

Digital 계전기를 이용한 배전선로 보호협조방안

이상호*, 설일호**

*한전 중앙교육원 **한전 전력연구원

A study on the protection coordination by using the digital relay in distribution network

Sangho Lee*, Ieelho Seol**

*KEPCO Central Education Institute, **KEPRI

Abstract - 최근 IT산업의 급격한 부상으로 전력산업에서도 운영시스템이나 설비들이 통합되거나 소형화 및 다양한 기능을 보유하는 등 많은 변화가 진행되고 있다. 전국의 많은 154kV배전변전소에는 기존의 유도원판형 보호계전기가 점차 철거되고 기계적인 동작시간차를 고려하지 않아도 되는 디지털보호계전기로 교체되어 있는 중이다. 따라서 배전선로 보호협조 운영기준은 유도원판형 보호계전기만을 고려하여 제정되어 있기 때문에 합리적인 배전계통운영을 위하여 보호협조 운영기준은 현실에 알맞도록 개선되어야 할 것이다. 이 논문에서는 배전변전소에서 사용중인 디지털보호계전기를 소개하고, 도입에 따른 배전선로 보호협조 방안을 제시하고자 한다

1. 서 론

보호협조는 전력계통에서 발생하는 고장의 파급방지를, 고장정전의 감소가 최우선 목표로 하고 있다. 배전계통에서는 주로 변전소 계전기와 계폐로차단기(Recloser)를 보호기기로 활용하고 있으며, 간혹 분기선로나 상시개방점에 자동구간개폐기(Sectionalizer)와 고장구간자동개폐기(Automatic Sectionalizing Switch)가 부설되어 있기도 하다. 이들 보호기기는 설치점의 부하측에서 고장이 발생하면 주어진 동작책무에 따라 자동으로 고장구간을 분리하여 정전구간을 축소시킴으로써 정전으로 인한 피해를 최소화하도록 운영하는 것이 보호협조의 임무이다. 완전한 보호협조를 위해서는 대상선로의 특성과 보호기기에 대한 상세한 이해가 필요하다. 지금까지는 주로 아날로그 변전소계전기를 기준으로 배전선로의 보호협조를 진행되어 왔으나, 최근들어 Digital 계전기로 상당부분 변경되고 있는 추세이다. 이와 관련하여 지금까지 적용하던 배전선로의 보호협조 시간에 대한 새로운 정의가 필요하다.

2. Digital 계전기와 배전선로보호협조

2.1 배전선로용 Digital 계전기

배전선로에 사용되는 Digital 보호계전기의 동작특성을 살펴보면 다음과 같다.

<표 1> Digital 계전기 동작특성 및 조정범위

구 분	동작 구분	동작치 정정	동작시간 정정	
			조정범위	특성
과전류 요소 (OCR)	순시 동작	20~80A (1A step)	40ms 이하 (2.4Hz이하)	순시
	한시 동작	0.5~12A (0.1A step)	0.5~10.0 (0.1 step)	반한시 및 강반한시
지락 과전류 요소 (OCGR)	순시 동작	10~40A (1A step)	40ms 이하 (2.4Hz이하)	순시
	한시 동작	0.1~2.0A (0.1A step)	0.5~10.0 (0.1 step)	반한시 및 강반한시

<표 2> Digital 계전기의 제작사별 형식 및 동작시간(응답시간)

제작사	형식	특성	동작시간			
			공식[sec]	k	a	C
정파워	XR-210F	NI	$t = (\frac{k}{PU^p - 1} + C) \times \frac{L}{10}$	0.11	0.02	0.42
	XR-219F	VI		39.85	1.95	1.084
다이시스	D2K-OG50	NIES	$t = (\frac{k}{PU^p - 1} + C) \times \frac{L}{10}$	0.11	0.02	0.42
		VIES		39.85	1.95	1.084
유성계전	DPRS-02	NI	$t = (\frac{k}{PU^p - 1} + C) \times \frac{L}{10}$	0.11	0.02	0.42
		VI		39.85	1.95	1.084
경보계전	GD31-A2B5	KNI	$t = (\frac{k}{PU^p - 1} + C) \times \frac{L}{10}$	0.11	0.02	0.42
		KVI		39.85	1.95	1.084
	GD311-ABK01	KNI		0.11	0.02	0.42
		KVI		39.85	1.95	1.084
효성	HPR-OC	NI	$t = (\frac{k}{PU^p - 1} + C) \times \frac{L}{10}$	0.11	0.02	0.42
		VI		39.85	1.95	1.084

※ NI : 반한시(Normal Inverse), VI : 강반한시(Very Inverse)
PU : Pick Up 배수(고장전류/정정치), L : Time value(Lever)

2.2 Analog 와 Digital 계전기의 차이점

아날로그 계전기의 동작원리는 정정치(최소동작전류) 이상의 전류가 흐르면 자속에 의해 토오크(torque)가 발생하고 이 토오크가 원판을 회전시키게 되며 회전하는 원판에 있는 접점이 고정 접점에 접촉하는 순간 개방신호가 발생되고 이 신호에 의해 CB(Circuit Breaker)가 개방하게된다. 이에비해 디지털 계전기는 정지형 계전기를 발전시킨 것으로 정지형 계전기가 아날로그 신호를 그대로 처리하는데 반하여 디지털 계전기는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환(샘플링)한 뒤 Micro-Processor에서 그 값을 해석하여 동작시간을 계산한다.

따라서 동작시간 계산에 오차가 거의 없을 뿐만 아니라 샘플링 된 자료를 이용하여 다양한 기능을 구현할 수 있다. 또한 부피가 작다는 장점이 있으며 특성곡선도 함수로 가지고 있기 때문에 한 계전기에 여러 개의 곡선을 내장하고 있어 사용자가 임의로 선택할 수 있다.

<표 3> 아날로그와 Digital 계전기 비교

구 분	아날로그 계전기 (전자기계식 계전기)	디지털 계전기
복귀시간	고장전류크기, 지속시간에비례	복귀시간 개념 없음 (고장제거 즉시 완전 복귀)
관성시간	감안해야 함(0.03~0.06초)	관성시간 없음
진동에 의한 오동작	Lever 값이 너무 적음 경우 오동작 가능성 있음	진동에 의한 오동작 가능성 없음
Tap 간격	간격 넓음	간격 좁음 (세밀한 정정 가능)
정밀도	낮음	높음

2.3 변전소 계전기 정정지침

현재 배전선로를 관리하고 있는 변전소 계전기 정정지침은 다음과 같으며 이를 기준으로 배전선로의 보호기기의 정정치가 결정된다.

<표 4> 현재 사용중인 계전기 정정지침

구분	정정지침
순시 Tap	OCR ① 전위R/C(또는 OCR) 설치점의 3상 단락전류 x 1.5이상 ※ 단 R/C(또는 OCR)가 없는 경우에는 최소값
	OCGR ① 전위R/C(또는 OCGR)설치점의 최대1선 지락전류 x 1.4이상 ※ 단 R/C(또는 OCGR)가 없는 경우에는 최소값
한시 Tap	OCR ① 최대부하전류 x 1.5 이상 ② 보호구간 최소 2상 단락전류 / 1.5 이하
	OCGR ① 최대부하전류 x 0.3 이상 ② 보호구간 최소 1선 지락전류 / 1.5 이하
한시 Lever	OCR ① 변전소 인출점 3상 단락전류에서 0.5초(30Cyc)이하로 동작 ※ 보호협조가 곤란할 경우 0.6초이하로 정정가능
	OCGR ① 변전소 인출점 최대 1선 지락고장에서 0.5초 이하로 동작

<표 5> 보호기간 협조기준 시간차.

후비 보호기기	전위 보호기기	협조 시간차 (Hz)	비 고
OC(G)R	R/C	10	OC(G)R은 유도형에 한함
OC(G)R	OC(G)R	17	
KH-ESV, ESV	R/C	3.5	
IJB-VE, VWVE, EVR-2x	R/C	2.7	
유압식	R/C	8	
R/C	OC(G)R	6	

위에 나타난 계전기정정지침과 보호기기 협조시간차는 모두 아날로그계전기를 기준으로 작성되었다. 이에 따라 변전소와 배전선로용 보호기간의 협조가 선로여건에 따라 불가능한 경우도 발생하고 있으며, 특히 순시요소와의 협조는 상당히 제한적으로 운영되고 있는 실정이다. 변전소 Relay 한시요소에서의 동작시간은 정정지침상 0.5sec(30Hz) 이내로 되어 있으나 재폐로와 고장전류로부터 변전설비에 미치는 충격을 완화하고자 Lever를 정정하기도 한다.

2.4 계전기와 배전선로보호협조(한시요소)

(1) Analog 계전기

변전소 계전기와 전위R/C간의 보호협조는 계전기의 관성동작시간 등을 감안하여 한다. 즉

$$T_1 = T_2 + S \text{ and } S \geq B + O + a$$

여기서 T1 : 후비계전기의 동작시간(sec)

T2 : 전위계전기의 동작시간(sec)

S : 보호협조 시간, 동일특성 유도원판형일때

S = 0.4~0.5적용

B : 인접구간 차단기의 차단시간(sec)

O : 구하려는 계전기의 관성동작시간

(OCR : 0.1, OCGR : 0.2 sec)

a : 여유시간(0.1~0.2 sec)

계전기동작시간 - R/C 동작누적시간 > 10Hz

위 조건을 만족해야 한다. 고장전류에 의해 유도형 원판의 진행률을 계산하고 R/C의 재폐로 시간에 의한 원판의 복귀율을 계산하여 누적된 원판의 현위치(누적

행률 - 누적 복귀율)가 잔여시간이 10Hz이상이어야 한다. 이 조건은 아날로그계전기의 특징인 복귀시간과 관성시간이 감안된 시간으로 현행 Digital계전기가 설치된 변전소여건에 적합하지 않으며, 이는 곧 배전선로 보호협조운영의 폭을 줄여 이 조건을 만족하지 않을 경우 R/C의 재폐로 투입중(LockOut이 되기 전)에 CB가 동작하여 고장구간을 분리할 수 없게 된다.

(2) Digital 계전기

기존의 옥외철구형 변전소를 GIS(Gas Insulated Switchgear)형으로 변경하거나 GIS형 변전소의 건설이 활발히 이뤄지고 있으며 GIS형 변전소는 모두 <표1>의 Digital형 계전기를 사용하고 있다. 전국에 많이 설치된 Digital형 계전기와 전위R/C간 보호협조를 위하여 현재 정정지침이 마련되어 있지 않다. 따라서 Digital형과의 보호협조를 위하여 다음과 같이 검토하여 적용하려 한다. R/C는 보호계전기와 Cb가 조합된 기기로서 T-C커브에서 제공하는 동작시간은 Tc이나, 변전소의 보호장치가 계전기와 CB의 개별 기기의 조합이므로 변전소의 Tc는 계전기의 Tr과 CB의 정격차단시간을 더해야 한다.

<표 6> 차단기의 정격차단시간

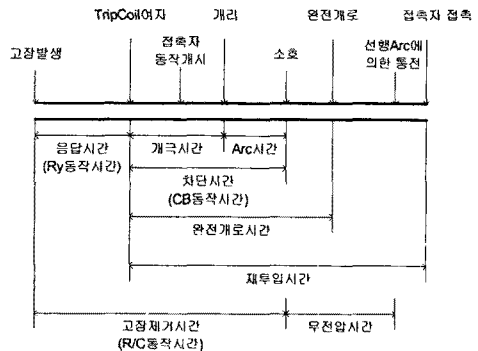
정 격 전 압(kV)	7.2	25.8	72.5	170	362
정격차단시간(Cycle) 이내, 60Hz 기준	5	5	5	3	3

보호협조 시간차는 전위측 보호계전기의 고장제거시간(Tc : Clearing Time)이 후비측 보호기기의 응답시간(Tr : Response Time)보다 적어야 한다. 이를 식으로 표현하면,

$$Tc(\text{고장제거시간}) = Tr(\text{응답시간}) + Ti(\text{차단시간})$$

$$\text{후비보호기기 } Tr > \text{전위보호기기 } Tc$$

R/C의 지연동작시간보다 순시동작시간이 적으므로 Digital형 계전기의 특성상 복귀율을 고려할 필요가 없이 R/C의 순시동작시간과 계전기의 응답시간을 비교하면 된다. <표 2>에서 제공한 동작시간은 Tr이며 한전구 매시방서에 의하면 25.8kV급 교류차단기의 정격차단시간은 5Hz이므로 실제 계전기의 Tc는 Tr + 5Hz의 시간을 갖는다. 따라서 계전기의 Tr과 R/C의 순시Tc간 동작시간을 비교하여 조건을 만족하면 협조가 가능하게 된다. 참고로 신형전자식 R/C(Gas절연형, 유입절연형)의 동작시간과 차단기 조작시간은 다음과 같다.



<그림 1> 차단기 조작시간

<표 7> 신형R/C의 동작시간

동작구분	동작상태	동작시간	누적시간
고장발생			
Trip coil 여자	응답시간	10ms	10ms
기계적 접촉 개방	개극시간	20ms	30ms
Arc 소호	Arc소호시간	17ms	47ms

[참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원, “배전자동화 기반의 배전제동 최적운전 기법 개발”, 2005.04
- [2] 김우용, “배전자동화 교육교재”, 한전 서울지역본부 2002.05
- [3] 한전 배전처 “배전보호기술서”, 1995

여기서는 Digital R/y에서는 기존의 판정시간에 대한 고려시간을 6cyc(OCR : 0.1, OCGR : 0.2 sec)로 계산하여 협조시간차에서 차감하고, 협조여유시간은3-4cyc를 유지하는 형식으로 현행 보호기기 협조시간차를 Digital 계전기를 고려하여 재산정 해보았으며 그 내용은 다음과 같다.

<표 8> 보호기기간 협조시간차 변경(안)

후비 보호기기	전위 보호기기	협조시간차 (Cyc)		비 고
		현행	개선(안)	
OC(G)R	Recloser	10	4	OCR = Tr RC = Tc
OC(G)R	OC(G)R	17	9	OCR = Tr
KH-ESV, ESV	Recloser	3.5	3.5	R/C = Tc
IJB-VE, VWVE, EVR-2	Recloser	2.7	2.7	R/C = Tc
Recloser	OC(G)R	6	8.5	R/C = Tc OCR = Tr

협조여유시간은 현재 사용되는 계전기와 보호기기가 과거에 비해 성능이 많이 개선되어 3-4cyc으로도 충분할 것으로 판단되며, R/C의 Tc 는 건화R/C를 기준으로 최대 3.5cyc로 설정하였고, OCR의 Tr은 5cyc를 적용했다.

<표8>에서 보이는대로 OCR과 R/C, OC(G)R과 OC(G)R은 상당한 시간을 줄일수 있었으나, 반면에 후비R/C와 전위의 고객OCR은 오히려 시간이 늘어나는 것으로 검토되었다. 이상과 같은 시간차로 협조하게 된다면 부하 내용과 공장에 따라 협조가 되지 않던 부분들이 상당부분 해소될수 있을 것으로 예상된다.

3. 결 론

위에 변경(안)으로 제시한 각 보호기기간 협조시간차는 앞으로 기기별 성능시험과 많은 실증시험을 통해 증명후 현행 변전소를 관리하고 있는 송변전사업소와 배전선로 보호기기를 운영하는 배전사업소간의 유기적 협조체제 구축하에 적용 검토되어야 할 것이다. 특히 Recloser와 수전설비에서 사용되는 계전기의 특성에 대한 분석이 추가로 필요한 상황이며, 제조회사별 차단시간에 대한 분석도 선행 되어야 한다. 또한 배전선로 보호협조의 고장전류계산에 사용되고 있는 각종 선로정수나 Mtr 및 계통의 %임피던스 값들이 제대로 반영되지 않아 세밀한 보호협조 검토가 어려우므로 이에 대한 구체적인 대안도 함께 논의 되어야 할 것이다. 끝으로 변전소계전기 정정지침에 나와있는 한시Lever의 동작시간인 0.5초(30Cyc)에 대한 내용들도 역시 아날로그 계전기를 기준으로 설정되어 Mtr보호계전기와 CB보호계전기의 협조시간에 대한 분석도 차후에 검토하여 변전소와 배전선로간의 안전하면서도 최적상태로 운영을 할수 있는 대안을 강구토록 하겠다.