

PSS/E용 송전선로 보호 계전기 모델 개발

김종욱· 강상희· 이동규· 이성진* 권석기*

*명지대학교 **한국전력거래소

Development of Transmission Line Protection Relay Models for PSS/E

Jongwook Kim· Sanghee Kang· Donggyu Lee· Seongjin Lee* Seokkee Kwon**

*Myongji University **Korea Power Exchange

Abstract - The digital simulation of electric power system is a very important tool that can decide a proper protection systems from the design of the systems. Protection systems base on the wrong simulation results can cause a serious danger in the stability of the power system. So, the power system makes for simulation and the actual power system must be maximumly homologized. In this paper, protection relay models used in actual systems were developed in the PSS/E

표 1. 개발 대상 계전기

계전기	보호기능	제조사
D2L7E	전류차동	Toshiba
GRL	전류차동	Toshiba
KYP2D1	전류차동	Xelpower
MCD	전류차동	Mitsubishi
GRZ	거리제전	Toshiba
MDT A2	거리제전	Mitsubishi
MDT F	거리제전	Mitsubishi
MXL1E	거리제전	Toshiba
KYD2X1	거리제전	Xelpower

1. 서 론

산업의 발달로 전기의 수요는 기하급수적으로 증가하여 모든 국가의 중요한 에너지원이 되었다. 이에 따라 전기를 생산하고 수송하는 일련의 설비인 전력계통도 전기 수요에 비례하여 대형화, 복잡화 되어졌다. 이런 전력계통에 고장이나 사고가 발생하면 그 파급 효과는 전 산업에 막대한 영향을 미치므로 미연에 방지할 수 있는 보호기능이 필요하며 이 보호기능은 최적화가 되어야 한다. 전력계통보호기능은 현장실험을 통해 개선되어야 하지만, 전력계통에 특성상 제약이 따라 시뮬레이션 프로그램에 의존할 수밖에 없어 시뮬레이션 프로그램의 정확도가 요구된다.

PSS/E(Power System Simulator for Engineering)는 전력계통 해석 프로그램이다. 이 프로그램에서 일부 보호계전기 모델이 구현되어 있으나 국내에서 사용 중인 보호계전기의 일부만 제한적으로 표현 가능하여 계통 모의 시 보호시스템의 정밀해석이 불가능하다. 하지만, PSS/E는 사용자가 정의한 모델 또는 프로그램을 지원하는 기능이 있어 사용자가 직접 보호계전기 모델을 개발할 수 있다. 계전기 모델을 개발하기 위해서는 보호계전기의 동작 알고리즘 및 로직을 분석하여 포트란 언어로 프로그래밍 되어야 한다.

본 논문에서는 각 제작사별 보호계전기의 보호요소를 PSS/E의 사용자 정의 모델로 사용이 가능하도록 프로그램 하는 과정과 실제 적용에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 계전기 모델 개발

송전선로 보호형 계전기는 양단 전류정보를 이용하는 전류차동 계전기와 임피던스의 궤적을 이용한 거리제전기가 있으며, 제작사별 계전기의 보호요소나 보호스킴은 조금씩 다르다. 이 중 우리나라에서 사용 중인 디지털형 송전선로 보호 계전기를 개발 대상으로 하였고, 표 1은 개발대상 계전기이다.

2.2 모델 개발 순서

PSS/E용 사용자 정의 모델 개발순서는 다음과 같은 순서로 이루어진다.

- ① 보호요소 설계
 - 제작사별 계전기의 동작 알고리즘, Logic 및 정정 분석을 통한 보호요소 설계.
- ② 모델 구현 및 계전기 추가
 - 설계한 보호요소를 프로그래밍하고 PSS/E Dnamic Data File에 선로 계전기 모델을 추가.
- ③ 컴파일(Compile) 및 디버깅(Debugging)
- ④ 다이나믹 시뮬레이션
 - 임의의 이벤트에 대한 계전기 동작특성 및 계통의 응답특성 모의.

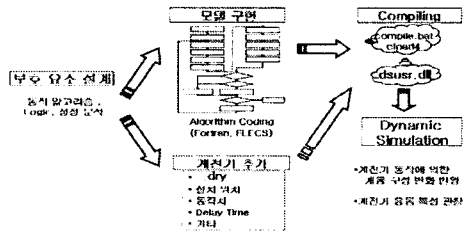


그림 1. 사용자 정의 모델 개발 개념도

2.3 개발 모델의 제약

PSS/E는 단상 해석을 통해 전류, 전압 정보를 페이지 값으로 출력한다. 이는 일반보호계전기가 각상의 순시치 전압, 전류 정보를 이용 고장을 판별하는 것에 비하여 개발 모델은 단상 페이지 정보로 고장을 판별해야 한다. 또한, PSS/E의 동적 시뮬레이션에서 불평형 고장 모의 시 각상의 시퀀스 정보를 얻기가 매우 어렵기 때문에 불평형 고장 모의시 개발 모델의 적용은 어렵다.

2.4 개발 모델의 논리도 및 순서도

그림 2, 3은 전류차동계전기인 KYP2D1과 GRL의 간략한 논리도이다. KYP2D1은 87요소와 고장검출 요소인 UVS, OCR을 이용하여 고장을 판단한다. 이와 마찬가지로, GRL도 87요소와 고장검출 요소를 결합하여 고장을 판단한다.

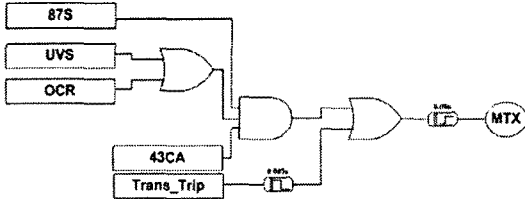


그림 2. KYP2D1의 논리도

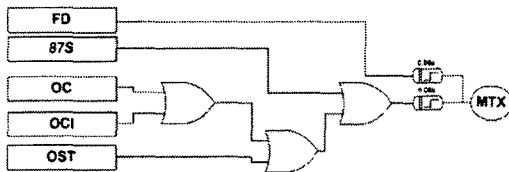


그림 3. GRL의 논리도

그림 4는 거리계전기인 KYD2X1의 간략한 논리도이다. KYD2X1은 Zone 1, 2, 3의 계전요소와 동기탈조 저지 요소인 PSB(Power Swing Blocking)요소와 결합하여 고장을 판단한다.

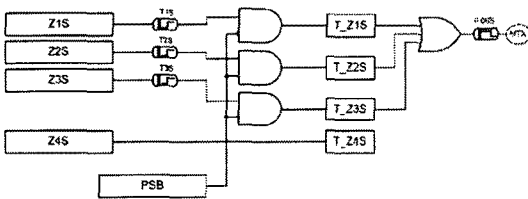


그림 4. KYD2X1의 논리도

그림 5는 개발한 계전기 모델을 변전소에 설치되는 배전반 형식으로 묶은 프로그램의 알고리즘 순서도이다.

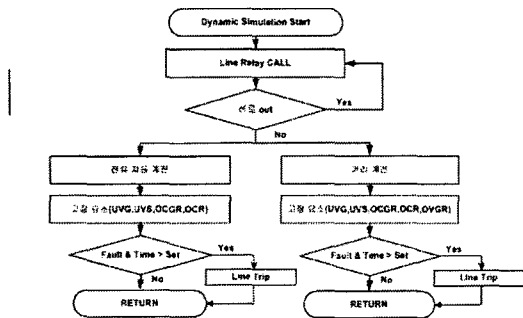


그림 5. 알고리즘 순서도

PSS/E 다이내믹 시뮬레이션을 시작하면 사용자가 프로그램밍한 선로보호계전기인 전류차동 계전기와 거리계전기 모델을 사용하여 고장요소와 더불어 고장을 판단한다. 고장이 판정되어지면 지연시간에 후에 선로를 차단한다. 선로가 차단되어 있으면 메인함수로 돌아간다.

2.5 개발 모델 검증

본 논문에서 개발한 모델의 검증을 위해 그림 6에 나타난 154kV급 10기 39모선인 New England 계통모델에서 상정 사고 및 저전압 현상시 계전기의 동작특성을 분석하였다.

표 2는 New England 계통의 선로에 설치된 계전기의 종류를 나타낸다.

표 2. 설치된 계전기

설치 선로	전류차동계전기	거리계전기
2-3	GRL	GRZ
3-4	MCD	MDT-F
5-8	MCD	MDT-A2
6-5	KYP2D1	KYD2X1
4-3	D2L7E	MXL1E

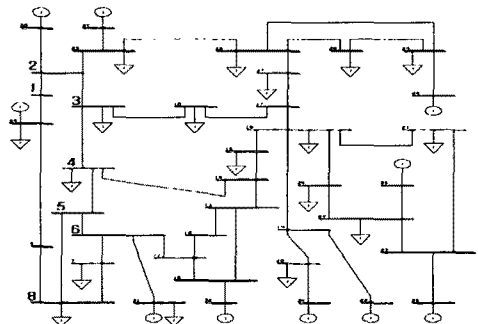


그림 6. 10기 39모선 계통도

2.5.1 상정 사고시

그림 7, 8은 PSS/E 다이내믹 시뮬레이션에서 정상상태 1초 모의 후, 모선 4에 3상 단락 고장을 모의한 결과이다.

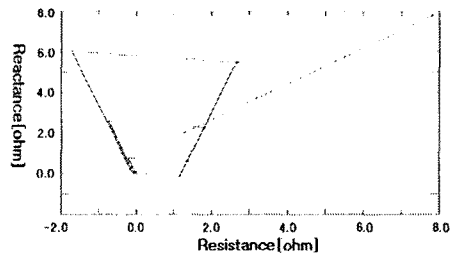


그림 7. 선로 3-4에 설치한 거리계전기 동작 특성

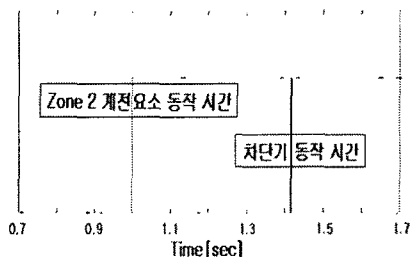


그림 8. 선로 3-4에 설치한 계전기 동작 시간

그림 7, 8에서 보듯 1초에 임피던스의 궤적이 Zone2의 영역 안으로 들어와 지연시간을 걸쳐 1.4083초에 선로가 차단되는 것을 볼 수 있다.

2.5.2 저전압 현상시

저전압현상의 원인중 하나는 부하의 증가로 볼 수 있다. 이 현상을 모의하기 위해 시간에 따라 일정 비율로 부하를 증가시키면, 그림 9와 같이 모선 3의 전압이 서서히 떨어지다가 427초 이후에 급격히 붕괴되는 현상을 볼 수 있다.

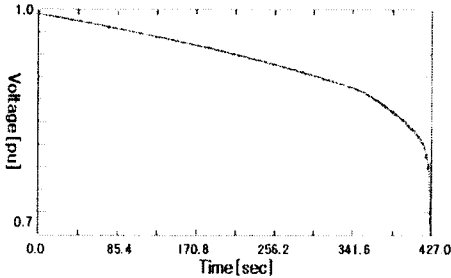


그림 9. 모선 3의 t-V 곡선

선로 3-4에 개발한 거리계전기 모델을 설치하여 계전기가 측정한 임피던스 궤적을 보면, 284.002초에 Zone 3 영역으로 들어오는 것을 그림 10, 11과 같이 확인할 수 있었다. 이 때 Zone 3계전요소가 동작하고 지연시간을 걸쳐 285.761초에 선로가 트립되었다. 이전 시간 282.002초에 임피던스 궤적이 Zone 3영역에 들어오나 지연시간 전에 다시 영역 밖으로 나가 계전기는 동작하지 않았다. 그림 10은 임피던스 궤적이 Zone 3영역에 들어와서 선로가 트립되기 전까지의 임피던스의 궤적을 표시한 것이다.

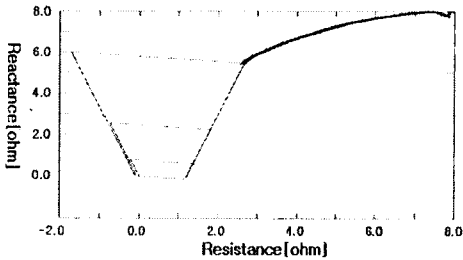


그림 10. 선로 3-4에 설치한 거리계전기의 임피던스 궤적

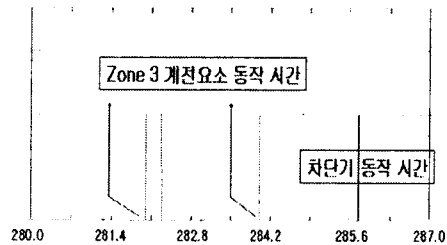


그림 11. 선로 3-4에 설치한 계전기 동작 시간

선로차단 후, 전압은 일시적으로 상승하는 것처럼 보이나 선로 정전용량의 감소 및 임피던스의 급격한 증가로 계전기 설치 전 보다 계통이 더 빨리 악화되었다. 이는 보호계전기의 불필요한 동작으로 전압붕괴현상이 더 빨리 진행되는 것을 말한다.

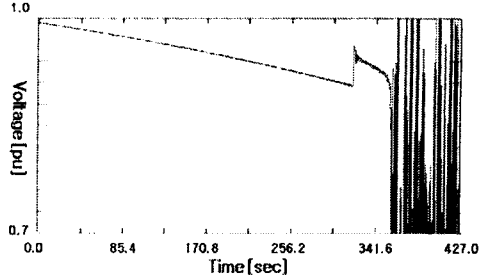


그림 12. 계전기 설치후 모선 3의 t-V 곡선

3. 결 론

본 논문에서는 전력계통에 쓰이는 보호계전기의 보호요소를 설계하여 이를 프로그램 하여 전력계통 해석 툴인 PSS/E에 적용시켰다. 개발한 모델을 이용하여 정정률 검토 및 개선을 할 수 있으며, 광역 보호시스템 설계 및 계통의 안정도 평가 등에 많은 기여를 할 수 있을 것이라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김진중, "전력계통 전압안정도 해석기술", Proceedings of KIEE, Vol. 50, No. 50, JUL 2001.
- [2] Hawchang Song, "Control Strategies Unwanted Relaying Operation During Voltage Instability", APAP2004, pp203-209, Oct 2004.
- [3] Daniel Karlsson, "Voltage Stability-Modeling and System Protection Scheme", PSS, pp. 37-42, 2000.
- [4] I. Dobson and L. Lu, "New methods for computing a closest saddle node bifurcation and worst case load power margin for voltage collapse", IEEE Trans, on Power systems, vol. 8, pp. 905-913, Aug, 1993.
- [5] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1993
- [6] "Program Operation Manual PSS/E 30", Power Technologies, Aug, 2004