Linux-PC 환경에서 CNS 프로그램의 재사용은 CNS와 같은 소규모 시뮬레이터를 개발하거나, PC 환경의 계통 시뮬레이션을 응용개발에 활용할 수 있겠다. 그러나, 이러한 목적만으로도 기능 검증은 주요 기능뿐 아니라 대부분의 프로그램 기능이 검증될 필요가 있으나, 본 연구에서는 충분한 시간이 할애될 수 없어 주요 기능만 검증하였음을 밝혀두고자 한다. Linux-PC 환경에 이식된 CNS 프로그램 검증은 [그림-2]와 같은 배치로 수행되었다.



[그림-2] 시험검증을 위한 CNS 에서의 Linux-PC 배치

기능 시험은 CNS에서 감독자 명령어와 초기조건 데이터를 이용한 프로그램 제어, 그래픽 디스플레이를 통한 프로세스 변수 값, 제어 스위치의 동작에 의한 제어기능에 대하여 검증하였다. 이 시험결과, Linux-PC 환경에서 CNS 프로그램의 이식은 문제가 없는 것으로 나타내었다. 그러나, Fortran으로 작성된 원시 프로그램을 GNU C 언어로 번역(translation)에 따른 시뮬레이션 변수 값(precision 등)에 대한 검증은 더 많은 시간이 필요한 것으로 생각된다.

4.2 평가

CNS와 같은 소규모 시뮬레이터의 Simulation Host(서버)로 사용하기 위해서는 Linux-PC의 자원과 성능이 충분한 것으로 예측된다. linux-PC 환경에서 CNS 프로그램의 이식을 통해 다음과 같은 몇 가지 교훈(Lessons)을 얻을 수 있었다.

(1) 호환성

비록 서로 다른 하드웨어 환경에서도 UNIX와 Linux 사이의 높은 호환성과 고급언어(High-Level Programming Language)의 높은 호환성이 적은 노력에 의한 downsizing이 가능하게 한다. 실제로, 대부분 Fortran으로 작성된 CNS 프로그램을 Linux 환경에 이식하는데 Linux와 C 언어에 대한 기본 지식을 가진 1인이 5일 정도(8시간 기준)의 시간이 소요되었다.

(2) 부품단종과 노후화

하드웨어는 부품단종과 노후화 문제가 심각할 수도 있지만, 소프트웨어는 하드웨어의 단종에는 다소 의존적일 수 있겠으나 소프트웨어의 노후화는 직접적으로 발생하지 않는다. 그러므로, 하드웨어의 단종과 노후화로 인하여 시뮬레이터를 새로 개발하거나 Retrofit 등에는 소프트웨어에 드는 비용과 노력을 최소화해야 한다. 극단적이긴 예일 수도 있겠으나 소프트웨어가 지원하지 못하는 하드웨어(device)를 사용한다면, 디바이스 드라이버에 해당하는 프로그램 소스를 변경하거나 적합한 새로운 소프트웨어(운영체제)를 사용해야 한다. 이러한 경우, Linux와 같은 OSS를 사용함으로써 시간과 비용을 최소화할 수 있다. 특히, 원자력 분야에서의 Proprietary design인 응용의 부품단종과 노후화 문제를 해결하기 위한 하나의 적극적인 solution이 될 수 있겠다.

(3) 성능

현재 CNS에서 사용되는 200ms/simulation cycle(Real-Time)을 적용할 경우, 500 MHz PC에서 전혀 성능저하를 나타내지 않는다. 그리고, 감독자 명령어의 의한 시뮬레이션 조작에서도 대부분 CNS에서와 같이 동작되는 것으로 나타났다. CNS의 운전제어판넬과 연계된 경우에도 초기화, 스위치를 통한 운전조작, 그리고 초기조건에 의한 시뮬레이션 수행에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

(4) 문제점

Linux-PC 환경에서는 프로그램 개발에 따른 비용 측면에서 매우 경제적일 수 있다. 그러나, 이에 따른 프로그램 오류, 결함, 고장에 대한 책임은 전적으로 개발자나 사용자 자신에게 있으며 Utility가 적다는 것이다. 이러한 이유로 인하여 실제 응용에 적용하려는 노력이 적극적이지 못한 것 같다. 실제로, CNS 성능향상을 계획하던 1997년에도 Linux는 보급되고 있었으나 검토를 하지 못했다. 그 이유로는 사용하려는 Utility(Picasso-3)의 Linux 버전이 없었으며, 그리고 Linux 환경에서 시뮬레이터 프로그램을 개발한 경험이 부족한 때문으로 생각된다.

4.3 응용 및 활용

Linux-PC 환경에서 CNS 프로그램을 재사용함으로써, 소규모 시뮬레이터 개발과 upgrade, 계통교육이나 응용 프로그램 개발을 위한 PC 환경의 시뮬레이션, 그리고 예측 시뮬레이션과 같은 응용에서 활용이 기대된다.

(1) 소규모 시뮬레이터 개발과 Upgrade

CNS와 같은 소형 시뮬레이터의 개발과 Upgrade에 Linux-PC 환경을 사용하여 비용절감의 효과를 얻을 수 있다. 그리고, UNIX에서 운용되던 Utility들이 Linux 버전으로 제공하려는 노력이 증가하고 있다. 그리고, Real-Time Linux, Linux clustering 등 새로운 커널들이 제공되고 있어, 운전원 훈련을 위한 시뮬레이터 개발에도 OSS의 활용이 기대된다.

(2) PC 환경의 계통교육

수 년간 검증되어온 시뮬레이터 프로그램을 Linux-PC에 재사용 함으로써, 기초적인 계통교육을 위한 학생용으로 활용이 기대된다. 훈련용 시뮬레이터의 프로그램 대부분이 발전소 주제어실을 전제로 개발되기 때문에, PC에서 사용하기 위해서는 제약이 따른다. 이는 CNS 프로그램에서도 여러 명이 1 대의 컴퓨터에서 각자의 시뮬레이션을 실행하기 위해서는 프로그램의 수정이 있어야 한다. 이러한 제약은 PC를 사용하여 각자의 시뮬레이션을 PC에서 실행함으로써 가능할 수 있다. 이러한 목적으로 사용할 경우, 운전제어판넬의 그래픽 구현(soft control panel)을 추가하여 사용한다면 계통교육의 효과나 응용개발의 효율을 높일 수 있을 것이다.

(3) 예측 시뮬레이션

수퍼바이져 운전원을 위한 주요 변수의 예측 시뮬레이션(Predictive Simulation)에 대한 선행 연구(Feasibility Study)가 OECD Halden Reactor Project(HRP)를 통해 알려진다[6]. 물론, 이러

한 예측 시뮬레이션 범위를 제어실 모니터링 변수나 발전소 전체 변수로 확장하여 예측하기 위해서는 슈퍼컴퓨터에 버금가는 컴퓨팅이 요구될 수 있다. 주요 변수에 대한 예측 시뮬레이션 개발에 Linux-PC의 특징을 이용하면 효율적이라 생각되며, 더 많은 검토가 요구된다. 참고로, Linux-PC 환경에 이식한 CNS 시뮬레이션 프로그램은 1개의 500 MHz Processor를 갖는 PC에서 200 ms의 Real-Time simulation cycle을 기준으로 약 5배 정도(40 ms)의 Simulation이 관찰되었다.

5. 결론

원자력 산업은 대부분 수출보다는 수입에 의존적인 산업으로 정착되어 왔다. 이로 인하여 발전소 수명동안 많은 부품과 기기를 수입하는 효과를 가져온 것으로 짐작된다. 그러므로, 원자력 분야에서의 Linux와 같은 공개된 소프트웨어 기술을 이용하는 Re-engineering Approach에 대한 검토가 필요한 것으로 여겨진다.

Linux 관련기술은 날로 성장해가는 특징을 나타내며, 네트워크 환경에서의 Linux 서버, 실시간 Linux(RT-Linux, RED-Linux, RTAI 등), 슈퍼컴퓨팅을 위한 Linux 클러스터링 등 예전과는 달리 상용 제품에 비하여 비용 측면에서 인기가 높다. 그리고, 최근 들어 PC의 성능대비 가격의 저렴화와 더불어 Linux와 같은 OSS의 장점은 더 많은 응용에 활용될 것으로 예측된다.

비록 CNS 프로그램의 재사용 결과를 바탕으로 기술하였으나, 시뮬레이터 개발이나 Upgrade, Predictive Simulation, 계통교육을 위한 Linux-PC 환경에서의 프로그램 재사용에 대해서 긍정적인 solution을 제공할 것으로 판단된다. 그리고, Linux와 같은 OSS의 활용은 시뮬레이터뿐만 아니라 다른 응용에서도 비슷한 효과가 있을 것으로 예상된다.

알림

이 연구는 원자력 중장기계획사업으로 수행되는 차세대원자로 설계검증 기술개발의 차세대원자로 설계관련 요소기술개발 과제에서 수행되었음.

참고문헌

[1] K.C. Kwon, et al. (1999) The Real-Time Functional Test Facility for Advanced Instrumentation and Control in Nuclear Power Plants, IEEE Transactions on Nuclear Science (SCI), 46(2), pp.92-99, April 1999.

[2] NRC (1997) Dedication of Commercial-Off-The-Shelf Hardware and Software (Chapter 8), In Digital Instrumentation and Control Systems in Nuclear Power Plants: Safety and Reliability Issues (Final Report), National Academic Press, WA, D.C.

[3] K.H. Cha, et al. (2000) Re-engineering of Compact Nuclear Simulator Using Commercial-Off-The-Shelf Equipment and Software Reuse (Extended Abstract), Submitted and accepted for NPIC&HMIT' 2000, November 2000.

[4] 박 재창 외 (1999) Compact Nuclear Simulator의 성능향상 기술개발, 한국원자력학회 '99 추계학술발표회 논문집(컴퓨터 CD), 1999년 10월 30일.

[5] NRC, Review Guidelines on Software Languages for Use in Nuclear Power Plant Safety Systems (US NRC/CR6463).

[6] OECD HRP (1996) CAMS Prototype Extension: Integration of Data Acquisition, Signal Validation, Tracking Simulator, Predictive Simulator, State Identification and Probabilistic Safety Assessment,

HWR-440, April 1996.