

IEC61850 기반의 통신방식을 이용한 스마트 배전운영시스템용 보호협조 알고리즘 개발

Development of Protection Coordination Algorithm for Smart Distribution Management System using Communication Method based on IEC61850

추철민* · 윤상윤[†] · 권성철** · 추경용*** · 진영규*** · 최면송[§]
(Cheol-Min Chu · Sang-Yun Yun · Seung-Chul Kwan · Kyung-Yong Chu ·
Young-Kyu Jin · Myeon-Song Choi)

Abstract - In this paper, we propose the protection coordination algorithm using communication method based on IEC 61850. The communication protocol in power distribution management system has been issued by IEC standard, IEC61850 of them, which was made for substation automation system, has researched to apply into power distribution system, even though the standard is not a suitable for the system. In smart distribution management system' launched in 2009, the communication network based on the ethernet network for IEC 61850 has been designed to apply the self-healing concept, which is to perform the system protection through the communication between remote terminal units(RTU) according to the standard. However, it is first time to apply the scheme in the real. Thus, this paper proposed the protection algorithm and consideration for applying communication method and introduced the result of demonstration.

Key Words : Communication protection coordination, IEC61850, Smart distribution management system, Feeder remote terminal unit

1. 서 론

최근 스마트그리드기술의 개발이 전 세계적으로 전력계통 분야의 화두가 되고 있으며 그 중에서도 신재생에너지원의 연계 측면에서 배전계통의 운영시스템이 많은 관심을 받고 있다. 이는 스마트 그리드 구축을 위한 신재생에너지원, 마이크로그리드 및 신규전력설비(전기차), 저장장치 등을 수용하는 최접점에 배전계통이 있으며 고객에게 고신뢰성의 전력공급을 보장해야하기 때문이다.

현재 국내 배전계통은 배전자동화시스템(Distribution Automation System, DAS)에 의해 운영되고 있으며 배전계통의 감시 및 원격제어를 담당하고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 신규 전원 및 설비의 유입으로 인해 배전계통의 운영의 복잡성(complexity)이 증대되었으며 이로 인해 실시간 해석 및 제어의 필요성이 대두되었다.

또한 통신 분야의 융·복합 기술이 보호협조 분야 등에 적용되어 통신을 이용한 다양한 활용측면이 부각되고 있다. 국내에서는 2009년부터 차세대 배전운영시스템의 개발이 진

행되고 있으며 실시간 해석 및 제어를 위한 응용 프로그램의 주기적 수행을 시도하였다[1].

배전계통의 보호협조 측면에서 기존의 과전류보호협조 문제점은 유효 배전계통 구간에서 협조시간차를 확보하는데 제한적이며 고가의 보호기기를 설치하는 것이 경제성 측면에서 제한적으로 시행되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 통신을 이용한 보호협조 방법이 강구되고 있으나 적용측면에서 아직은 선행연구가 부족한 실정이다.

선행연구의 경우 기존 과전류보호협조를 이용하여 분산전원의 계통연계 시 혹은 폐루프(Closed Loop)시스템의 보호협조를 수행하는 개선방안을 제시하는 것이 대부분이다 [1-3]. 혹은 IEC61850의 배전분야 적용 시 보호협조방안 및 Multi-Agent 기반의 보호협조 운영방안이 제안되었다[4-6]. 이는 통신을 이용하여 보호협조체계를 구축하기 위한 구축방안에 대한 내용으로 실적용에 대한 방안을 제시하지 않았으며[4], 또한 통신서비스를 위한 이더넷 통신망 구축과 관련된 제안방안[5]과 통신보호협조 수행 시 기기간의 운영알고리즘을 소개하는 내용을 포함하고 있으나 통신망 이용 시 가용한 단말기기에 따른 설계방안이 고려되지 않았다. 즉 보호협조를 수행하기 위해서는 최단 시간안에 고장에 따른 신호를 송수신해야 하며 배전기간 통신의 이상유·무를 주기적으로 확인해야한다. 따라서 최근 고려되고 있는 IEC61850을 적용할 경우 수 ms단위의 Multi-cast방식으로 통신을 수행하게 되며 이에 따라 다수의 통신을 수행하는 배전기기가 설치된 배전선로에서는 통신트래픽에 따른 지연을 가지게 된다. 이외의 선행연구에 있어서 계통의 구성요소에 따른 보호협조의 발생할 수 있는 문제점에 대한

* 정 회 원 : 한전 전력연구원 스마트에너지연구소 선임보
** 정 회 원 : 한전 전력연구원 스마트에너지연구소 선임
*** 정 회 원 : 한전KDN 전력IT연구원 배전IT연구그룹 선임보
§ 정 회 원 : 명지대학교 전기공학과 교수
† 교신저자, 정회원 : 한전 전력연구원 스마트에너지연구소 책임
E-mail : d가9034@kepeco.co.kr
접수일자 : 2012년 7월 25일
최종완료 : 2012년 9월 19일

연구[10]와 계통 구성에 따른 어떠한 통신기술을 적용해야 하는지에 대한 연구[11-12]가 이루어지고 있다. 다수의 배전 계통 보호협조와 연관된 선행연구 중 시리얼(serial)통신 방식을 이용하여 폐루프(Closed-Loop)로 구성된 지중배전계통에 대해 통신보호협조를 수행한 연구결과가 가장 유사한 내용이라 할 수 있다[7]. 그러나 제안된 방법은 단말장치간 1:1 통신을 수행하는 구조이며 이는 다양한 계통 구성을 가지는 가공배전선로에 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 IEC61850 기반의 통신방식을 이용한 보호협조 알고리즘을 제안하였다. 본 논문의 2장에서는 지중배전계통에 적용된 통신방식을 요약하였으며 3장에서는 적용된 통신보호협조 알고리즘 및 송수신데이터 구조를 요약 설명하였다. 4장과 5장에서는 제안되는 알고리즘을 이용하여 사례연구 및 고장실증시험장에 수행한 실증결과를 요약하여 적용 가능성을 입증하였다.

2. 기존 통신을 이용한 보호협조

현재 국내 배전계통에 통신방식을 이용한 보호협조를 적용 측면에서 개발된 알고리즘은 Closed-loop로 구성된 지중배전계통에 대해 단말장치간 1:1통신으로 수행된 방법이다 [7]. 제안된 알고리즘의 적용을 해 고려된 지중배전계통 모델은 그림 1과 같다.

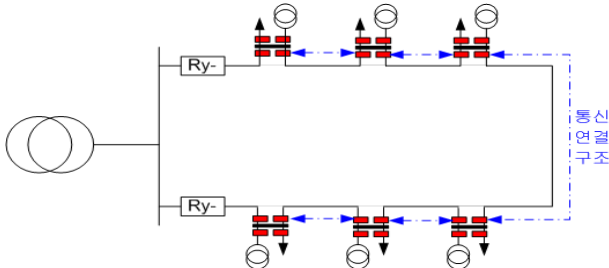


그림 1 지중배전계통 모델
Fig. 1 Model for underground distribution system

각 보호협조를 요하는 보호기기는 1:1 연계가 형성된다. 배전선로는 2회선을 상시 병렬운전을 수행하며 지중설비의 다회로 구조에서 고압 고객연계 및 변압기라인 구성회로를 제외하고 전위와 후비보호기기는 1:1로 연계되어 보호협조를 수행한다. 제안되는 보호협조는 배전선로에 방향성을 부여하고 보호협조 수행 단말장치간 광케이블을 연결하여 고장정보를 송수신한다. 고장구간을 선택 차단하는 방식으로, 154kV 송전선 보호 및 345kV 제2주보호반에 사용되는 방향비교 트립저지방식(directional comparison blocking schemes) 보호방식인 표시 선계전방식과 유사한 방식이다. 송전선로에서는 방향판정을 위하여 방향요소가 내재된 거리계전기를 사용하고 있으며 송전선에는 차단기와 별개로 CT와 PT를 설치하고 있으나, Closed Loop 배전계통에서는 차단기에 내장된 BCT 및 CPD를 통하여 전압 및 전류계측을 시행하고 방향비교계전방식으로 고장 방향판단 및 과전류방식의 고장검출을 수행한다.

지중배전계통은 선로 길이가 짧고 임피던스가 작으므로 고장전류가 커서 고장구간 바깥부근에서도 고장이 검출되는 특성이 있어 고장구간 판단을 위한 POTT (Permissive Overreaching

Transfer Trip)방식이 적용되었다. 또한 보호계전시스템의 신뢰도 향상을 위하여 POTT에 병행하여 DCB (Direction Comparison Blocking)방식이 시간지연을 두고 추가적용하고 있으며, 통신에 의한 보호협조가 불가능할 경우에 대비하여 기설 선로에 적용되는 과전류방식을 후비보호로 갖추고 있다. 적용되는 POTT 방식에 대한 개념도는 그림 2와 같다.

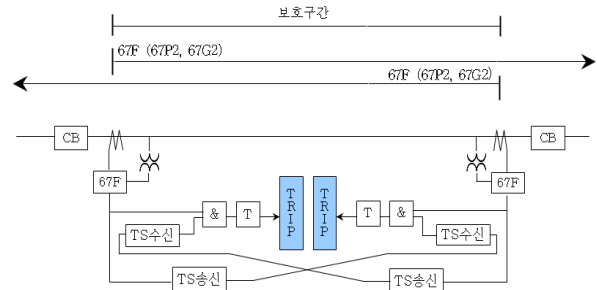


그림 2 POTT 개념도
Fig. 2 Concept of POTT

소개된 선행연구는 지중배전계통에 적용가능한 방식이다. 즉 계통의 보호구간 구성이 1:1구성이며 차단기회로에서 인출되는 부하이외에 선로 중단에서 인출되는 분기가 없다. 따라서 통신을 수행해야하는 기기 또한 1:1 시리얼 통신으로 연계되므로 통신 트래픽이 없으며 단순히 설계된 송수신 신호로 보호협조를 수행한다. 그러나 가공배전선로의 경우 구성의 혼잡성 때문에 위 선행연구에서 적용된 방법이 불가능하다. 그림 3과 같이 가공배전선로의 경우 하나의 DL에 다수의 분기점이 존재하며 이 때 구간의 보호를 위해 통신을 수행해야하는 보호기기 대상이 1:n의 구조로 구성된다.

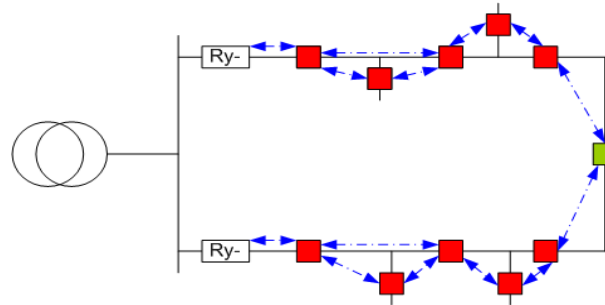


그림 3 가공배전계통모델
Fig. 3 Model for overhead line system

각 보호기기는 전원측과 부하측 양방향으로 분기선의 구성에 따라 1:n 통신을 수행해야한다. 선행연구의 첫 번째 적용불가능한 부분이 바로 계통구성상의 문제점으로 이 경우 배전기기에 지정된 IP Address를 이용한 방식으로 수행해야 한다. 두 번째 문제점은 통신에 따른 시간지연이 발생하는 경우이다. 고장처리는 수 ms안에 완료되어야 하는데 만일 선행연구에서 제안된 방식으로 고장정보를 송수신할 경우 통신트래픽으로 인한 임의의 배전계통에서 통신지연이 발생하여 원활한 보호협조를 수행할 수 없게 된다. 이상의 두 가지 문제점으로 인해 선행연구의 결과는 가공배전선로의 적용이 적합하지 않은 것을 알 수 있다.

3. 스마트배전 운영시스템의 보호협조방안

3.1 통신을 이용한 보호협조 설계

스마트 배전운영시스템(Smart Distribution Management System, SDMS)에서 적용되는 통신을 이용한 보호협조는 IEC6180 기반의 통신프로토콜을 적용하여 구현하였다. 최근 변전자동화를 위해 설계된 IEC61850 표준은 다양한 분야에서 적용되고 있으며 표준의 특성 중 Goose Message 및 Multi-cast방식을 고려하여 스마트 배전운영시스템에 적용되는 통신방식을 이용한 보호협조방안을 설계하였다.

기존의 보호협조체계와 상이한 점은 보호동작에 있어 보호기기를 포함 자동화스위치 동작까지의 연속적인 기기의 동작을 고려한 점이다. 즉 기존의 보호협조는 보호기기(차단기 및 리클로저 등)의 동작만을 고려하였다[9]. 그러나 통신을 이용한 보호협조에 있어 보호기기의 재폐로 동작시간을 이용하여 자동화 개폐기 동작 수행이 가능하며 보호기기의 재폐로 동작 중에 고장구간에 대한 절체를 자동화 스위치가 수행하는 프로세스를 설계하였다.

고장의 경우 발생과 동시에 고장처리프로세스가 동작하여 M.Tr. 2차측 차단기가 Trip 동작하기 전에 고장구간을 계통에서 분리하는 것이 배전계통 보호협조의 목적이다. 따라서 단말장치의 고장인지 및 검출 절차에서 지연이 발생하는 요소를 고려해야한다. 이를 고려하여 설계된 적용알고리즘의 흐름은 그림 4와 같다.

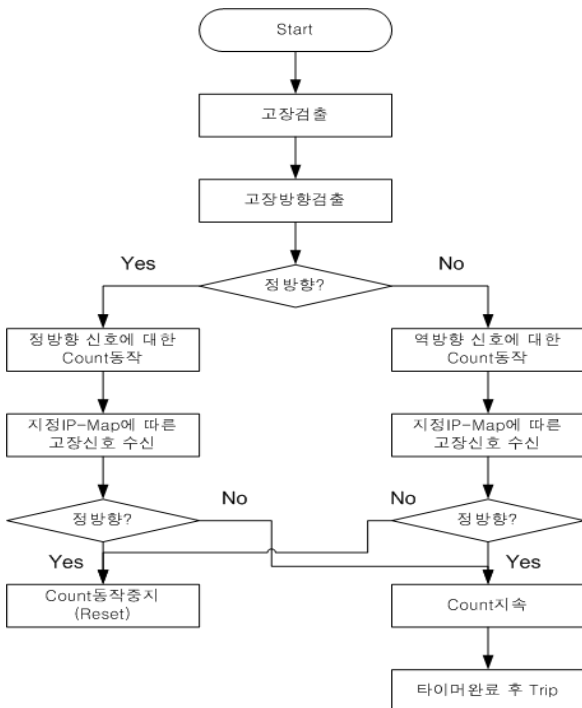


그림 4 적용알고리즘 흐름도
Fig. 4 Flow of the proposed algorithm

적용된 알고리즘에서 고장을 인지·검출하고 고장정보를 이용하여 방향성분을 판별한다. 방향성분은 그림 5와 같은 흐름으로 판별한다.

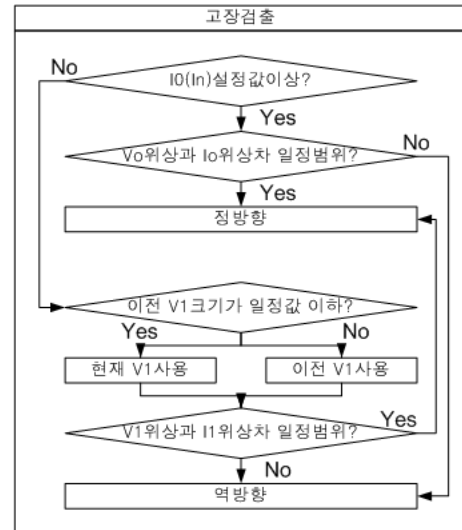


그림 5 방향판별 흐름도
Fig. 5 Detection flow of directional factor

판별된 방향에 따라 송신하는 신호를 정방향(Protector Forward Fault, PFF) 혹은 역방향(Protector Reverse Fault, PRF)등을 결정하고 통신을 수행하는 배전기에 전달하고 그에 따라 신호의 유지 Time Count 동작을 수행한다. Time Count 동작은 주변압기 2차측 및 보호기기의 시퀀스동작을 고려하여 보호기기와 자동화스위치 각각에 다른 Time Count가 적용된다. Time Count의 목적은 신호의 간소화를 위한 것으로 다수의 고장처리를 위한 신호가 발생할 시 IEC61850의 Multi-casting 특성으로 인하여 단말장치의 신호처리 지연이 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해서이다. 이때 방향에 대한 신호처리에 있어 해당신호를 유지해야 하며 유지되는 신호는 보호기기의 시퀀스 동작 중에도 유지해야 하므로 Time Count를 자동화 스위치 및 보호기기가 각각 다른 시간을 가지게 된다. 기본적으로 Time Count는 보호기기의 경우 50ms를 기준으로 설정하며 스위치의 경우 1초로 설정된다.

위 알고리즘에서 고장 감지신호를 받은 후 발생하는 신호 및 신호의 유지 Count 수행, Count Reset 여부 등 동작처리에 있어 표 1과 같으며 알고리즘에 대한 시퀀스 동작은 그림 6과 같다.

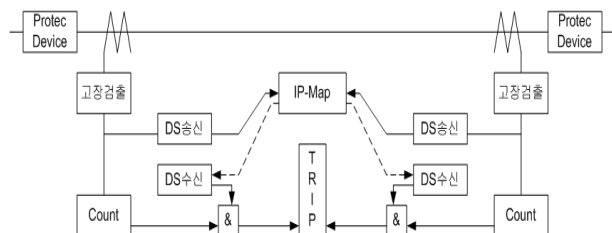


그림 6 제안 알고리즘의 시퀀스
Fig. 6 Sequence of the proposed algorithm

표 1 동작처리구분

Table 1 Operation types

기기 Type	고장검출	의미	활용	Define	
보호 기기	정방향 고장검출 ==>타이머 동작	고장수신신호=> 역방향, 검출부(不), 없음	타이머 완료==>Trip	PFF(Protector Forward Fault)	
	역방향 고장검출 ==>타이머 동작	고장수신신호=> 정방향, 검출부(不), 없음	타이머 완료==>Trip		
자동화 기기	정방향 고장검출 ==>타이머 동작	고장수신신호=> 역방향, 검출부(不), 없음	타이머 완료==>Trip	SFF(Switch Forward Fault)	
		정방향 고장검출 신호	Reset		
	역방향 고장검출 ==>타이머 동작	고장수신신호=> 정방향, 검출부(不), 없음	타이머 완료==>Trip		Reset
		역방향 고장검출 신호	Reset		
	타이머 진행중 활성화상태 변경				

고장검출 후 고장정보를 검출한 기기는 해당 신호를 IP-Map에 따라 상대방 기기에 송신하며 그와 동시에 신호의 유지 Count를 시작한다. 각각 수신되는 정보신호에 따라 And·Or 조건에 따라 신호의 유지를 결정하고 Count의 Reset이 이루어지지 않으면 Open 및 Trip동작을 수행한다. 여기서 고려사항은 각 통신을 통한 보호동작을 수행하는 기기의 IP-Map이다. 그림 7을 이용하여 IP-Map을 작성하면 표 2와 같이 알 수 있다.

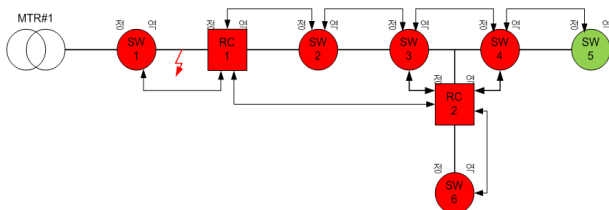


그림 7 IP-Map 예제계통

Fig. 7 Sample system for IP-Map

표 2에서 Left는 일반적으로 전원측으로, Right는 부하측

으로 정의할 수 있다. 만일 Loop계통 구성 시에는 임의의 변전소 M.Tr을 기준으로 정의한다. 중요한 것은 각 보호동작을 수행하는 기기가 동일한 방향정보를 가지게 하는 것이다. 또한 Map에서 중요점은 보호기기는 자동화 스위치 포함 전원측 및 부하측으로 설치되어 있는 보호기기를 추가적으로 가지고 있어야 한다. 서두에 언급한 바와 같이 자동화 스위치의 동작을 위해 자동화 스위치의 방향정보가 유지되어야 한다. 이를 위해서는 고장점이 재폐로 순간에 유지되어야하므로 보호기기가 전원측 및 부하측으로 쌍(Pair)로 구성되어야 루프 계통 및 수지상 계통에서 통신보호협조가 가능해진다[12].

표 2 예제계통에 대한 IP-Map 결과

Table 2 Result of IP-Map on Sample system

FIED	L(Left)	R(Right)
SW1	-	RC1
RC1	SW1	RC2, SW2
SW2	RC1	SW3
SW3	SW2	RC2, SW4
SW4	SW3, RC2	SW5
SW5	SW4	-
RC2	RC1, SW3, SW4	SW6
SW6	RC2	-

그림 6에 따른 통신을 이용한 보호협조 동작을 위해 추가적인 고려사항은 신호의 Reset과 관련된 논리조건이다.

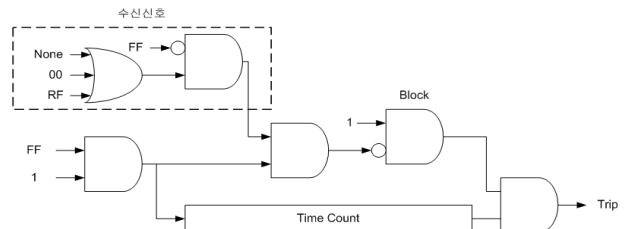


그림 8 통신신호에 따른 논리구조

Fig. 8 Logic depending on the communication signal

그림 6에서 수신신호의 종류에 따라 Time Count의 유지 및 리셋이 결정된다. Count의 유지 및 리셋의 결정은 그림 8과 같이 수신신호의 종류에 따라 구분되어진다. 'None'은 통신의 실패에 따른 신호가 없을 경우이며 '00'은 고장을 경험하지 않은 단말장치에 의한 신호이다. 'None'과 '00'의 차이점은 통신상태의 유무에 따른 구분을 위한 것으로 수지상 계통에서 고장을 경험하지 못하나 통신 상태가 정상인 경우 '00' 신호를 송신한 개폐기에 다시 직접 상태조작(On/Off) 신호를 송신하기 위함이다. 이 부분은 서두에 언급한 바와 같이 계통의 고장절체까지 고려한 보호협조 알고리즘으로 수지상에서 부하측의 자동화 스위치 및 보호기기의 동작을 위한 설계이다. '00'의 신호를 송신한 기기의 논리설계는 고장경험을 하지 않은 단말장치가 전원측으로부터 정방향 신호 혹은 활성화상태 관련 신호를 수신 시 Time Count를 중지하며 없을 시 계속 진행하며 부하측의 경우도 다른 신호에 대해 동일 논리를 가진다.

3.2 통신보호협조 데이터 설계

통신을 이용한 보호협조를 위해 단말장치간 송수신되는 데이터프레임은 다음 표와 같다.

표 3 통신데이터 프레임

Table 3 Communication data frame

add	1	2	3	4	5
1	TF	PRF	PFF	CB	RA
2	-	SRF	SFF	SW	GA

보호기기 및 자동화개폐기의 데이터 프레임은 동일한 크기를 사용한다. 4번과 5번열의 정보를 사용하여 송수신하는 기기의 정보를 구분하며 구분범위는 다회로 차단기, 차단기, 다회로개폐기, 리클로저, 가공개폐기 등으로 구분한다. PFF는 보호기기가 최소동작전류 이상으로 정방향 고장이 검출될 경우이며 PRF는 동일한 경우 역방향 고장검출이다. SFF는 자동화 개폐기가 FI발생 및 무전압 감지 시 정방향 고장이 검출될 경우이며 SRF는 동일한 조건에 역방향 고장검출이다. TF(Trip Fail)는 보호기기의 차단 실패 혹은 내부고장 시 발생하며 TF 수신 시 조건에 관계없이 무조건 동작한다.

위와 같은 통신프레임의 설계는 고장관련 송수신되는 정보에 따른 통신 트래픽을 줄이기 위해 설계되었다. 기존 설계안은 2장에서 설명한 지중배전계통과 관련된 통신프레임으로 단말장치 간 주기적인 통신상태 확인을 위한 신호전달을 5ms로 설정하였다. 이와 같이 설정 시 통신 지연으로 인한 고장절체가 불가능하게 되며 이를 반영하여 통신프레임을 축소하고 IEC 61850기반의 통신을 통한 보호협조 수행에 적절한 단말장치 개수를 다음과 같은 방법으로 산정하였다.

결론적으로 40msec 간격으로 60대의 단말장치 통신을 통한 고장처리가 가능하였으나 61대부터 문제가 다시 문제가 발생하였다. 이는 통신데이터가 전적으로 고장과 관련된 경우에서이므로 운영시스템의 다른 송수신되는 상태정보 및 계측 정보를 고려할 경우 40대의 단말장치가 하나의 광통신망에

서 40msec로 통신 주기가 운영되며 표 3에서 제안된 프레임 이용해야 원활한 통신을 이용한 보호협조가 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.3 사례연구

본 논문에서 제안하는 방법에 따른 보호협조 검증을 위해 그림 알고리즘 및 데이터의 프레임들을 검증하기 위해서 그림 9와 같은 예제계통을 이용하여 사례연구를 수행하였다. 사례연구는 각 Case별로 보호기기의 동작 및 개폐기에 의한 절체동작을 구분하였으며 구성된 예제계통의 통신 IP-Map은 표 5와 같다.

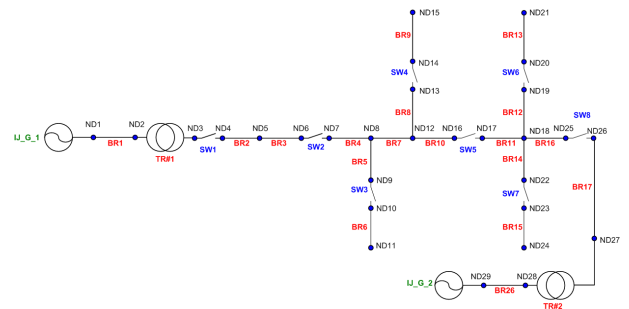


그림 9 사례연구 예제계통

Fig. 9 Sample system for Case Study

표 5 Fig. 9에 대한 IP-Map

Table 5 IP-Map for Fig. 9

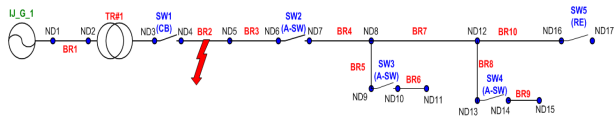
FIED	L(Left)	R(Right)
SW1(CB)	-	SW2, SW5
SW2	SW1	SW3, 4, 5
SW3	SW2, 4, 5	-
SW4	SW2, 3, 5	-
SW5(Recloser)	SW1, SW2, 3, 4	SW6, 7, 8
SW6	SW5, 7, 8	-
SW7	SW5, 6, 8	-
SW8(CB)	SW6, 7, 5	-

표 4 통신주기 시험 결과

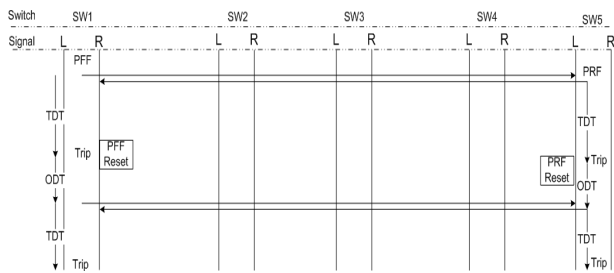
Table 4 Result on duration of communication

통신확인 주기	결과요약	소요시간
5msec	-가공 1대(5msec) 수신 시 정상 차단 -가공 2대(5msec) 수신 시 차단 시간 지연	-약 50msec 소요 -약 900msec 소요
20msec	- 가공 8대(20msec) 수신시 정상 처리됨 - 가공 8대(20msec) + 지중1대(10msec, 4회로 송신) + 지중1대(5msec, 1회로 송신) 처리 시 정상 차단됨 - 가공 8대(20msec) + 지중1대(10msec, 4회로 송신) + 지중2대(5msec, 1회로 송신) 처리 시 시간지연 발생	- 약 40msec 소요 - 약 50msec 소요 (8+(4*2)+(4*1) = 20대량 동일한 효과) - 약 800msec 소요 (8+(4*2)+(4*2) = 24대량 동일한 효과)
40msec	- 가공8대(40msec) + 지중1대(40msec,4회로 송신) + 지중2대(5msec,2회로 송신) + 지중1대(5msec,4회로 송신) 처리 시 정상 차단됨 - 가공8대(40msec) + 지중1대(40msec,4회로 송신) + 지중1대(5msec,2회로 송신) + 지중1대(5msec,4회로 송신) + 가공1대(40msec) 처리 시 시간지연 발생됨	-약 40msec소요 (8+(4*1)+(2*8)+(4*8) = 60대량 동일한 효과) -약 900msec소요 (8+(4*1)+(2*8)+(4*8)+1 = 61대량 동일한 효과)

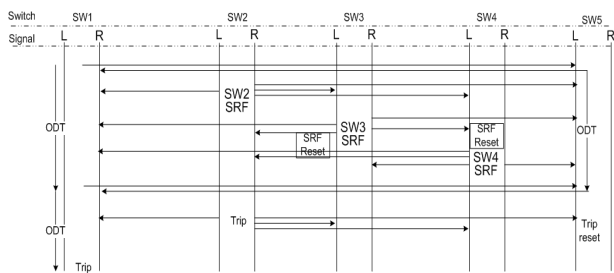
1) case 1 : 고장구간은 'BR 2'를 고려한 사례이다. 선로에서 고장 발생 시 보호기기 및 자동화 스위치는 고장검출 및 고장방향을 검출하며 방향성 정보에 따라 그림 10(b)와 같이 신호를 송출한다. SW1과 SW5는 고장의 전원측은 정방향 신호(PFF)를, 부하측으로는 역방향 정보(PRF)를 각각 송출하며 SW2는 그림 10(c)와 같이 역방향 정보(SRF)를 송출한다. 송출되는 각 신호는 표 5와 같이 정의된 IP-Map에 따라 SW1은 SW2와 SW5로부터 역방향 정보를 수신하며 SW5는 SW1로부터 정방향(PFF) 정보와 SW2로부터 역방향정보(SRF)를 수신한다. 알고리즘에 따라 SW1은 Trip Count를 지속하며 설정된 Time Count 후 Trip 동작을 수행한다. SW5는 우선적으로 SW1으로부터 정방향정보를 수신하므로 재폐로 동작을 SW1과 지속한다. 재폐로 중 첫 번째 재폐로 동작에서 SW1과 SW5의 구간에서 무전압이 발생하며 SW2는 고장 검출과 함께 역방향정보를 각각 SW1과 SW5에 송신한다.



(a) 고장 사례 1



(b) 보호기기 신호처리-사례 1

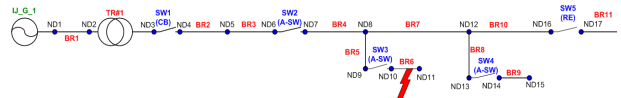


(c) 자동화 스위치 신호처리-사례 1

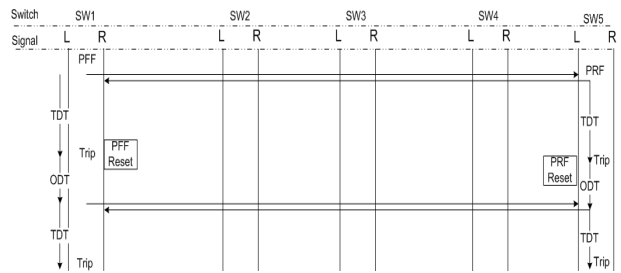
그림 10 보호협조 동작 사례 - case1
Fig. 10 Protection case study - case1

SW2의 역방향 정보에 따라 SW5의 PRF는 두 번째 재폐로 시퀀스에서 리셋되며 Time Count 또한 Count를 중지한다. SW4와 5의 경우 무전압 상태의 고장검출을 수행하나 방향정보를 가지지 못하므로 Trip 및 Open동작에서 제외된다. 결과적으로 SW1과 SW5의 시퀀스동작 시간동안 자동화 스위치의 동작이 수행되어 SW2의 Open으로 SW5의 재폐로 시퀀스는 성공하며 재투입 상태를 유지한다. 따라서 선로 #2의 구간절체를 완료한다.

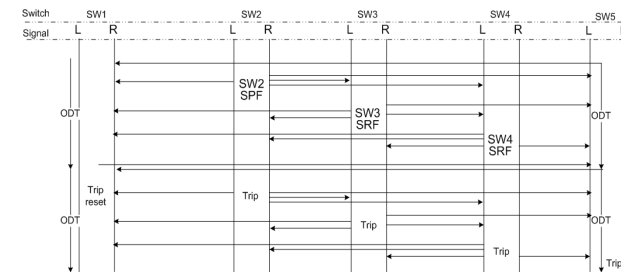
2) case 2 : 고장구간은 'BR 6'을 고려한 사례이다. 선로에서 고장 발생 시 보호기기 및 자동화 스위치는 고장검출 및 고장방향을 검출하며 방향성 정보에 따라 그림 11(b)와 같이 신호를 송출한다. SW1과 SW5는 각각 고장의 전원측은 정방향 신호(PFF)를, 부하측으로는 역방향 정보(PRF)를 각각 송출하며 SW2와 SW3은 그림 11(c)과 같이 정방향 정보(SFF)를 송출한다.



(a) 고장 사례 2



(b) 보호기기 신호처리-사례 2



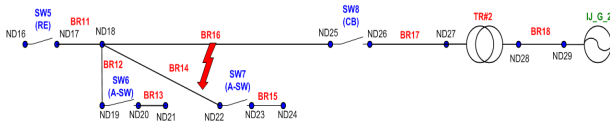
(c) 자동화 스위치 신호처리-사례 2

그림 11 보호협조 동작 사례 - case2
Fig. 11 Protection case study - case2

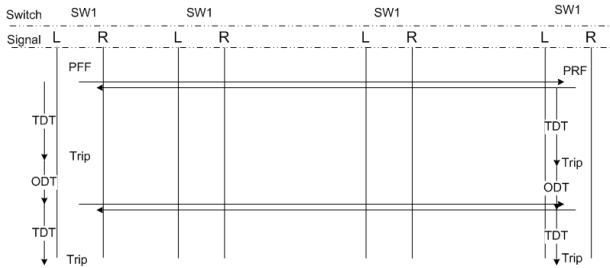
송출되는 각 신호는 표 5와 같이 정의된 IP-Map에 따라 SW1은 SW5로부터 역방향 정보를 수신하며 SW5는 SW1로부터 정방향(PFF) 정보와 SW2, 3으로부터 역방향정보(SRF)를 수신한다. SW1은 Trip Count를 지속하며 설정된 Time Count 후 Trip 동작을 수행한다. SW5는 우선적으로 SW1으로부터 정방향정보를 수신하므로 재폐로 동작을 SW1과 지속한다. 재폐로 중 첫 번째 재폐로 동작에서 SW1과 SW5의 구간에서 무전압이 발생하며 SW2, 3은 고장 검출과 함께 정방향정보를 각각 SW1과 SW5에 송신한다.

SW1과 SW5의 재폐로 동작에서 첫 번째 재폐로 수행 시 구간의 무전압으로 SW2, 3은 고장 검출을 하고 그에 따른 방향 신호와 함께 Time Count를 수행한다. SW2는 SW3의 정방향 신호에 따라 Time Count를 리셋하고 SW3은 Time Count 설정치 완료하여 고장 구간이 SW 3에 의해 분리되고 그에 따라 SW1과 SW5는 재폐로를 성공하므로 다시 투입상태 및 보호기기 Time Count를 리셋한다.

3) case 3 : 사례연구 3은 보호기기의 원활한 동작 수행 검토를 위해서 이다. 즉 분기선로에 자동화 개폐기가 설치되어 있는 구간에서도 자동화 개폐기의 동작없이 보호기기만으로 검토 가능한 Case이다. 고장구간은 'BR 16'을 고려한 사례이다. 선로에서 고장 발생 시 보호기기는 고장검출 및 고장방향을 검출하며 방향성 정보에 따라 그림 12(b)와 같이 신호를 송출한다. SW5와 SW8은 각각 고장의 전원측은 정방향 신호(PFF)를, 부하측으로는 역방향 정보(PRF)를 각각 송출한다. 송출되는 각 신호는 표 5와 같이 정의된 IP-Map에 따라 SW5는 SW8로부터 역방향 정보를 수신하며 SW8은 SW5로부터 정방향(PFF) 신호를 수신한다. SW5와 8은 Trip Count를 지속하며 설정된 Time Count 후 Trip 동작을 수행한다. 이 때 고장을 경험하는 구간의 자동화 스위치는 SW6번과 SW7번이다. 고장을 검출하는 스위치이나, 방향성 정보가 없는 정보이므로 SW5와 8은 두 차례의 재폐로 후 Trip을 수행한다. 결과적으로 보호기기의 동작으로 고장구간을 절체가 가능한 것을 볼 수 있다.



(a) 고장 사례 3



(b) 보호기기 신호처리-사례 3

그림 12 보호협조 동작 사례 - case3

Fig. 12 Protection case study - case3

3.4 실증시험 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 검증을 위해 한전 고장 전력시험장에서 그림 13과 같은 계통 구성 후 알고리즘에 대한 시험을 수행하였다.

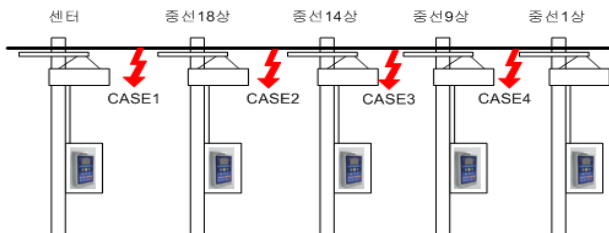


그림 13 통신을 이용한 보호협조 실증시험

Fig. 13 Field test on the proposed protection coordination

본 실증시험의 주목적은 제안 알고리즘의 정상적 동작을 확인과 서로 다른 통신망에서 IEC61850 기반의 통신을 이용한 보호협조의 성능시험을 위함이다. 즉 다수의 통신 단말장치는 단일 배전선로 상에서도 서로 상이한 통신네트워크로 연계되는 선로 특성을 반영한 결과를 확인하기 위한 것이다. 현장에 설치된 FIED(중선18 상)와 급전센터 소내 추가 FIED 한 대를 설치하여 시험을 수행하였다. 고장 인가는 센터에 설치된 FIED에 전압전류인가장치로 고장전류를 인가하여 시험하였으며 본 실증에서 센터, 중선9상을 보호기기의 FIED로 구성하였으며 기타 FIED는 자동화 스위치에 대한 기기로 설정하였다.

표 6 실증시험 결과

Table 6 Result of field test

	FIED	초기동작	절체동작	최종동작
Case1	센터	○		○
	중선18상		○	○
	중선14상			
	중선9상			
Case2	센터	○		
	중선18상		○	○
	중선14상		○	○
	중선9상			
Case3	센터	○		
	중선18상			
	중선14상		○	○
	중선9상		○	○
Case4	센터			
	중선18상			
	중선14상			
	중선9상	○		○
	중선1상		○	○

※초기동작 : 보호기기(CB, 리클로저)

※절체동작 : 자동화스위치 동작

각 FIED의 CID 파일을 구성하고 IP-Map을 입력 후 '중선 18상' 사이로 고장을 가정하여 시험한 결과 '센터 FIED'는 자신이 정방향이고 부하측(중선18상)에서 고장정보가 없기 때문에 무전압 시점에 개방지연카운트 진행되어 개방되고, '중선18상'은 자신이 고장을 경험하지 않는 조건에서 전원측(센터)에서 정방향 고장정보가 올 경우 ODT 카운트 후 동작하게 된다. 고장구간 FIED 모두 정상적으로 통신을 주고받으면서 고장구간을 분리하였으며, 서로 다른 통신망에서도 통신 및 보호협조가 정상적으로 수행되는 것을 확인하였으며 각 Case의 결과는 표 6과 같이 정리할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 스마트 배전운영시스템에서 설계된 IEC61850 기반의 통신을 이용한 보호협조 설계안과 그에 대한 실증사례를 소개하였다. 제안된 설계안의 특징은 기존의 보호기기의 고장 절체동작에서 자동화 스위치의 절체까지를 보호 프로세스로

고려하였으며 IEC61850 기반의 통신기기를 이용하여 기기간 통신에 따른 보호동작을 수행한 것이다. 기존 지중배전계통에서 적용된 방법과는 달리 가공배전계통의 특성을 고려하여 신호 및 데이터 설계가 이루어졌으며 단위 기능 사례연구 및 실증시험을 통해 설계안의 검증을 확인하였다. 그러나 배전계통의 다양성을 고려하기 위해 보다 많은 실증사례연구가 필요한 실정이다. 즉 데이터의 설계 및 통신주기의 설계 등 계통상황에 따라 많은 변경요인이 있을 것으로 사료된다. 따라서 다양한 실증시험 환경을 구성하여 제안되는 통신을 이용한 보호협조 방안의 문제점을 검토하고 있다.

본 논문에서 제안하는 보호협조 방안은 기존 과전류 보호협조방법의 한계점을 극복하고 보다 신뢰성 있는 배전계통 보호 수행을 할 수 있을 것이다.

International Conference Electricity Distribution (CICED2010)

저 자 소 개

추철민 (秋喆敏)

2007년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학사). 2007년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 스마트에너지 연구소 선임보연구원.

E-mail : cmchu79@kepcoco.kr

윤상윤 (尹尙潤)

2002년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002-2009년 LS산전 전력연구소 책임연구원. 2009년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 스마트에너지 연구소 책임연구원.

E-mail : drk9034@kepcoco.kr

권성철 (權成鐵)

1997년 포항공대 전기전자공학과 졸업(공학사). 1997년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 스마트에너지 연구소 선임연구원.

E-mail : mindall@kepcoco.kr

추경용 (秋景龍)

2002년 홍익대 전자전기공학부 졸업(공학사). 2004년 한전 KDN 입사. 현재 한전KDN 전력IT연구원 배전IT연구그룹 선임보연구원

E-mail : kychu0505@kdn.com

진영규 (陳泳圭)

2000년 강원대 전기공학과 졸업(공학사). 2001년 한전 KDN 입사. 현재 한전KDN 전력IT연구원 배전IT연구그룹 선임보연구원

E-mail : mindall@kepcoco.kr

최면송 (崔勉松)

1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업(공학박). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전기공학공동연구소 전임연구원. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.

E-mail : mschoi@mju.ac.kr

감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2009T100200067)

참 고 문 헌

- [1] 최동만 외, “신재생에너지 시스템이 연계된 22.9[kV] 배전계통의 개선된 보호협조 방안 연구”, 대한전기학회 하계학술대회, 2005년,
- [2] 김병기 외, “태양광전원의 연계에 의한 배전계통 보호기기의 최적 운용방안에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, vol 60, no 8, 2011년 8월
- [3] 최준호 외, “분산전원이 연계된 배전계통의 온라인 보호협조 방안”, 한국조명저전기학회 논문지, Vol21, No3, 2007년 3월
- [4] 임일형 외, “Multi-Agent 기반의 배전계통 보호협조 알고리즘”, 대한전기학회 하계학술대회, 2007년
- [5] 임성일 외, “배전자동화 시스템의 서비스 향상을 위한 P2P기반의 분산형 통신망 구조”, 대한전기학회 논문지, Vol56, No3, 2007년 3월
- [6] 서승용 외, “분산전원이 연계된 Closed loop 배전계통에서 통신을 이용한 보호협조 알고리즘”, 대한전기학회 하계학술대회, 2010년
- [7] 한전 KDN, “Loop 배전계통의 배전자동화 연계 및 기자체 개선방안”, 최종보고서, 2011년
- [9] 한국전력공사, “배전선로보호협조기술서”, 2001
- [10] H. T. Lee, “A Sturdy on the Comparison of Reliability for Protective Coordination of Loop Power Distribution using Communication of Circuit Breaker and Recloser”, Transaction of the Korea Institute of Electric Engineers, vol 58, No 7
- [11] F, Kawano, G. P. Baber, P. G. Beaumont, “Intelligent Protection Relay System for Smart Grid”, Developments in Power System Protection(DPSP2010)
- [12] LI. Tianyou, XU. Bingyin, “The Self-healing Technologies of Smart Distribution Grid”, China