

154kV Main TR. Bay IED Based On IEC 61850

노재근[†] · 오재훈^{*} · 양항준^{**}
 (Jae-Keun Roh · Jae-Hoon Oh · Hang-Jun Yang)

Abstract - Substation Automation System (SAS) based on IEC 61850 is becoming more and more reality in applying power systems. As well, the development of various engineering tools and the convergence with diagnostic systems are underway. To reflect recent advancements in SAS technology, the Korea Electric Power Corporation initiated a 154kV SAS pilot project and a smart power grid business in 2010. In this paper, the authors will summarize the overview and the lessons learned in applying the IEC 61850-based 154kV Main transformer bay IED solutions to these two project.

Key Words : IEC61850, Substation Automation, IED

1. 서론

전력시스템을 보다 더 효율적으로 운영하고, 지능화하려는 노력은 2000년대 초부터 다양한 각도로 진행되어 왔다. 국내에서는 한국전력공사의 주도로 중·장기 국책과제인 전력IT 과제를 통해 다양한 지능화 기기들의 개발을 진행해왔으며, 그 결과물을 현장에 적용하기 위한 여러 시범 사업들이 진행되고 있다. IEC 61850 국제 표준 프로토콜 기반의 IED(Intelligent Electronic Devices) 개발과 이를 적용하기 위한 변전소 자동화 시스템(SAS, Substation Automation System) 엔지니어링 기술 개발은 전력 IT 사업의 핵심 아이템이라 할 수 있다 [1].

IEC-61850 기반의 변전소 자동화 시스템 구축을 위해서는 각 IED의 통신 구성 및 역할이 명확히 정의되어야 하며 [2], 그림 1은 한국전력공사의 154kV 변전소를 예로 기존의 변전소 시스템 구성을, 그림 2는 IEC 61850 기반의 자동화 시스템 구성을 나타낸 그림으로 실제 구성상 특징을 쉽게 비교할 수 있다

최근 전 세계적으로 IEC 61850 기반 변전소 자동화 시스템 구축이 활발하게 진행되면서 다양한 엔지니어링 Tool의 개발, 진단 시스템의 융합 등의 이슈가 제기되고 있으므로, 본 논문에서는 한국전력공사의 154kV 변전소 자동화 시스템 시범 사업 및 스마트그리드 실증 사업에 적용된 154kV 주변압기(MTR)용 IED 솔루션의 적용 사례를 소개하고자 한다.

[†] 교신저자, 정희원 : (주)효성 중공업연구소 책임연구원
 E-mail : nojaekeun@hyosung.com

^{*} 정희원 : (주)효성 중공업연구소 책임연구원

^{**} 정희원 : (주)효성 중공업연구소 수석연구원

접수일자 : 2011년 9월 19일

최종완료 : 2011년 10월 19일

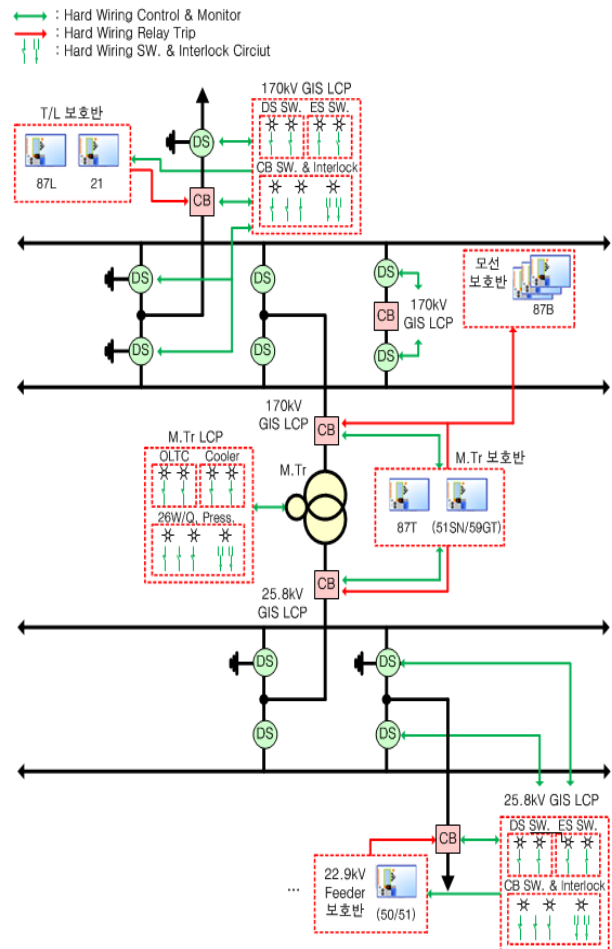


그림 1 기존 154kV 변전소 (S/S) 계통도
 Fig. 1 Conventional 154kV S/S Diagram

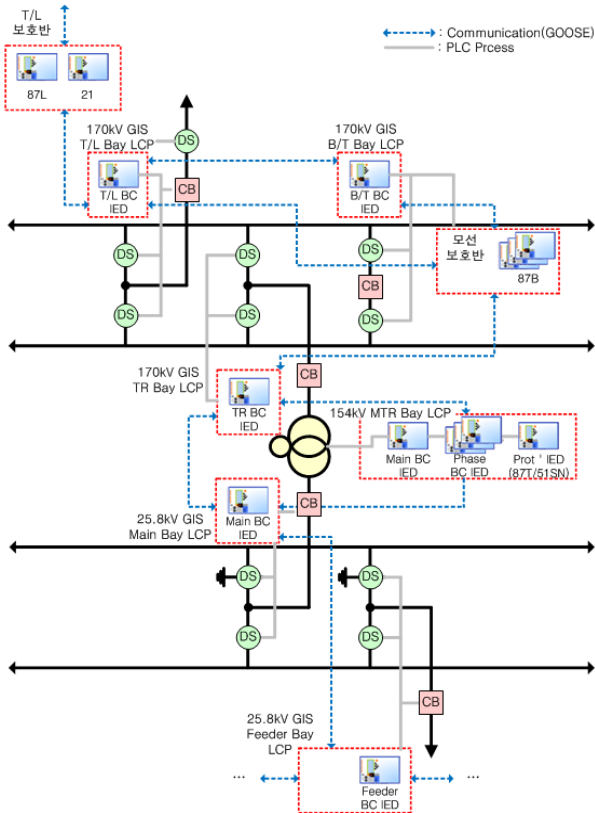


그림 2 154kV 변전소 자동화 시스템 (SAS) 계통도
Fig. 2 154kV SAS Diagram

2. 본 론

풍동 변전소 자동화 시스템 시범 사업의 경우 2011년 초 설계되어 현재 현장 엔지니어링을 1차 마무리한 상태이며, 제주 성산 변전소에서 진행 중인 스마트 그리드 실증사업 또한 마무리 과정에 접어들었으므로 그동안의 현장 적용을 통해 나타난 문제점을 논의하고, 이에 대한 대응책을 서로 공유하며 정리하는 단계에 있다.

기존의 154kV MTR Bay는 GIS Bay Control IED가 없었기 때문에 변압기 보호 배전반에는 변압기 주보호를 위한 87T, 후비보호를 위한 51SN 및 NGR 보호 59GT/59GA 등 뿐만 아니라, 차단기 제어를 위한 기능까지 포함되어 있었다 [3]. 그렇지만 현재의 MTR Bay는 변압기 보호 IED와 현장 제어 IED가 분리되어 있으며, 보호 요소 중에도 59GT 및 51P/PN 등은 170kV GIS 및 25.8kV GIS Bay Control IED로 그 기능이 분산되어 있으며, GOOSE Message를 이용하여 제어 신호를 주고받는다[4]. IEC 61850의 Logical Node 및 Logical Device에 대한 정보는 정보표준화 Process를 통하여 확립되어지며, 이와 같은 과정은 IED에도 동일하게 적용된다[5]. 그림 3은 기존 MTR Bay 구성도와 IEC 61850 기반 MTR Bay 구성도를 나타내고 있다

그림 3에서 주목하여야 할 점은 IEC 61850 기반 MTR Bay의 경우 기존 MTR Bay 현장제어반(LCP, Local Control Panel)에 있던 대부분 기능이 현장제어 IED (Phase/ Main)로 이관 되었으며, 현장제어 IED는 각 상의

변압기 상태 진단 및 제어를 위해 각 Phase IED 및 Main IED로 구성되어 있다는 점이다. 또한 보호 IED는 변압기 내부 고장 검출 시 각 상의 GIS IED로 Trip Signal을 전송해 주고, 이에 대한 CB Close Block Logic 신호를 제공한다. 각 MTR IED의 구성 및 간략한 특징을 표 1에 정리하였다

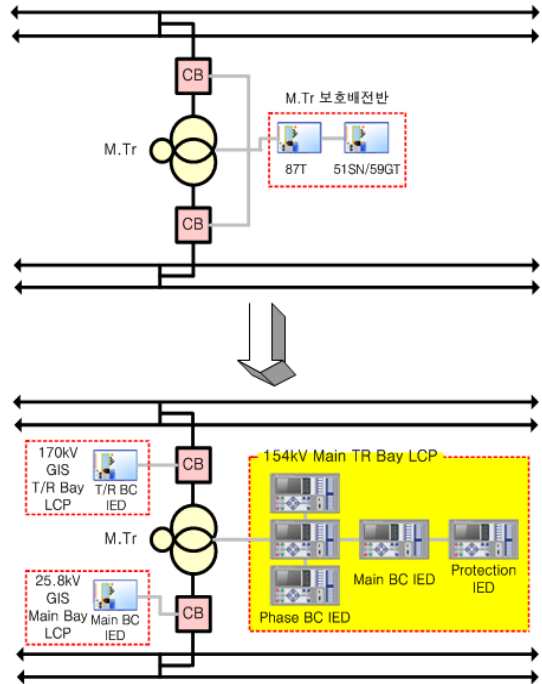


그림 3 기존 변전소와 SAS의 MTR Bay 구성 비교
Fig. 3 Comparison S/S and SAS MTR Bay

표 1 MTR IED 종류 및 기능
Table 1 MTR IEDs Type and Function

종류	설치수량	설치위치	구비기능
설비제어 IED	1대 / Bank(상)	LCP 내부	감시, 계측
종합제어 IED	1대 / Bank	LCP 내부	감시, 제어, 계측
보호계전 IED	1대 / Bank	LCP 내부	보호, 감시, 제어, 계측

IED의 모든 동작 시퀀스는 IED에 내장되어 있는 PLC(Programmable Logic Controller) Device를 통하여 사용자가 직접 Logic Ladder를 수정함으로써 구현할 수 있다. 이는 DI/DO, GOOSE Message, MMS Message 및 IED 내부 요소 Pickup Flag 등의 정보를 이용하여 자유롭게 구성 가능하며 현장 Logic 도면을 작성할 수 있다. 이러한 도면의 각 기호들은 그림 4와 같은 기준을 따른다.

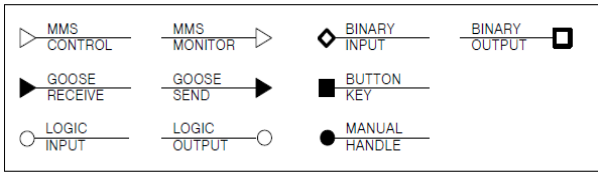


그림 4 현장 Logic 도면 기호
Fig. 4 IED Field Logic Diagram Symbol

2.1 MTR Bay Control IED 의 적용

MTR Main IED는 기존 변압기 LCP에서 수행하던 OLTC 제어 및 FAN 제어 등의 기능을 수행한다. Phase IED로부터 26W 권선온도의 FAN Start Pickup을 GOOSE Message로 입력받아 FAN Start/Stop을 제어하고, 전압표시기(DVM, Digital Voltage Meter)로부터 전압정보를 입력받아 OLTC Auto Tap Change를 수행한다. 변압기 Bank내 각 단상 변압기의 모든 상태 입력들은 정보화 되어 MMS Message 로 상위 시스템에 전송되거나, 타 IED의 현장 Logic 입력으로 사용되기도 한다. 단, AVR (Automatic Voltage Regulator) 기능은 MTR Main IED에 포함되지 않고 AVR을 별도 설치하였으며, MTR Main IED에서는 변압기 2차 전압을 병렬로 연결하여 OLTC 기능을 구현한다.

모든 감시·제어 Point 는 I/O Box로 상위 시스템에 전송되어 IED 성능 검증에 이용한다. 또한 MTR Main IED 전압 입력을 위하여 43PDA 모션전압절체기를 별도 설치하여 25.8kV Main Bay IED로부터 현재 전압의 모션 정보를 GOOSE Message로 입력 받아 이를 자동 절체한다. MTR Bay Control IED의 기능 및 구성은 그림 5와 같다.

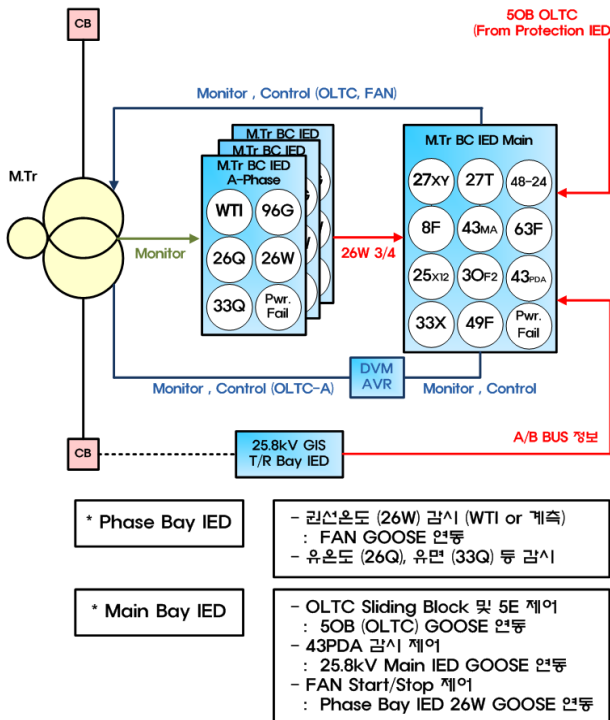


그림 5 MTR Bay Control IED의 기능 구성
Fig. 5 MTR Bay Control IED's Function & Structure

2.1.1 Phase Bay IED 의 26W 감시 Logic

Phase Bay IED는 변압기 내부 상태 감시를 위해 각각의 물리적인 변압기마다 설치되므로 단상 변압기로 3상 Bank를 구성하는 경우 3대, 3상 변압기라면 1대만 설치된다. 권선온도 및 유온도 계측, MTR 본체 및 OLTC의 유면계 감시, 96G 가스 압력 계전기 동작 감시 등의 기능을 수행하며, 주 기능인 FAN 구동을 위한 권선온도감시는 기존 WTI(Winding Temperature Indicator)를 통하여 DI(Digital Input)로 입력 받거나 RTD Module 혹은 PT-100을 이용하는 경우 DC 4~20mA의 센서 출력을 입력받아 계측·감시를 수행하기도 한다. 권선/유 온도는 일반적으로 4-Level로 나누어지며, Level 3/4는 냉각을 위한 FAN 및 Cooler의 가동이 필요한 상태를 의미하여, 어떤 경우에는 Level 3과 4의 FAN 및 Cooler 구동 시퀀스가 다를 수도 있다. 이상의 일련의 동작 Logic은 각각의 Phase Bay IED와 Main Bay IED의 연계 동작에 의해 수행되며, 그림 6은 이와 같은 Phase Bay IED의 기능 Logic 예를 보인 것이다.

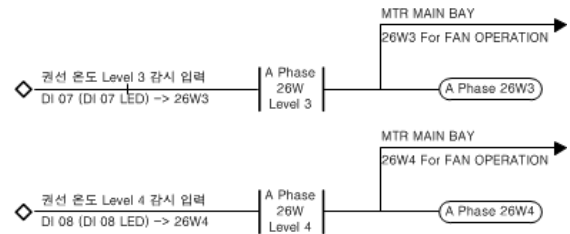


그림 6 Phase Bay IED의 기능 Logic
Fig. 6 Phase Bay IED's Functional Logic

2.1.2 Main Bay IED 의 FAN 제어 Logic

Phase Bay IED의 26W Level 3/4의 GOOSE Message 입력은 Main Bay IED의 FAN 제어 Source로 이용된다. 이는 Main IED의 FAN 제어가 Auto Control 이어야 동작 가능하다. 각 Phase Bay IED 출력은 모두 OR Logic에 연결되며, 이 중 하나라도 들어오지 않는다면 FAN Stop 제어가 수행된다.

기타 FAN Motor 보호 계전기가 동작하는 경우 나머지 정상 FAN을 모두 구동해 주는 FAN Safety 기능은 일반적으로 사용되지 않으며, 현장에서의 FAN Manual 조작 또한 허용되지 않는다. 그림 7은 이를 위한 Logic을 보인 것이다. 또한, 현장에는 적용되지 않았으나 Fail Safety 기능을 추가한다면, 제작사 추천 Logic은 그림 8과 같다

2.1.3 Main Bay IED 의 OLTC 제어 Logic

OLTC 제어의 경우 기존 시스템에서는 AVR에서 모든 기능을 수행하였으나, DVM으로부터 전압 정보를 입력받아 수행하는 OLTC Auto Tap Change, OLTC Raiser/Lower 등의 기능 수행 시 발생하는 OLTC Sliding Block 및 OLTC 순시 과전류 Block 등의 기능은 Main Bay IED에서 수행하도록 변경되었다. OLTC 순시 과전류 Block 기능에 대한 Source는 Protection IED에서 GOOSE Message로 입력 받도록 구성되었으며, 이 Block 요소에 대한 현장 적용은 Pickup 시 20초 동안 상태 유지를 하여 Block 연계 운용의 신뢰성을 가져야 한다. 이와 같은 Block 요소의 20초 상

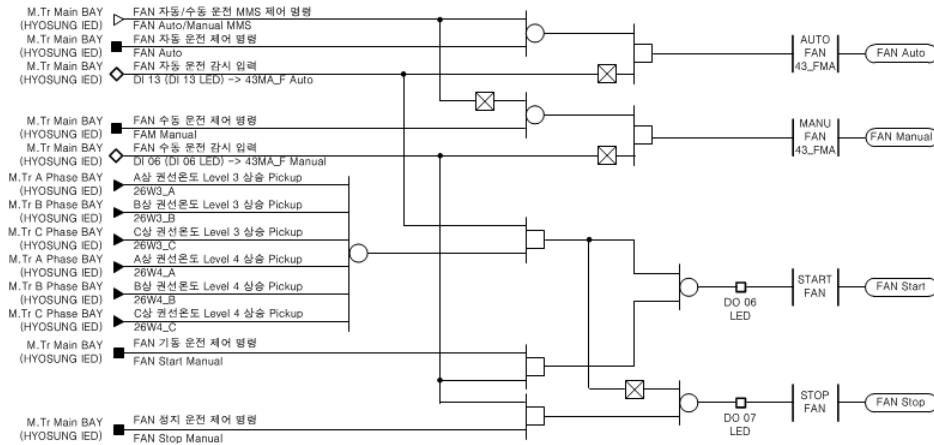


그림 7 Main Bay IED의 FAN 구동 Logic
 Fig. 7 Main Bay IED's FAN Operation Logic

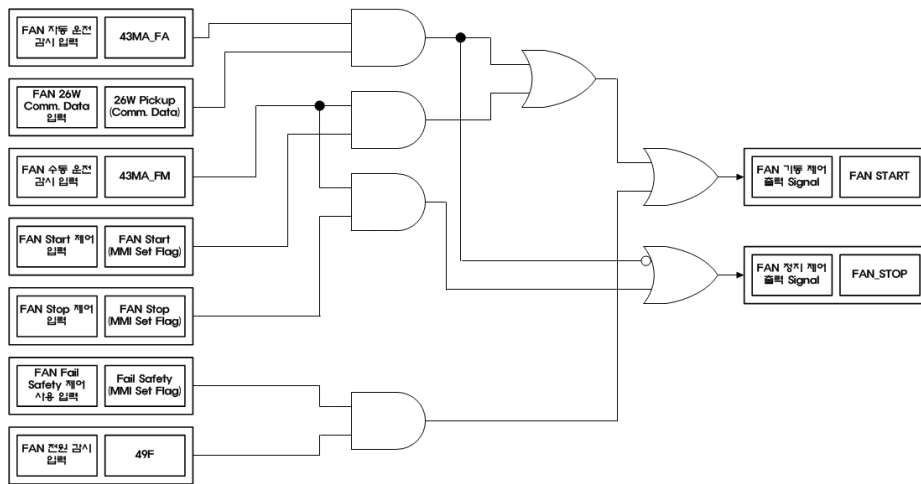


그림 8 Fail Safety 기능을 포함한 FAN/Cooler 구동 Logic
 Fig. 8 FAN/Cooler Operation Logic With Fail Safety

태 유지는 Protection IED에서도 동일하게 적용되었다.
 OLTC 자동운전 시 DVM 감시에 따른 Raiser/Lower 동작 수행 시 3초 Pulse의 출력 신호를 7번 수행한 후에도 OLTC의 Tap이 변하지 않으면 OLTC Sliding Block 신호를 출력시켜 OLTC 동작을 억제한다 그림 9는 이상의 기능을 수행하기 위한 Logic을 보인 것이다.

2.1.4 Main Bay IED 의 43PDA 제어 Logic

43PDA는 이중 모선의 PT 2차 전압을 절체하는 스위치로써 Main IED의 DVM Source를 입력받기 위해서 사용한다. 수동운전 또는 자동운전으로 선택하여 운용할 수 있으며, 실제 현장에서는 MTR 2차측의 25.8kV GIS Main IED를 통하여 입력된 GOOSE Message 감시를 통해 자동으로 선택된다.

물리적인 43PDA 스위치의 절체시간을 고려하여 (최대 절체 시간 = A Bus -> B Bus 절체 약 2초) 3초간의 동작 Hold Time을 가진다. 이를 구현하기 위해서 실제 제어 시간은 전체 기능 공통으로 1초를 부여하였고 단지 해당 D/O 접점의 Hold Time을 3초로 구성하였다.

DS Status 감시 입력에 대하여 A-Point/B-Point를 동시에 사용하는 것은 A.B All Bus 일 경우 동작 억제를 위한 것이다. 그림 10는 이에 대한 수행 Logic을 보인 것이다

2.2 MTR Protection IED 의 적용

MTR 보호용 Trip Logic은 기존과 크게 달라지지 않았으나 기존의 변압기 1/2차 CB 직접 제어가 아닌 GOOSE Message 출력을 변압기 1/2차 GIS IED (170kV GIS TR Bay IED, 25.8kV GIS Main Bay IED)로 전송하고, 이를 통해 Trip가 수행되는 것이 큰 특징이라 할 수 있다. 또한 기존 변압기 보호배전반에서 별도 설치되었던 51P/PN의 경우 GIS IED에서 수행하고, 59GT의 경우는 25.8kV GIS PT Bay IED가 수행하여 GOOSE Message 를 입력받아 처리한다. 단 후비보호인 51SN은 현재 Protection IED에서 87T와 함께 동시에 수행한다.

변압기 고장은 중고장이기 때문에 보호 계전을 위한 차등 전류 Source에 따라 출력이 연동될 수 없으며, 한번 고장 판단을 하게 되면 현장 작업자가 수동으로 Reset 할 때까지 상태 유지를 해야 한다. 이를 변압기 보호용 86T(Lock-Out)

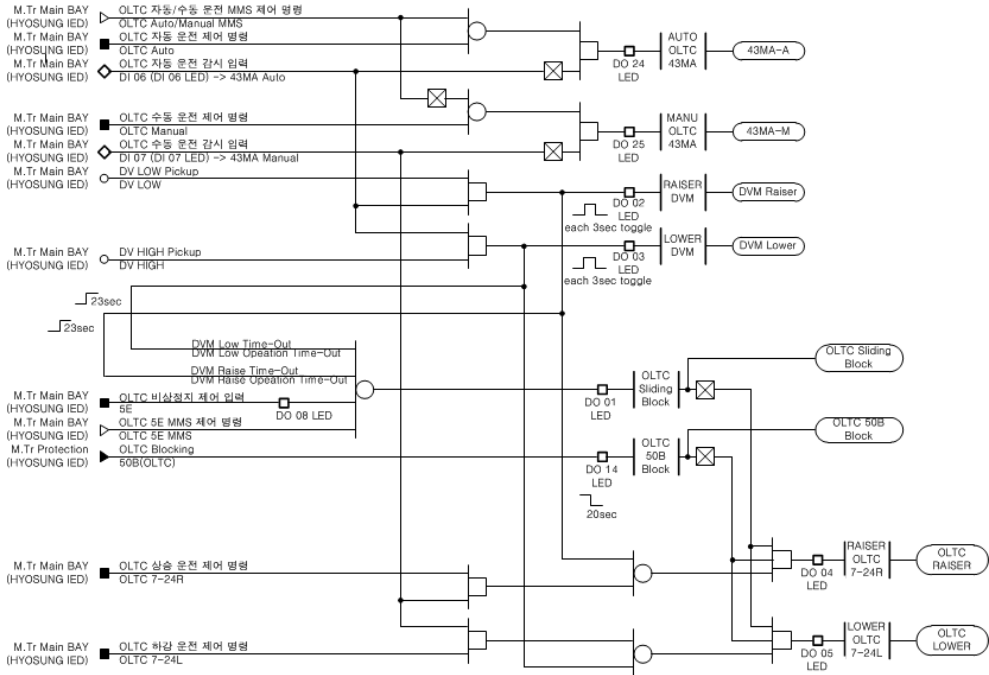


그림 9 Main Bay IED의 OLTC 구동 Logic
 Fig. 9 Main Bay IED's OLTC Operation Logic

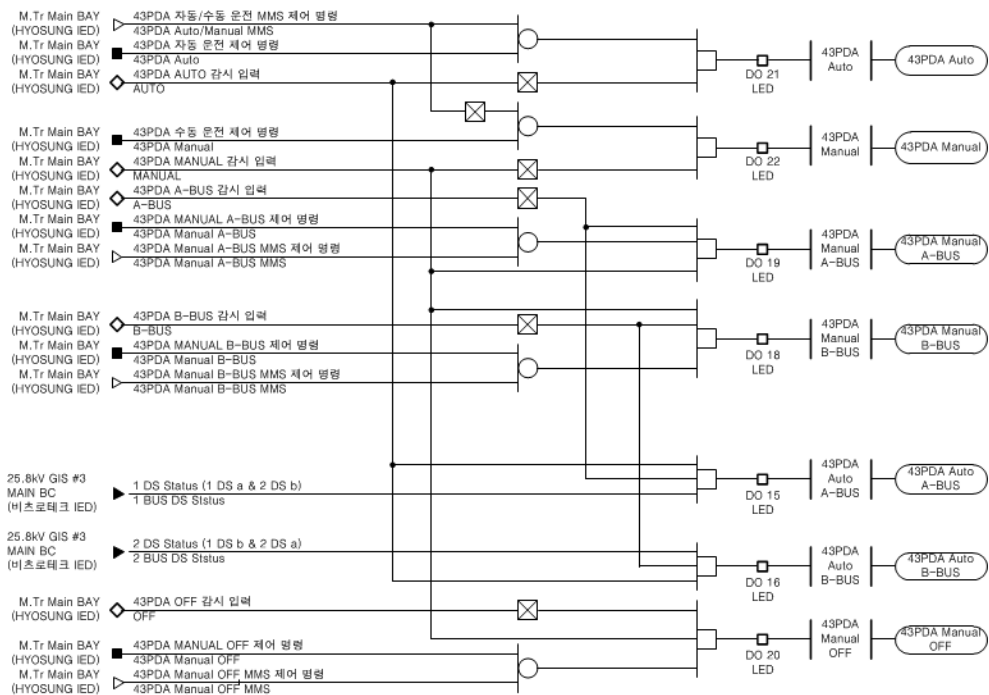


그림 10 Main Bay IED의 43PDA 구동 Logic
 Fig. 10 Main Bay IED's 43PDA Operation Logic

라고 하는데, 이와 같은 경우 CB Close 제어 수행이 되지 않아야 하므로 이를 위한 각 CB Close Block GOOSE Message 신호를 86T Reset 수행 전까지 지속하여 변압기 1/2차의 GIS IED로 전송한다.

86T가 아닌 51S 등의 요소는 Source 동작과 연동하게 된

다(2차 CB Trip). 또한 1차 CB Trip 시 BUS Prot'를 위한 BFI를 제어케이블과 GOOSE Message로 즉시 전송한다. 96P/D/T 등 외부 기계식 보호요소는 IED의 모두 각 상마다 D/I로 입력되어 기능을 수행하고 특히 96P의 고속 순시 과전류 Block 기능도 기존과 동일하다. 또한 앞 절에서 설명

한 것과 같이, 모든 Block 요소들은 20초의 Hold Time을 가지도록 하여 신뢰성을 높였다.

별개의 요소인 96B1/B2 보호회로 계전기 동작 감시의 경우는 Trip 요소로 분류되지 않으며, 단지 Event로 기록된다. 그림 11은 MTR Protection IED의 기능 흐름을, 그림 12는 전체 Trip Logic을 보인 것이다.

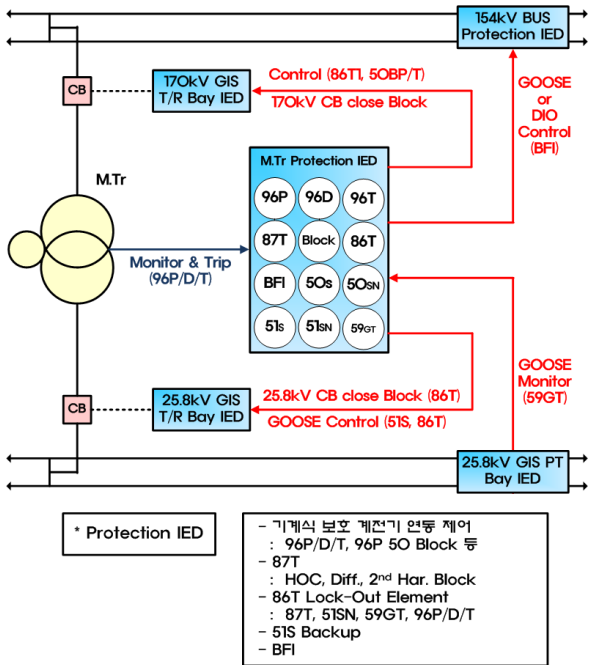


그림 11 Protection IED의 기능 흐름도
Fig. 11 Protection IED's Functional Diagram

- * Protection IED
- 기계식 보호 계전기 연동 제어 : 96P/D/T, 96P 5O Block 등
- 87T : HOC, Diff., 2nd Har. Block
- 86T Lock-Out Element
- 87T, 51SN, 59GT, 96P/D/T
- 51S Backup
- BFI

2.3 Programmable Logic Controller (HPLC v1.0)

기존 보호 배전반 및 현장 제어반은 각 접점에 대한 신호 처리와 감시·제어 Logic 구현을 위한 Aux. Ry, Magnetic Contactor 등의 전장 부품과 케이블이 복잡하게 얽혀 있었다. 또한 Interlock Logic 등이 추가되는 경우 회로 구성은 더욱 복잡해지고, 그에 따른 필요 공간이 매우 커진다는 단점이 있었다. 그러나 IEC 61850 기반 자동화 시스템으로 발전하면서 대부분의 감시·제어 시퀀스는 PLC에 의해 처리되기 때문에 기본적인 감시·제어 회로를 위한 전장 부품들과 케이블 등의 사용이 현저히 줄어들었으며, Process Bus 등을 포함한 IEC 61850 기반 자동화 시스템이 모두 구현된다면 더욱더 줄어들 것으로 예상된다.

IED 내부에 PLC를 내장함으로써 사용자의 필요에 따라 변전소 운영 Scheme을 쉽게 변경할 수 있고, 각각의 Vender에서 납품된 IED의 현장 적용 및 물리적인 배전반 판넬 구성 또한 매우 간편해졌다.

그림 13에서 취소효성의 IEC 61850 기반 MTR Bay IED에 내장된 FPGA 기반 PLC의 로직을 구성하기 위한 HPLC V1.0의 기본 화면을 보인 것이다.

3. 결론

IEC 61850 기반의 MTR Bay뿐만 아니라 GIS 및 상위 시스템에 관련된 지속적인 변전소 자동화 시스템 구축을 위한 연구개발의 산출물로서 축적된 SA 현장 제어 엔지니어링 기술을 변전소 현장에 적용함으로써, 신뢰성과 효율성을 검증하고 비즈니스 모델로서 필요충분조건이 성립되었다. 다만 해외 선진사들의 IED 및 적용기술에 아직 경쟁력을

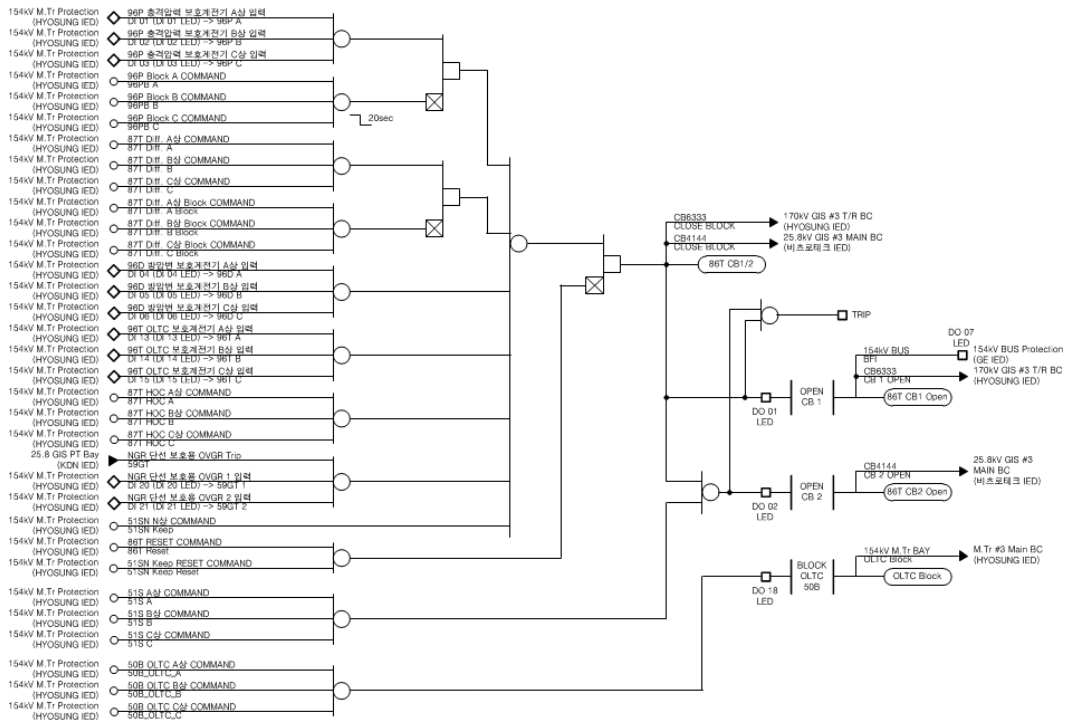


그림 12 Protection IED의 Trip Logic
Fig. 12 Protection IED's Trip Logic

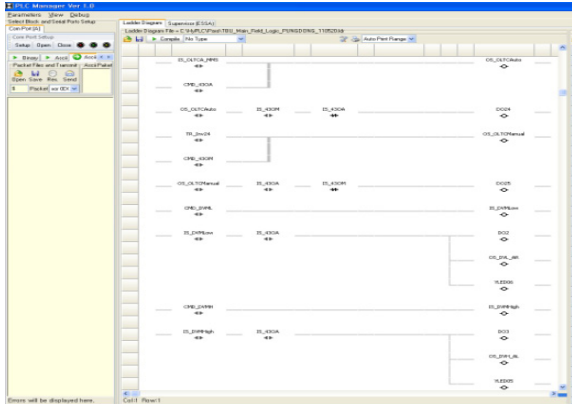


그림 13 Hyosung PLC Manager Ladder 화면
 Fig. 13 Hyosung PLC Manager Ladder Display

갖지 못하는 바, 이를 계기로 변전소 전 분야의 엔지니어링 기술을 더욱 더 발전시킨다면 이는 세계적인 경쟁력을 가질 수 있는 필수 요건이 될 것이다.

현재 선진사 및 학계에서는 IEC-61850-9-2 Process Bus의 구축이 큰 화두가 되고 있다 [7]. 또한 몇몇 선진사는 이미 솔루션을 보유하고 있고, 시장을 확대하는 분위기이다. 이는 비로소 네트워크로 변전소 내 모든 시스템을 연결하는 구성으로 Merging Unit, Control Unit의 하부 Bus를 이용, 좀더 유연한 변전소 자동화를 꾸미는데 그 목적이 있다. 그에 대한 국내 산·학·연 체계에서 확실한 대응을 할 수 있다면, 이는 R&D 뿐만 아니라 현장 적용에 이르는 완벽한 SAS 구축 기술을 갖게 될 것이고, 이에 대한 차별화된 Business Model 발굴으로써 전력 기술 강국 우리나라를 전세계에 널리 펼칠 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 고윤석, “변전소 자동화를 위한 지능형 솔루션 개발에 대한 연구”, 2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2005.7

[2] 김해누리, 김명희, 김일동, 장병태, 정길조, “IEC61850을 적용한 변전소 IED반 기술규격에 관한 연구”, 2006년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2006.7

[3] 한전 일반규격 GS-158-465-6, “154kV 변압기 보호배전반”, 2008.12

[4] 한전 일반규격 GS-5945-1001, “IEC6180기반 SA용 154kV M.Tr IED”, 2009.11

[5] 한정열, 김용학, 안용호, 장병태, 이남호, 심응보, “SA시스템 현장 적용을 위한 정보정의 표준화”, 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2010.7

[6] M. PETRINI, C. SABELLI, E. CASALE, “New requirements for substation automation systems”, B5-113, 2010 CIGRE Session, Paris, France, 2010. 8

[7] J. CASTELLANOS, I. OJANGUREN, I. GARCES, R. HUNT, J. CARDENAS, J. CARDENAS, M. ZAMALLOA, J. GARCIA, A. GALLASTEGUI, M. YUBERO, E. OTAOLA, “IEC 61850 9-2 Process

Bus: Application in a real multivendor substation”, B5-116, 2010 CIGRE Session, Paris, France, 2010. 8

저 자 소 개



노재근 (盧載根)

2001년 명지대 공대 전기공학과 졸업(학사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년~현재 (주)효성 중공업연구소 솔루션연구팀 책임연구원.
 Tel : 031-596-1733
 E-mail : nojaekeun@hyosung.com



오재훈 (吳在勳)

2000년 인하대 공대 전기공학과 졸업(학사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 (주)효성 중공업연구소 솔루션연구팀 책임연구원.
 Tel : 031-596-1732
 E-mail : zerr@hyosung.com



양항준 (梁恒準)

1991년 인하대 자연과학대 물리학과 졸업(학사). 1993년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1993년~현재 (주)효성 중공업연구소 솔루션연구팀 수석연구원.
 Tel : 031-596-1721
 E-mail : ysyang@hyosung.com