

송전선로 보호용 보호계전기 시험을 위한 계통모델 개발에 관한 연구

서훈철\*, 이홍학\*, 김철환\*, 이재욱\*\*, 장병태\*\*, 곽노홍\*\*, 김호표\*\*\*, 김일동\*\*\*\*  
 \*성균관대학교, \*\*한전 전력연구원, \*\*\*한국전력공사, \*\*\*\*두원공대

A Study of the Development of Power System Model for Performance Test of Transmission Line Protective Relay

\*H.C. Seo, \*H.H. Lee, \*C.H. Kim, \*\*J.W. Lee, \*\*B.T. Jang, \*\*N.H. Gwak, \*\*\*H.P. Kim, \*\*\*\*I.D. Kim  
 \*SungKyunKwan University, \*\*KEPRI, \*\*\*KEPCO, \*\*\*\*Doowon Techniqual College

**Abstract** - The standard power system model is needed to test a transmission line protective relay. There are two methods to develop a power system model for transmission line protection. First method is based on characteristic power system model, and second method is based on functional power system model. This paper presents a standard power system model for performance test of transmission line protective relay, where the power system model is based on the two methods. And this model is simulated by using RTDS to test a protective relay.

1. 서 론

송전선로를 보호하기 위하여 송전선로용 보호계전기가 도입되었다. 이러한 보호계전기는 고장 등과 같은 과도 상태에서 보호대상인 송전선로를 보호함으로써, 보호책무를 다하며 전력의 안정적인 공급에 기여한다. 따라서 송전선로용 보호계전기 성능검증을 위해서 송전선로 시험용 계통모델 설정이 요구된다. 계통 모델을 개발하는 방식에는 특성론적인 계통모델 개발방식과 기능론적인 계통모델 개발방식의 두 가지가 있다.

본 논문에서는 상기 기술한 두 가지 방식을 결합한 새로운 접근 방식인 결합론적인 계통모델 개발방식을 제시하였다. 제안된 결합론적인 계통모델 개발 방식은 보호계전기의 기능 시험을 기반으로 하고, 각 기능 시험을 위하여 한국전력공사의 계통 특성을 반영함으로써 기능 시험 및 특성들이 모두 포함된 계통모델이다. 또한 보호계전기가 실제 시험되어질 RTDS(Real Time Digital Simulator)의 모의 조건을 최대한 고려하여 송전선로 시험용 계통모델을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 계통모델 개발 방식

특성론적인 계통모델 개발 방식은 설치 예정된 보호대상 계통의 전형적인 전기적인 특성을 나타내는 단일의 송전선로 보호용 계통모델을 개발하는 방식이다. 이러한 개발 방식은 2003년부터 IEEE의 전력계통 보호계전기 위원회에서 연구를 개시한 개발 방식으로 [1], 완전한 계통특성을 고려할 수는 없더라도, 대표적인 특성을 고려하여 연구를 진행 중인 개발방식이다. 기능론적인 계통모델 개발 방식은 보호계전기의 기능 및 시험항목에 적절한 다수의 송전선로 보호용 계통모델을 개발하는 방식으로, CIGRE working group study committee 34에서 연구를 한 개발 방식이다 [2]. 이러한 개발방식은 거리계전기 및 전류차동 계전기의 정특성과 동특성을 기능에 따라 분류하여 시험하도록 한 개발방식이다.

2.1.1 특성론적인 계통모델 개발 방식

양단 전원과 병행선로, 단일 선로의 조합에 스위치 SW를 개폐함에 따라 3단자 선로를 모의할 수 있는 다

음 그림 1과 같은 계통모델을 대상으로 선정하여 연구중인 방식이다[1]. 그림 1과 같은 계통모델에 대상 전력계통의 특성을 반영하기 위하여 유의할 점은 다음과 같다. 첫째, 선로파라미터의 특성을 반영하기 위해 선로길이의 최소, 최대 및 중간값을 고려할 것 둘째, 송전선로의 임피던스의 특성을 반영하기 위해 임피던스의 최소, 최대 및 중간값을 고려할 것 셋째, 상기 파라미터들의 변화가 매우 작은 범위에 대해서는 평균값을 선정할 것 넷째, 발전기 정수의 특성은 최소, 중간값 및 최대 설치용량을 고려할 것

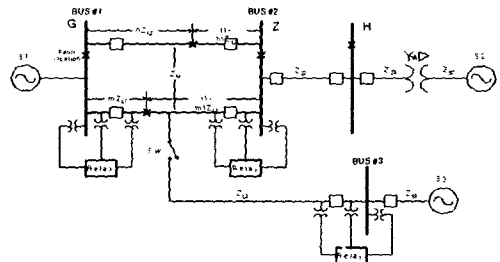


그림 1 송전선로 보호계전기 시험을 위한 기본 계통모델

2.1.2 기능론적인 계통모델 개발 방식

CIGRE에서는 다음 그림 2, 그림 3과 같이 단전원과 양단전원으로 나누어 동특성 시험모델을 통한 기능론적인 계통모델 방식을 제시하였다[2].

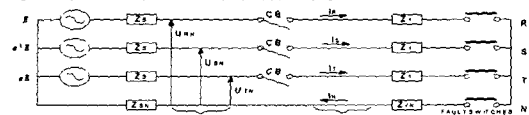


그림 2 단전원 동특성 시험 계통모델

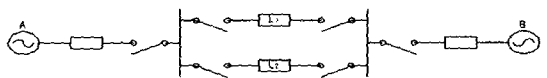


그림 3 양단전원 동특성 시험 계통모델

송전선로용 보호계전기에 주로 거리계전기 및 전류차동계전기가 사용되고 있으므로, 기능론적인 계통모델 개발시 주의할 점은 다음과 같다.

- 첫째, 단전원 동특성 시험과 양단전원 동특성 시험 모델을 고려할 것
- 둘째, 단전원과 양단전원을 각각 적용하였을 때, 거리계전기의 동특성 시험을 위한 기능시험 및 시험항목들을 고려할 것
- 셋째, 단전원과 양단전원을 각각 적용하였을 때, 전류차동 계전기의 동특성 시험을 위한 기능시험 및 시험항목들을 고려할 것

**2.2 결합론적인 계통모델 개발 방식**  
 결합론적인 계통모델 개발 방식은 보호대상 계통의 대표적인 계통 특성 및 보호 계전기의 기능을 고려한 다수의 송전선로 보호용 계통모델을 개발하는 방식이다. 이러한 계통모델 개발 방식은 기존의 계통모델 개발 방식 두가지를 접목한 새로운 접근 방식으로 그 개략도는 다음 그림 4와 같다.

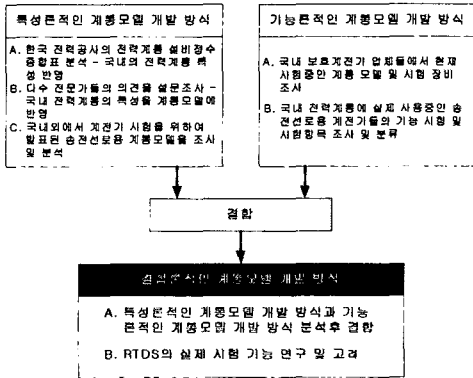


그림 4 결합론적인 계통모델 개발 방식의 개발 단계

**2.2.1 한국전력공사의 전력계통 설비정수 종합표 분석**

국내 전력계통의 특성을 도출하여 송전선로 보호용 보호 계전기시험을 위한 계통모델에 적합한 파라미터 값을 제시하기 위하여 '2002 전력계통 설비 정수 종합표'를 분석하였으며 [5] 그 결과는 다음과 같다.

**2.2.1.1 345kV 송전선로**

실계통에서 가장 많이 사용하는 가공선로, 지중 선로에 대한 임피던스 값은 다음 표 1과 표2와 같다[5].

표 1 345kV 송전선로에서 가공선로에 대한 적절한 임피던스 값과 범위

|       | $Z_1$                             | $Z_S$                             | $Z_m$                             | 공장    |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|
| 적절한 값 | 0.00255+j0.031                    | 0.01728+j0.08595                  | 0.01565+j0.0204                   | 50    |
| 범위    | 0.0015+j0.0253~<br>0.0037+j0.0421 | 0.0126+j0.0744~<br>0.0243+j0.1107 | 0.0111+j0.0019~<br>0.0202+j0.0389 | 40~70 |

표 2 345kV 송전선로에서 지중선로에 대한 적절한 임피던스 값과 범위

|       | $Z_1$                             | $Z_S$                             | 공장      |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|
| 적절한 값 | 0.0011+j0.0101                    | 0.0040+j0.0048                    | 18.5    |
| 범위    | 0.0011+j0.0090~<br>0.0011+j0.0106 | 0.0037+j0.0039~<br>0.0047+j0.0052 | 16.7~22 |

**2.2.1.2 154kV 송전선로**

실계통에서 가장 많이 사용하는 가공선로, 지중 선로에 대한 임피던스 값은 다음 표 3과 표4와 같다[5].

표 3 154kV 송전선로에서 가공선로에 대한 적절한 임피던스 값과 범위

|       | $Z_1$                            | $Z_S$                             | $Z_m$                            | 공장    |
|-------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------|
| 적절한 값 | 0.03292+j0.1821                  | 0.1194+j0.50896                   | 0.086526+j0.259                  | 20    |
| 범위    | 0.018+j0.1406~<br>0.0543+j0.2485 | 0.0951+j0.4211~<br>0.1691+j0.6907 | 0.077+j0.2175~<br>0.1105+j0.3546 | 12~28 |

표 4 154kV 송전선로에서 지중선로에 대한 적절한 임피던스 값과 범위

|       | $Z_1$                             | $Z_S$                            | 공장        |
|-------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| 적절한 값 | 0.006767+j0.06567                 | 0.0263+j0.04733                  | 4.375     |
| 범위    | 0.0055+j0.0612~<br>0.0078+j0.0717 | 0.0188+j0.0255~<br>0.0357+j0.096 | 3.73~4.78 |

**2.2.2 계전기 시험에 관한 전문가 의견 설문조사**

계통모델 개발시 대상 계통의 전력계통의 구조 및 특성을 알기 위해서는, 다년간 경험을 가진 실계통 전문가들의 의견이 중요하다. 따라서 국내의 계전기 시험에 관한 전문가 의견을 종합해본 결과, 송전선로 보호용 보호 계전기 시험을 위한 계통모델 작성시 고려사항은 다음과 같다.

- 첫째, 초 단거리 선로(1km정도, 주로 지중선로)
- 둘째, 지근단사고(0%, 5%, 25%, 50%, 75%, 90%)
- 셋째, 모선양단 동시 고장
- 넷째, Mutual이 관련된 사고(4회선, 6회선, 충전전류)
- 다섯째, 최소한 4개 Source 이상의 계통시 Apparent효과
- 여섯째, HIF(High impedance fault) 상간 고장
- 일곱째, 약전원이 포함된 계통 사고
- 여덟째, Zone 3 시험과 변압기를 고려하는 경우

**2.2.3 국내외에서 계전기 시험을 위한 계통 모델**

국내외에서 발표된 연구논문에서 송전선로 보호용 계전기 시험을 위한 계통 모델 중 대표적인 계통 모델은 다음 그림 5~7과 같다 [6-8].

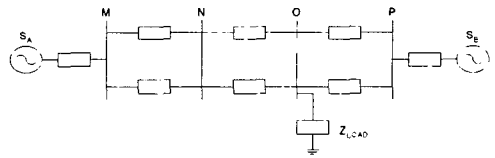


그림 5 송전선로 보호용 계통 모델1

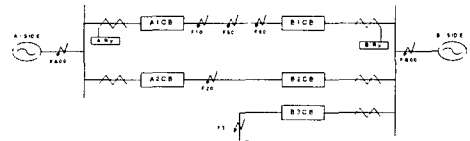


그림 6 송전선로 보호용 계통 모델2

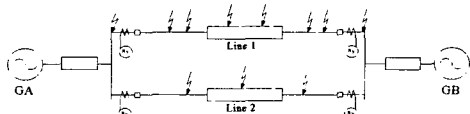


그림 7 송전선로 보호용 계통 모델3

**2.2.4 국내 보호계전기 업체의 계통 모델 조사**

국내 보호계전기 업체의 계통 모델을 보면 다음 그림 8과 그림9와 같이 양단전원, 병행 2회선 계통임을 알 수 있다.

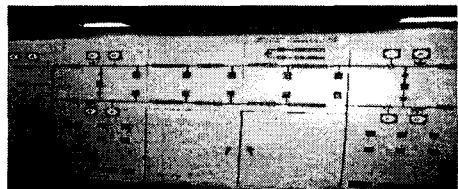


그림 8 국내 보호계전기 업체의 모의 송전선로 장비

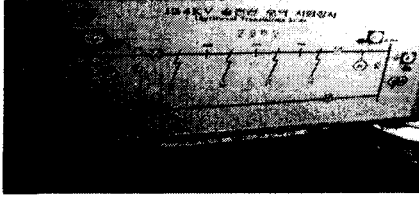


그림 9 모의 송전선로 장비

### 2.2.5 송전선로 보호계전기의 시험항목 조사

국내 전력계통에 실제 사용 중인 송전선로 보호계전기의 성능시험을 조사 및 분류하면 다음 표 5와 같다.

표 5 송전선로 보호계전기 시험 항목

| 보호요소                   | 2모선 모델로 시험가능한 계전요소   | 4모선 모델로 시험가능한 계전요소                 |
|------------------------|--|------------------------------------|
| 전류비율차동계<br>전요소         | CT 포화 시험<br>CT 개방 시험<br>출전전류 보상기능 시험<br>고저항 고장 시험  | 전류비율 차동계전요소 시험(내,외<br>부 사고)        |
| Carrier Scheme<br>계전요소 | 보호협조시간 시험(Blocking)<br>고장전류반전 시험(Blocking)<br>약전원계통 시험<br>Carrier Reflex 시험  | 내,외부 동작 시험                         |
| 거리계전요소                 | 거리계전요소의 Z1시험<br>거리계전요소의 고저항시험<br>Leading Phase Overreach시험<br>Memory Action 시험<br>전력동요 시험<br>동기탈조 시험<br>Open Line Detection 시험<br>8OFT 시험<br>8TUB 시험 | 거리계전요소의 Z2,Z3,Z4 Reach 시험          |
| 공동특성 보호<br>계전요소        | 자동재폐로 시험<br>단시간 고장 시험  | 차단실패 보호 시험<br>전전 고장 시험<br>다중 고장 시험 |

### 2.2.6 성능검증용 계통 모델

상기와 같은 과정을 통하여 가장 이상적인 성능 검증용 계통 모델은 다음 그림 10과 같은 양단전원 4모선 계통이다.

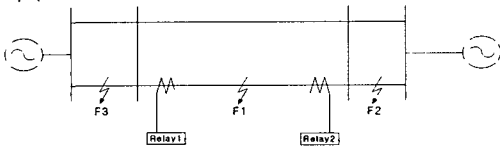


그림 10 가장 이상적인 시험모델 계통

그러나 실제 보호계전기 시험 시 그림 10과 같은 계통 모델은 RTDS의 3PC 카드의 Sharc Network Solution에서 허용하는 노드 수의 제한으로 1 rack상에서 구현할 수 없다[4]. 따라서 다음과 같이 두 가지의 경우로 나누어 이상적인 계통모델을 제시한다.

#### 2.2.6.1 양단전원 병행2회선 2모선 모델(PI-LINE)

동특성의 오차 범위 등 보다 정확성을 요구하는 시험에 대하여 RTDS의 송전선로 모델 중 PI-LINE을 사용하여 1 rack상에서 다음 그림 11과 같이 계통모델을 구현할 수 있다.

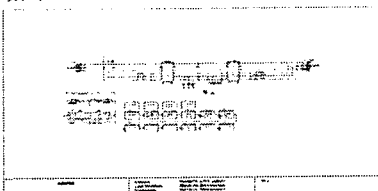


그림 11 양단전원 병행2회선 2모선 모델 계통

#### 2.2.6.2 양단전원 병행2회선 4모선 모델(T-LINE)

내외부 판단 사고와 같은 기능 시험에 대하여 RTDS의 송전선로 모델 중 T-LINE을 사용하여 다음 그림 12와 같이 계통모델을 구현할 수 있다.

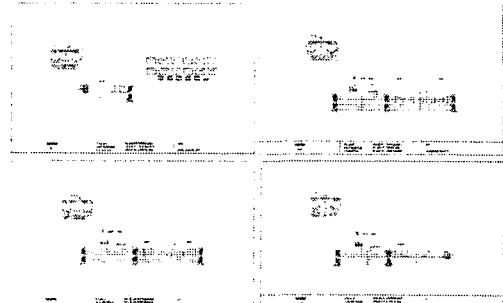


그림 12 양단전원 병행2회선 4모선 모델 계통

## 3. 결 론

송전선로 보호용 보호계전기 시험을 위하여 실제계를 반영한 계통모델이 필요하다. 그렇지만 국내에서는 보호계전기 시험을 위한 표준계통 모델이 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 보호계전기 성능 검증용 계통모델에 대하여 특성론적인 계통모델, 기능론적인 계통모델 개발 방식을 접목한 새로운 결합론적인 계통모델 개발방식을 통하여 실제 RTDS에서 구현 가능한 보호계전기 시험을 위한 성능검증용 계통모델을 제시하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 한전 전력연구원의 주관으로 수행된 과제임.

### [참 고 문 헌]

- [1] "EMTP Reference Models for Transmission Line Relay Testing", IEEE Committee paper.
- [2] L.Barretta, M.Chamia, H.Chorel, et al "EVALUATION OF CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE OF POWER SYSTEM PROTECTION RELAYS AND PROTECTIVE SYSTEM", Working Group 04 of Study Committee 34(Protection).
- [3] 한국전력거래소, "보호계전기 시험기준 수립에 관한 연구", 2002.8
- [4] RTDS Power System Users Manual.
- [5] 한국전력거래소, "2002년 전력계통 설비정수 종합표".
- [6] M.Kezunovic, Y.Q.Xia, Y.Guo, C.W.Fromen, D.R.Sevick, "Distance Relay Application Testing using Digital Simulator", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 12, no. 1, pp. 72-82, Jan.1997.
- [7] P.G. McLaren, R.Kuffel, R.Wierckx, W.J.Giesbrecht, L.H.Arendt, "A Real Time Digital Power System for Testing Relay", Transmission and Distribution Conference, pp. 370-375, 22-27 Sept 1991.
- [8] C.H.Jung, H.S.Jung, J.O.Kim, "Dynamic Characteristic Test of Protective Relay for Double Circuit using Real Time Digital Simulator(RTDS)", Powercon 2000 Power System Technology, vol. 3, pp. 1461-1464, 4-7, Dec.2000.