

FBDEditor: 원자력 계측제어 시스템 개발을 위한 FBD 설계 프로그램

이동아, 김의섭, 서영주, 유준범

건국대학교 정보통신대학
서울특별시 광진구 능동로 120 건국대학교
{ldalove, atang34, syjsmk, jbyoo}@konkuk.ac.kr

요약: 원자력 발전소의 안전계통이 디지털화 되면서 소프트웨어 기반인 Programmable Logic Controller (PLC)를 이용한 제어가 사용되어왔다. 최근 하드웨어 기반인 Field Programmable Gate Array (FPGA)를 이용한 제어기 적용에 대한 수요가 증가하고 있다. 본 논문은 기존의 PLC 용 소프트웨어 개발 언어인 Function Block Diagram (FBD)를 이용해 FPGA 기반의 제어기 설계가 가능하도록 지원하는 도구인 FBDEditor에 대하여 소개한다.

핵심어: Function Block Diagram, Field Programmable Gate Array, Computer-Aided Software Engineering Tool

1. 개요

원자력 발전소의 안전계통이 아날로그 기반 시스템에서 디지털 기반 시스템으로 전환되었다. 소프트웨어나 통신망 등의 디지털 기술이 채택됨에 따라 공동원인고장의 발생 가능성과 사이버 위협에 대한 위험 등이 증가하였다. 이러한 위험을 줄이기 위해 원자력 시스템은 기존의 소프트웨어 기반의 Programmable Logic Controller (PLC) 제어기 대신에 하드웨어 기반의 Field Programmable Gate Array (FPGA) 제어기를 도입하고 있다.

소프트웨어 기반인 PLC는 IEC 61131-3 표준에 정의된 5가지 언어(LD: Ladder diagram, FBD: Function block diagram, ST: Structured text, IL: Instruction list, SFC: Sequential function chart)를 사용해 개발한 소프트웨어를 사용한다. 이 중 FBD는 그래픽으로 된 언어로써 입력과 출력 사이에 Function Block(FB)을 배치해 특정 기능을 구현한다. FBD는 원자력 발전소의 PLC 기반 제어기를 개발하는 엔지니어에게 오랜 기간 사용되어 왔고 친숙한 언어이다. 반면 하드웨어 기반인 FPGA는 Hardware Description Language (HDL)를 사용해 시스템을 개발하는데, 이는 기존의

엔지니어에게 익숙하지 않은 언어이다. 기존 PLC 기반의 계측제어 시스템과 같은 제어기를 개발하던 엔지니어가 하드웨어 기반인 FPGA를 사용해 제어기를 개발하는 것은 기존 언어를 버리고 새로운 언어를 익혀야 하는 등의 어려움이 따른다.

본 논문에서는 PLC 기반의 제어기를 개발하는 엔지니어가 FPGA 기반의 제어기를 개발함에 있어서 친숙한 언어인 FBD를 사용할 수 있도록 지원하는 도구인 FBDEditor를 소개한다. FBDEditor는 원자력 발전소의 제어 또는 보호계통을 FPGA 기반으로 개발할 때 사용할 수 있는 도구로써, 원자력 발전소의 FBD 기능요건서에 기반을 두고 개발되었다. 원자력 발전소의 보호계통에서 자주 사용하는 연산을 추가하고 엔지니어가 FBD를 알아보기 쉽게 하도록 새로운 표기법을 추가하였다.

2. 관련 연구

2.1 NuDE

원자력 발전소의 시스템은 대표적인 안전필수시스템(Safety-critical systems)으로서 사고 시 매우 큰 피해를 줄 수 있기 때문에 시스템의 동작이 항상 안전해야 한다[4]. 이를 위해 확인 및 검증뿐만 아니라 안전성 분석도 철저히 이루어져야 한다. NuDE (Nuclear Development Environment)는 원자력 발전소의 원자로 보호 계통(RPS: Reactor Protection System)에서 사용하는 제어로직을 설계할 때 사용할 수 있는 환경이다.

<그림 1>은 NuDE의 개발 및 검증 프로세스를 나타내고 있다. NuDE는 정형기법을 기반으로 PLC용 소프트웨어 및 FPGA/CPLD 개발에 목적을 둔 개발 환경으로서 다양한 검증(Verification) 기법 및 안전성 분석(Safety Analysis) 기법을 포함한다. 현재 PLC용 소프트웨어를 개발하는 절차는 개발 완료된 상태이며 FPGA 개발 절차는 개발 중에 있다.

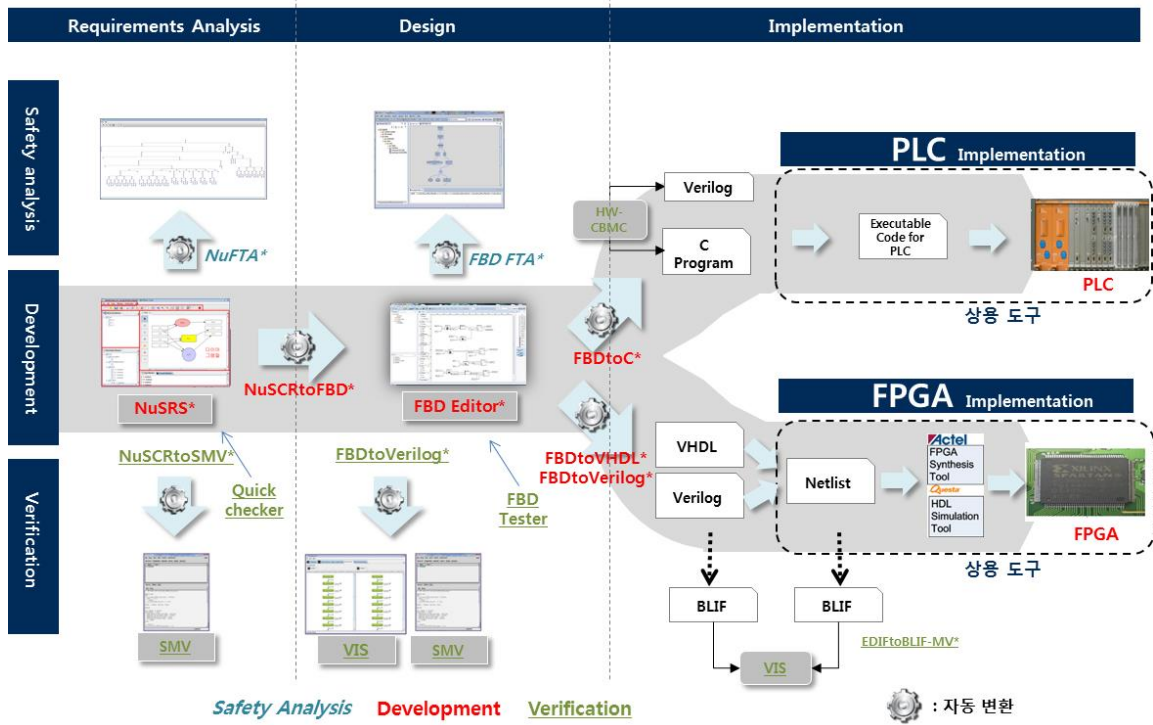


그림 1 NuDE 개발 및 검증 절차

기존의 개발 과정은 NuSRS를 사용해 개발한 정형 기법 기반의 요구사항을 변환하는 NuSCRtoFBD를 포함하고 있다. NuSCRtoFBD는 변환된 FBD를 보여주는 기능을 포함하고 있지만 FBD 제작이나 편집 등의 기능은 포함하고 있지 않다. 자동변환으로 도출된 FBD는 전문가에 의한 최적화 등의 수정될 가능성을 포함하고 있다. FBDEditor는 이러한 기능을 지원하고 FBD 프로그램을 처음부터 제작할 수 있도록 지원한다.

FBD는 IEC 61131-3 표준에 정의된 5가지 PLC용 소프트웨어 개발언어 중 하나이다. 산술, 비트, 선택과 비교연산 등의 블록을 연결해 전체 로직을 작성한다. FBD는 그래픽 기반의 표기법을 사용하고 데이터 흐름 기반으로 프로그래밍이 가능한 장점 때문에 산업현장에서 사용하는 제어용 소프트웨어를 개발할 때 널리 사용되어 왔다. <그림 2>는 IEC 61131-3 표준에 정의된 FB의 분류 및 그 예를 보여주고 있다.

2.2 Function Block Diagram

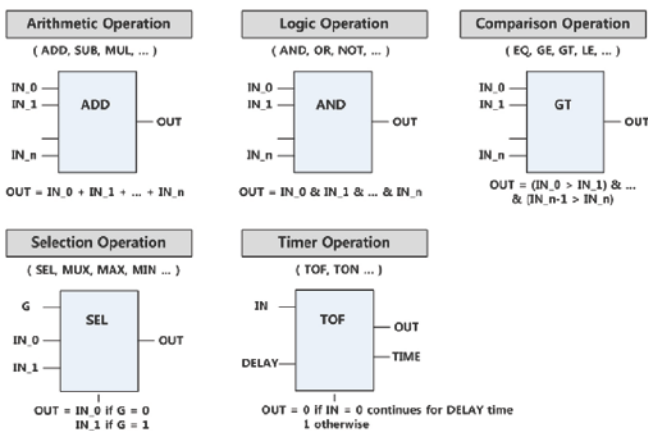


그림 2 IEC 61131-3 표준의 FB 중 일부

3. FBDEditor

FBDEditor는 FBD를 이용해 원자력 발전소에서 사용될 FPGA 기반의 제어기를 설계하기 위해서 개발된 도구로써, 기존의 PLC 기반 제어기를 개발하던 엔지니어들에게 친숙한 언어인 FBD를 이용해 FPGA 기반 제어기 개발을 보다 쉽게 할 수 있도록 지원한다. FBDEditor를 이용하여 FBD 프로그램을 설계하거나, 설계된 프로그램을 수정하고 저장할 수 있다. 또한 기존 도구들이 가진 단점을 보완하였으며, 원자력 발전소의 제어기를 설계할 때 유용한 기능들을 추가로 제공하여 사용의 편의성을 높였다.

3.1 Function Block 표기법

IEC 61131-3은 Function Block (FB)을 그래픽으로 나타내기 위해 <그림 3>과 같은 표기법을 제시한다.

사각형으로 표시된 블록 내부에 FB의 이름이나 기호를 표기해 FB의 기능을 보여준다. 단순하고 명료한 표기법이지만 설계한 프로그램의 크기가 클 경우 화면을 축소하면 블록이 너무 작아져서 알아보기 힘든 단점이 있다.

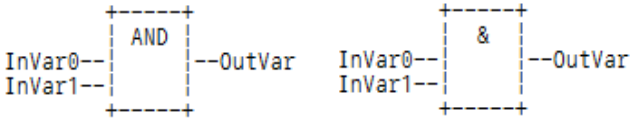


그림 3 IEC 61131-3 표준의 AND FB 표기법

이러한 단점을 보완하기 위해 화면을 축소하여 블록의 크기가 작아져도 쉽게 확인 가능한 표기법을 도입하였다. <그림 4>는 FBDEditor에서 사용하는 FB의 표기법 중 일부를 나타낸 것이다. <그림 4>의 (a)는 <그림 3>에 나타난 AND FB를 대신하는 표기법이다. 가장 빈번하게 사용하는 Boolean 연산 FB(<그림 4>의 (a)와 (b))는 기호 없이 블록의 모양을 변화하여 나타내었다. 사칙 연산, 비교 연산 등의 FB는 일반적으로 사용하는 수학 연산자를 블록 내부에 크게 표시하였다. 엔지니어는 이를 통해서 화면을 축소해도 블록의 기능을 쉽게 알 수 있기 때문에 전체 프로그램 내용을 파악하기 보다 쉬워진다.

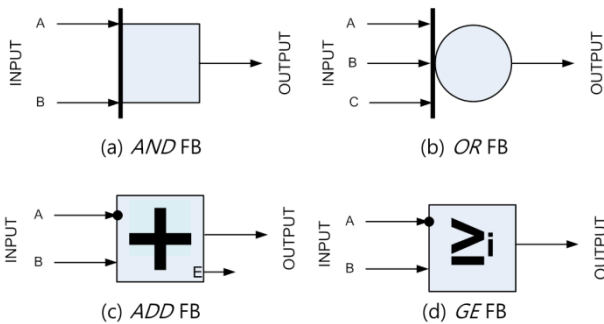


그림 4 FBDEditor의 FB 표기법

3.2 새로운 Function Block 요소

원자력 발전소에 사용되는 시스템은 안전성이 매우 중요하기 때문에 기능상의 오류가 발생할 경우 반드시 파악 가능해야 한다. 특히 사칙 연산과 같은 기능을 수행 할 때, 오버플로우(overflow)와 같이 연산의 결과가 범위를 벗어나는 경우에 기능상의 큰 결함을 일으킬 수 있다. 이를 위해서 사칙연산 시 내부 연산의 오류를 파악할 수 있도록 별도의 출력을 제공하도록 FB를 수정했다. 오류를 파악할 수 있는 별도의 출력은 <그림 4>의 (c)에 나타나있다. 덧셈 연산 시 허용 범위를 초과하는 결과를 낼 경우 우측 하단의 'E' 출력으로 오류 신호를 내보낸다.

기존의 원자력 발전소 제어기를 설계할 시 유용하게 사용되던 연산자가 IEC 61131-3 표준의 FBD에 존재하지 않아 구현상의 어려움이 있었다. 대표적으로 2/3 또는 2/4 Voting 연산(또는, coincidence 연산)이다. 2/4 Voting 연산은 입력으로 들어온 4개의 신호 중 2개 이상이 '1'일 경우 '1'을 반환하는 연산이다. 기존 엔지니어들이 해당 기능을 따로 구현하지 않고 사용할 수 있도록 기본 FB의 요소로 추가하였다.

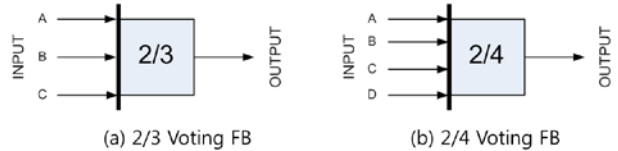


그림 5 Voting (Coincidence) 연산 FB

3.3 FBD 파일 형식

FBDEditor는 IEC 61131-3 표준을 저장하기 위한 표준 형식인 PLCopen TC6의 XML 형식(이하, PLCopen TC6)[5]을 따른다. PLCopen¹은 PLC 생산자나 판매자와는 독립적인 기관인 국제 협회이다. FBDEditor는 PLCopen TC6를 따르는 FBD 프로그램을 읽을 수 있고, 수정할 수 있으며 저장하는 형식도 동일한 형식을 따른다. 따라서 PLCopen TC6를 사용하는 다른 FBD 개발 도구를 사용해 개발한 FBD 프로그램을 FBDEditor를 이용해 수정하는 것이 가능하다. 또한, 반대로 FBDEditor를 이용해 작성한 FBD 프로그램은 PLCopen TC6를 지원하는 다른 도구에서 사용 가능하다.

3.4 FBDEditor 구현

FBDEditor는 Eclipse용 Plug-in으로 개발된 도구이다. Eclipse[6]는 Java를 기본으로 Ada, C, C++, PHP 등의 다양한 언어를 사용해 응용프로그램을 개발할 수 있는 통합 개발환경이고 세계적으로 많이 사용되어 대다수의 엔지니어들에게 익숙한 도구이다. Eclipse는 플러그인 지원을 통해 다양한 기능을 확장하는 것이 가능하다. FBDEditor는 엔지니어들에게 익숙한 환경을 제공하고자 Eclipse Plug-in으로 개발되었다.

Eclipse는 운영체제의 제한 없이 사용 가능한 도구이기 때문에 Java Virtual Machine이 설치된 운영체제에서 모두 사용 가능하다. <그림 6>은 FBDEditor의 화면 구성을 나타내고 있다. 왼쪽에는 FBD 프로그램을 단위별로 나타낼 수 있는 Project Navigator와 현재 작성중인 프로그램에 존재하는 In/Output 및 변수들을 나열해 주는 I/O Overview가 있다. 중

¹ <http://www.plcopen.org/>

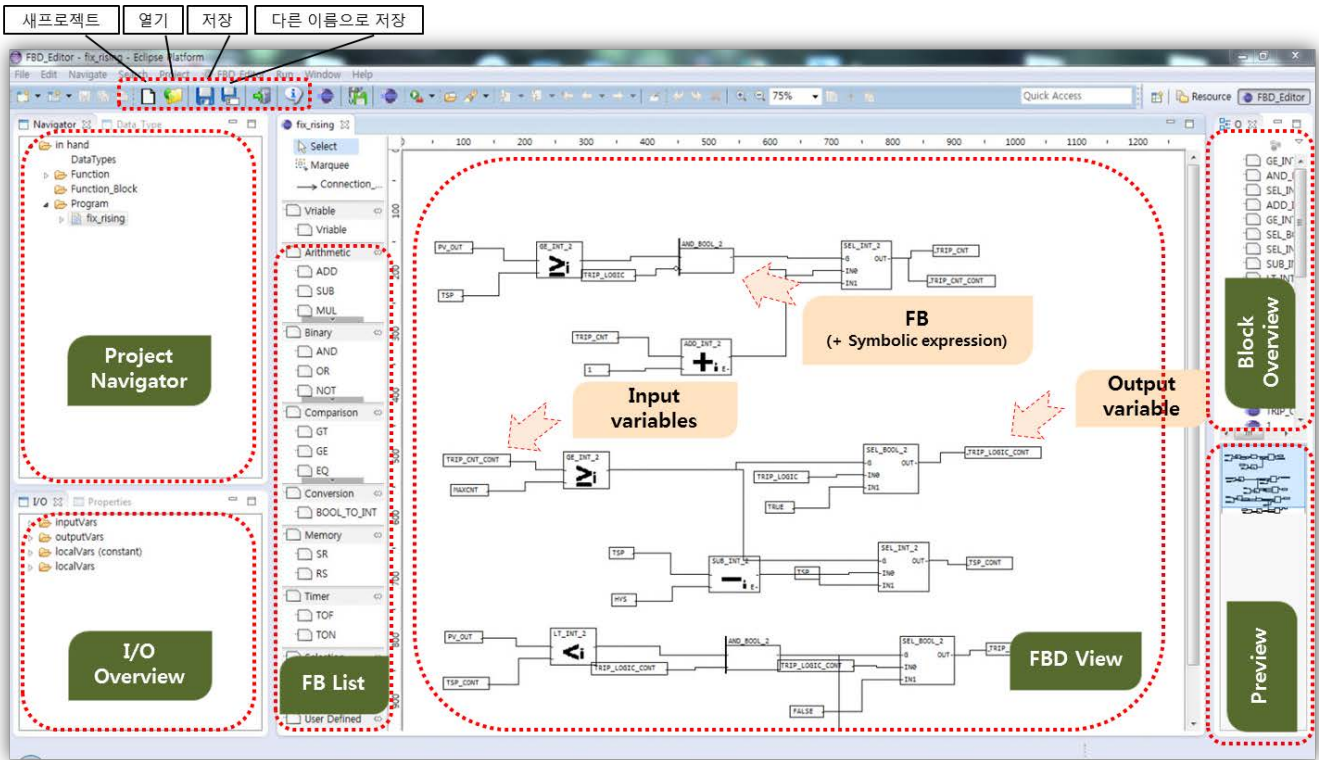


그림 6 FBDEditor 화면구성 및 설명

양에는 블록 및 변수들을 이용해 프로그램 작성을 할 수 있는 FBD View 와 표준 FB 및 원자력 분야를 위해 추가된 FB를 모아둔 FB List가 있다. FBD View의 전체 화면을 쉽게 볼 수 있는 Preview 화면이 오른쪽 하단에 배치되어 있으며 작성중인 프로그램의 모든 블록을 모아서 보여주는 Block Overview 가 그 위에 배치되어 있다.

4. 결론 및 향후 연구

FBDEditor 는 원자력 발전소의 FPGA 기반 제어기를 개발하기 위한 개발환경의 일부로 개발되었다. FBDEditor 로 개발된 FBD 프로그램은 HDL 언어인 Verilog 나 VHDL 로 자동변환하기 위해 FBDtoVerilog 와 FBDtoVHDL 을 개발 중에 있다. 기존 PLC 기반 제어기를 개발하던 엔지니어들이 익숙한 언어인 FBD 를 활용해 FPGA 나 CPLD 등의 하드웨어 기반 제어기를 보다 쉽게 개발할 수 있고, PLC 기반의 제어기 개발 시 사용했던 지식과 경험을 유지하면서 새로운 시스템인 FPGA 기반 제어기 개발이 가능하기 때문에 높은 안전성을 확보할 수 있을 것이다.

안전필수시스템인 원자력 발전소의 제어기를 개발하기 위해서 사용하는 도구로써 FBDEditor 는 충분한 확인 및 검증이 필요하다. 따라서 현재 FBDEditor 의 기능적, 비 기능적 사항들에 대한 정밀한 확인 및 검증을 계획하고 있다.

5. 사사

본 연구는 "원자력계측제어 적합성평가, 감시 및 대응 체계 구축" 사업의 지원으로 연구한 결과입니다.

참고문헌

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), "International standard for programmable controllers - Part 3: Programming languages (IEC 61131-3)," 2013
- [2] 한국원자력연구원, "통합개발환경을 위한 FBD 기능요건서 ET-FBD-FR01 Rev.00", 2013
- [3] Jong-Hoon Lee and Junbeom Yoo, "NuDE: Development Environment for Safety-Critical Software of Nuclear Power Plant," Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting 2012, pp.1154-1155, 2012
- [4] I. Sommerville. "Software Engineering 9th Edition," Pearson Addison-Wesley, pp.299-302, 2010
- [5] PLCopen Technical Committee 6, "XML Formats for IEC 61131-3 Version 2.01," Technical Paper, 2009
- [6] Eclipse, <http://www.eclipse.org>