

Elman Network를 이용한 거리계전기법의 신뢰성 향상

정호성* 이종주* 신명철* 이복구** 박철원*** 장성익*
 *성균관대 **명지전문대 ***원주대학 §한국전력공사

An Improvement of Distance Relay Technique Reliability using Elman Network

H.S.Jung* J.J.Lee* M.C.Shin* B.K.Lee** C.W.Park*** S.I.Jang§
 *S. K. K. University **M. J. College ***W. J. College §KEPCO

Abstract - The distance relay technique used for transmission line protection operates overreach and underreach to the self protection region because the power system becomes complex and fault conditions are different. To solve these problems, this paper describes new technique to set the reliable self protection region. The trip region of the quadrilateral distance relay is set by training of multi layer recurrent elman network. The proposed network is able to reach the trip zone for the fault impedance, fault initial angle and source impedance variance correctly.

해 이전 시간의 출력을 다음 시간의 입력으로 사용하기 때문에 공간개념과 시간개념을 포함한 패턴을 인식하고 분석하는데 매우 우수하다. 따라서 적은 양의 데이터를 입력으로 사용할 수 있어 고속 처리와 소규모의 네트워크 구성이 가능하다. 또한 이전 시간의 은닉층의 출력을 다음 시간의 입력으로 사용하기 때문에 순환적인 불규칙한 입력에 대해서도 일시적인 오동작을 방지할 수 있다.

1. 서 론

거리계전기법은 고장시 발생한 전압과 전류신호로부터 임피던스를 계산하여 자기보호구간에 수렴하는지를 판단하는 기법이다. 자기보호구간의 영역설정에 따라 임피던스형, mho형, offset mho형, 리액턴스형 등이 있다. 최근에는 계전기의 디지털화로 인해 트립영역 설정을 자유롭게 할 수 있는 사변형이 널리 적용되고 있다. 그러나 전원임피던스, 전력조류, 부하크기 등의 계통운전조건 변화나 고장저항의 크기, 고장발생각 등의 고장현상의 다양성으로 인해 설정된 자기보호구간에 대해 underreach, overreach와 같은 계전기의 오동작이 발생되고 있다. 따라서 신뢰성 있는 보호를 위해서는 이러한 계통상황에 대한 분석을 통한 정확한 자기보호구간의 설정이 필수적이나 이를 모두 고려하여 영역을 설정하는 것은 그리 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 신경회로망의 기법 중에 하나인 elman network를 이용하여 사변형 거리계전기법의 각 변을 학습시켜 자기보호구간을 설정하는 새로운 기법을 제시하였다. 제안한 기법은 고장저항, 고장발생각, 전원 임피던스에 변화에 대해서 자기보호구간에 정확하게 수렴하는지를 평가하였다[1,2].

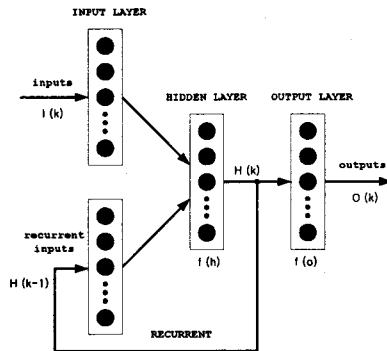


그림 1. elman network의 구조

2.2 고장 해석

사변형 거리계전기법은 그림 2와 같이 일반적으로 3단계 보호방식을 취하고 있다. 특히 Z1은 자기보호구간으로 보통 선로길이의 75%~85%를 보호한다. 즉, 사변형의 자기보호구간을 정확하게 설정하여 underreach, overreach 현상을 방지하는 것이 고장영역 판별에 중요한 요소가 된다. 이를 위해 영상전류 보상, 고장저항, 선로구성, 전원용량, 고장유형 등의 여러 가지 상황을 고려해야 한다. 그러나 이러한 모든 요소를 고려한 수학적 연산으로 영역을 설정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 elman network를 이용하여 사변형의 4개의 변을 학습시켜 최적의 트립영역을 설정하려 한다. 본 논문에서는 자기보호구간을 선로길이의 80%로 선정하고 고장저항을 100Ω까지는 학습시켜 자기보호구간내의 고장에 대해서는 계전기가 정동작할 수 있도록 하였다[4].

2. elman network을 이용한 거리계전기법

2.1 elman network

elman network은 그림 1과 같이 순환구조로 된 다층형 신경회로망으로 식 (1)에서 같이 이전 시간의 은닉층 출력값을 다음 시간의 입력값으로 이용하는 순환구조의 네트워크이다[3].

$$H(k) = f(I(k) + H(k-1)) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 I(k)는 입력층의 값이며, H(k), H(k-1)는 k와 k-1시간의 은닉층의 출력이며 f(h)는 은닉층의 활성화함수이다. elman network는 신경회로망 기법 중에 가장 널리 적용중인 오류 역전파 학습 알고리즘에 비

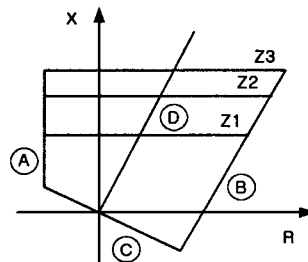


그림 2. 사변형 거리계전기법

먼저 사변형의 네 변을 A, B, C, D로 나누고 이를 학습시키기 위해 4개의 elman network를 병렬로 구성하였다. 변 A와 B는 고장저항이 0Ω과 100Ω인 경우에 고장거리가 0%에서 자기보호구간인 80%까지로 변화할 때의 R, X의 변화값을 이용하여 학습시켰다. 그리고 변 C와 D는 고장거리가 0%와 80%인 지점에서 발생한 경우에 고장저항이 0Ω에서 100Ω까지 증가할 때의 R, X의 변화값을 이용하였다. 학습을 위해 변 A와 B는 고장거리에 따라 측정된 Xm값을 입력으로 하고 이 때의 Rm값을 목표출력으로 하여 학습하였으며 변 C와 D는 고장저항의 변화에 따라 측정된 Rm값을 입력으로 하고 이 때의 Xm값을 목표출력으로 하여 학습하였다. 이렇게 학습을 통해 결정된 변 A, B, C, D를 연결하여 자기보호구간을 설정하였다[5].

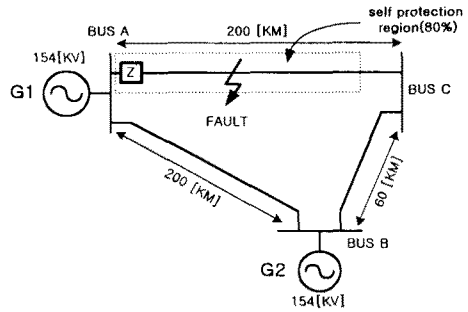


그림 4. 모델 계통도

시험 데이터를 추출하기 위해서 한 주기를 160샘플링 하여 고조파성분과 직류오프셋성분을 포함한 신호를 추출하였다. 그리고 모선 A의 거리계전기 Z의 자기보호구간은 모선 A와 C의 선로길이의 80%로 선정하였다.

3.2 학습 결과

네 개의 사변형의 변을 학습시키기 위해 은닉층이 하나인 3층 elman network 4개를 병렬로 구성하였다. 은닉층의 뉴런의 갯수는 각각 10개로 선정하였으며 입력층과 은닉층 사이는 시그모이드 함수를 은닉층과 출력층 사이에는 선형함수를 이용하였다. 학습데이터는 고장저항이 0Ω, 100Ω인 경우에 고장거리가 0%, 10%, 20%, ..., 80%일 때의 측정값 Rm과 Xm를 이용하였다. 학습 횟수는 100번 이었고 이 때의 각 네트워크의 총합 에러는 2.05942E-5, 0.00271, 2.28084E-4, 그리고 5.12774E-5이었다. 그림 5는 변 A를 위한 학습 데이터를 이용하여 back propagation과 elman network를 동일한 구조로 하여 학습하여 수렴시의 에러를 비교한 것으로 elman network의 수렴속도가 약간 우수하였다.

2.3 elman network를 이용한 알고리즘

신뢰성있는 자기보호구간을 설정하기 위해서는 정확한 임피던스를 계산하여 이를 elman network에 적용하여야 한다. 이를 위해 먼저 계통의 고장신호로부터 고조파 성분과 직류오프셋성분을 제거하고 DFT를 통해 전압과 전류신호의 기본파성분을 추출한다. 이 기본파성분에서 고장시의 임피던스 측정값인 Rm과 Xm를 계산한다. 여기서 측정값이 자기보호구간에 수렴하는지를 판단하기 위해서 측정값 Xm를 미리 학습된 네트워크 A, B에 입력으로 하여 추정값인 Rea, Reb를 출력한다. 동시에 측정값인 Rm을 네트워크 C, D에 입력으로 하여 Xec와 Xed값을 추정한다. 이렇게 추출한 측정값과 추정값이 식 (2)을 만족하는 경우에 자기보호구간내에서의 고장임을 판별할 수 있다.

$$(Rea < Rm < Reb) \text{ AND } (Xec < Xm < Xed) = \text{TRUE} \dots (2)$$

그림 3은 elman network를 이용한 거리계전기법의 전체적인 동작 순서도이다.

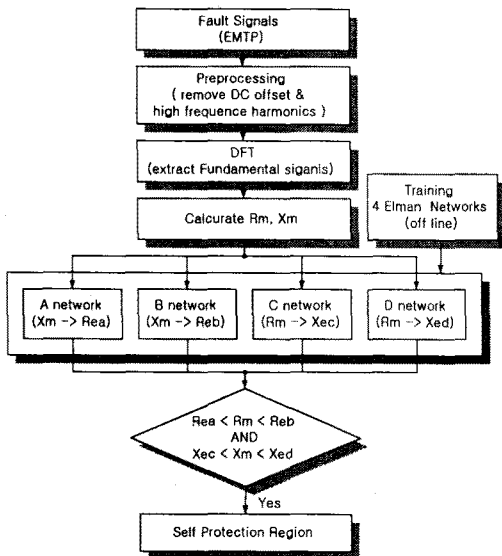


그림 3. elman network를 이용한 거리계전기법

3 사례연구

3.1 모델계통

그림 4는 본 논문에서 제시한 모델계통으로 154kV의 송전계통으로 모선 A, C사이의 200km에 대한 선로고장에 대해 거리계전기의 동작을 시험하였다.

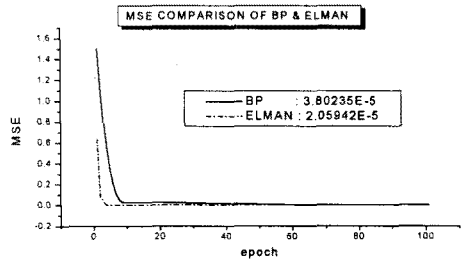


그림 5. bp와 elman network의 수렴속도 비교

그림 6은 elman network의 학습에 통해 설정된 사변형 거리계전기법의 자기보호구간이다.

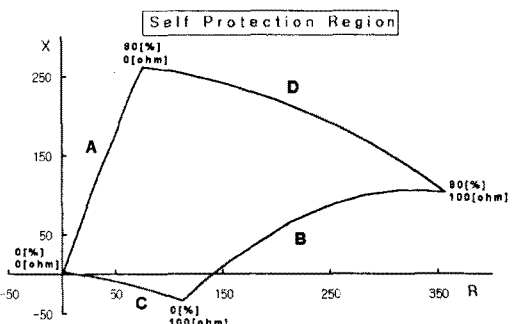


그림 6. 학습에 의한 자기보호구간

4. 결과

4.1 고장저항에 대한 결과

고장발생각이 0° 인 경우에 고장저항이 5Ω, 45Ω, 85Ω로 변화할 때 고장거리에 따라 자기보호구간에 수렴하는가를 평가하였다. 표 1은 고장저항의 변화에 따른 결과값으로 측정값과 4개의 사변형의 추정값 중에서 임피던스로 환산한 거리가 가장 짧은 값을 나타낸 것으로 양인 경우에는 자기보호구간에서 고장이 난 상태이며 음인 경우에는 자기보호구간 밖에서 고장이 난 상태를 나타낸다.

표 1. 고장저항에 대한 결과

저항[Ω]	5	45	85
거리[%]			
15	0.0651	0.5166	0.2001
35	0.0805	0.8333	0.3815
55	0.1051	0.8589	0.9095
70	0.1375	0.3381	0.3443
75	0.1124	0.1797	0.1727
80	0.0098	0.0346	0.0204
85	-0.1281	-0.0955	-0.1040
90	-0.2155	-0.1984	-0.1934

□ : 자기보호구간, ■ : 후비보호구간

표 1에서 보듯이 고장저항이 100Ω이내에서는 선로길이의 80%까지인 자기보호구간을 정확하게 수렴하였다.

4.2 고장발생각에 대한 결과

고장발생각의 변화에 따른 평가를 위해서 학습에 적용하지 않은 30°, 60°, 90°에서 고장이 발생한 경우에 고장거리에 따라 자기보호구간에 수렴여부를 평가하였다. 고장 발생시의 고장저항은 10Ω이었다.

표 2. 고장발생각에 대한 결과

발생각[°]	30	60	90
거리[%]			
15	0.1398	0.1457	0.1555
35	0.1777	0.1709	0.2282
55	0.2360	0.2526	0.2300
70	0.2761	0.2619	0.2634
75	0.1383	0.1143	0.1479
80	0.0354	0.0632	0.0741
85	-0.1300	-0.1733	-0.0912
90	-0.2069	-0.1834	-0.2204

□ : 자기보호구간, ■ : 후비보호구간

표 2에서 보듯이 고장발생각에 대해서도 전처리과정에서 고조파성분과 직류유셋성분을 제거하여 그 전압과 전류로부터 임피던스를 구하였기 때문에 자기보호구간에 대해서 정확하게 수렴하였다.

4.3 전원 임피던스 변화에 대한 결과

일반적으로 거리제전기법은 선로의 길이에 따른 임피던스의 계산값을 이용하여 고장의 거리를 판별하는 기법이기 때문에 전원 임피던스는 그리 크게 영향을 미치지 않는다. 하지만 구성된 계통이 복잡해짐에 따라 주변에 전원의 용량변화로 인해 보호하려는 선로에 흐르는 전압과 전류크기에 영향을 미치게 된다. 따라서 그림 4의 모델계통에서 전원 G1과 G2의 전원 임피던스의 비를 변화시켜가면서 수렴여부를 평가하였다. 여기서는 ZB/ZA의 비를 0.5, 2, 5배로 변화시켜가면서 성능을 평가하였다. 고장발생각은 0°에서 고장저항은 1Ω이었다.

표 3. 전원 임피던스 변화에 대한 결과

ZB/ZA	0.5	2	5
거리[%]			
15	0.0016	0.0015	0.0015
35	0.0034	0.0077	0.0063
55	0.0030	0.0078	0.0117
70	0.0684	0.0113	0.0148
75	-0.2548*	0.0158	0.0140
80	-0.4290*	0.0184	0.0152
85	-0.5827	-0.0130	0.0094*
90	-0.7330	-0.0590	0.0099*

□ : 자기보호구간, ■ : 후비보호구간

표 3에서 보듯이 전원임피던스 비가 0.5인 경우에는 외부의 전원 임피던스가 작아져 보호선로에는 고장전류의 크기가 작아져 70%지점 이상에서는 underreach현상이 발생하였다. 반대로 전원 임피던스의 비가 5배로 커진 경우에는 고장전류가 커져 overreach하는 오동작이 발생하였다. 하지만 전원 임피던스 비의 변화가 그리 크지 않은 경우에는 오동작의 확률이 매우 낮았다.

4.4 고찰

고장저항, 고장발생각, 그리고 전원 임피던스의 변화에 대해서 elman network를 이용하여 설정된 자기보호구간에 대해 80%이내의 고장에 대해서는 거의 정확하게 수렴하였다. 그러나 일부의 전원 임피던스 변화에 대해서는 70% ~ 90%사이에서 underreach, overreach하는 오동작을 하였다. 이는 학습시에 전원 임피던스를 고려하지 않고 학습이 되었기 때문이다. 그러나 고장저항과 고장발생각을 고려하여 전체 길이에 대해서 대략 95%이상 그리고 자기보호구간의 전후 10% 구간에서도 90%이상의 신뢰성을 확보하였다.

5. 결론

본 논문에서는 송전선로 보호에 널리 적용되는 사변형 거리제전기법의 underreach, overreach하는 오동작 문제를 해결하기 위해서 순환구조의 다층형 elman network를 이용하여 사변형의 각 변을 학습하여 자기보호구간을 결정하는 기법을 제시하였다. 그리고 고장저항과 고장발생각 그리고 전원 임피던스의 변화에 대해서 신뢰성있는 결과를 보여 주었다.

향후에는 고장유형에 따른 현상분석과 전력조류, 부하 변화 등의 계통 운용조건을 고려한 자기보호구간 설정이 요구되며 검출속도와 거리추정을 포함한 기법을 실시함으로써 처리할 수 있는 기법이 연구되어야 할 것이다.

(참고 문헌)

- [1] D.V. Coury, "Artificial Neural Network Approach to Distance Protection of Transmission Lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, pp102-108, 1998
- [2] Y.Q. Xia, "Adaptive Relay Setting for Stand - Alone Digital Distance Protection", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, pp480 - 491, 1994
- [3] Howard Demuth, "Neural Network Toolbox User's Guide", MathWorks, 1997
- [4] M. Sanaye Pasand, "High Speed Transmission System Directional Protection using Elman Network", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, pp1040-1045, 1998
- [5] K.K. Li, "An Off-line Adaptive ANN Technique for Digital Distance Relaying", ISAP '99, pp78 - 82, 1999