

지중송전케이블용 디지털 거리계전 알고리즘 개선

論 文

49A - 12 - 4

An Improvement of Digital Distance Relaying Algorithm on Underground Transmission Cables

河 體 雄* · 李 鍾 範**

(Che-Wung Ha · Jong-Beom Lee)

Abstract - This paper describes the improvement method of distance relaying algorithm for the underground transmission cables. Distance relaying algorithms have been mainly developing to protect the overhead transmission lines than the underground cables. If the cable systems are directly protected using distance relaying algorithm developed for overhead line without any improvement, there will be really occurred many misoperation in cable systems, because the cable systems consist of the conductor, the sheath, several grounding method, cable cover protection units(CCPUs), and grounding wire. Accordingly, the complicated phenomena are occurred, if there is a fault in cable systems. Therefore, to develop a correct distance relaying algorithm, such cable characteristics should be taken into account. This paper presents the process to improve distance relaying algorithm which is now used. Real cable system was selected to establish modeling in EMTP and ATP Draw. It was discovered through the detailed simulation during the fault that the large error existed between impedance measured at the relay point and real impedance is due to the resistance of grounding wire in each grounding method. And also compensation factor obtained by the simulation is proposed in this paper. It is proved that the factor proposed can fairly improve the accuracy of impedance at the relay point. It is evaluated that the protective ability will be really much improved, if the algorithm proposed in this paper is applied for cable systems of utility.

Key Words : Distance relaying algorithm, Underground cable system modeling, Compensation factor, CCPU

1. 서 론

전력은 주로 가공송전선로를 이용하여 송전하는 것이 거의 일반적인 전력계통 현황이었다. 그러나 도심지의 급속한 팽창과 기타 가공송전 건설이 어려운 지역의 출현 등으로 기존의 선로는 물론 새로운 선로도 전력케이블로 대체하거나 또는 신설하는 경우가 늘어나고 있다. 아울러 변전소 상호간의 송전선로도 가공 및 지중으로 혼합되어 있는 혼합선로도 늘어나고 있는 추세이다. 현재의 송전선로 보호계전기는 후보호로 디지털형 전류차동계전기를 사용하게 되었으며 후비보호로는 디지털 거리계전기를 사용하고 있다. 그리고 이러한 추세는 앞으로도 계속되리라 전망된다[1]. 따라서 만일 후보호인 전류차동계전기가 부동작 한다면 거리계전기가 반드시 정확하게 동작하여야만 한다.

현재 거리계전기는 계전기 설치점에서 고장점까지의 선로 임피던스를 정확하게 측정하여 이로부터 Zone을 판별하고

트립을 결정하게 된다. 따라서 정확한 동작은 얼마나 고장점까지의 선로 임피던스를 정확하게 계산하느냐에 달려있다.

가공선로만의 송전계통에서는 거의 정확하게 이러한 선로 임피던스들이 계산되어 부동작이나 오동작의 염려가 매우 적다. 그러나 케이블만으로 이루어진 송전선로나 혼합선로에서는 많은 오차를 유발할 수밖에 없어 자연히 임피던스 측정치는 부정확하게 되어 계전기 동작에 큰 문제를 야기시키고 있다.

그 이유를 보면 전력케이블에서의 고장현상은 일반 가공선로와는 달라서 자체적으로 갖고 있는 시스 및 일종의 파괴기인 방식층보호장치(Cable Cover Protection Unit ; CCPU)들이 다양한 접지방식을 통해 연결되어 접지되어 있고, 고장전류 또한 각 시스의 접지점으로 흐르게 됨에 따라 복잡하게 나타난다. 그리고 도체와 시스간의 절연이 파괴되어 일어나는 지락고장이 대부분인 지중케이블의 고장전류는 케이블 선로의 고장점 전·후로 흐르게 된다. 따라서 이에 대한 정확한 계산 및 특성치의 고려가 있어야만 정확한 선로 임피던스가 계산되어질 수 있다. 실제로 지중송전선로나 혼합선로 등에서 고장시 계전기에 의해 계산되어진 겉보기 임피던스와 실제 임피던스와는 많은 오차를 보이고 있어 별도의 기술적 보상을 해주지 않는 한 거리계전기의 오부동작은 피할 수 없게 된다[2].

* 準 會 員 : 圓 光 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 電 子 및 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 2000年 7月 10日

最 終 完 了 : 2000年 12月 6日

본 연구에서는 이를 위하여 우선 전력케이블의 구조를 분석하고 고장시 시스 및 CCPU의 동작특성을 면밀히 해석하여 고장현상을 분석하였다. 그리고 전력케이블의 도체와 시스간의 절연이 파괴되어 고장이 발생되었을 때 고장점에 따라 어떻게 고장현상이 달라지며 어떤 방법으로 계산 및 보상을 해야만 정확한 고장점까지의 선로 임피던스를 찾아낼 것인가에 대한 알고리즘을 개발하여 제시하였다. 본 연구를 위해서는 실제 선로를 대상으로 모델링 하였으며 EMTP 및 ATP Draw를 이용하여 결과를 확인 및 입증하였다.

본 연구를 통해 수립된 거리계전 알고리즘은 지금까지 전력케이블 및 혼합선로에서 발생하는 특수 현상을 고려하지 않고 사용되는 기존의 거리계전기에 효과적인 개선책을 주게 되어 전력계통 안정화에 크게 기여할 것으로 사료된다.

2. 케이블 임피던스 계산

본 논문에서 거리계전기의 영상 보상을 위한 케이블의 대칭분 임피던스는 우선 케이블을 등가회로형태로 변환시키고 이로부터 케이블의 전기정수를 사용하여 구하였다. 그림 1은 케이블에서 도체와 시스간의 절연파괴에 의해 1선 지락 고장이 발생하였을 때 대칭분 임피던스를 구하기 위한 등가회로를 보이고 있다.

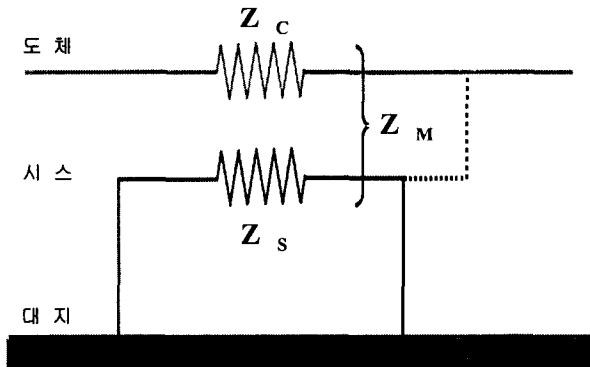


그림 1. 3상 케이블의 등가회로

Fig. 1. Equivalent circuit of a three-phase cable

지중송선케이블에서 1선 지락고장이 발생하였을 경우는 식 (1)-(3)과 같이 임피던스를 크게 3가지의 형태로 구분할 수가 있다. 우리 나라의 케이블은 도체 주변에 시스가 있고 또한 1선 지락고장은 도체의 절연이 파괴되어서 일어나는 경우가 대부분이다. 즉 고장전류가 시스와 대지로 흐르게 된다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 경우에 적용이 가능한 식 (3)을 이용하여 케이블의 영상 임피던스를 구하였다 [2]-[3].

- 1선 지락고장시 고장전류가 시스로 흐르지 않고 바로 대지로 흐르는 경우 케이블의 영상 임피던스

$$Z_0 = Z_{c0} \quad (1)$$

- 1선 지락고장시 고장전류가 시스로만 흐르는 경우 케이블의 영상 임피던스

$$Z_0 = Z_{c0} + Z_{s0} - 2Z_{M0} \quad (2)$$

- 1선 지락고장시 고장전류가 시스와 대지로 흐르는 경우 케이블의 영상 임피던스

$$Z_0 = Z_{c0} - \frac{Z_{M0}^2}{Z_{s0}} \quad (3)$$

- 케이블의 정상 및 역상 임피던스 : $Z_1 = Z_2$

$$Z_1 = R_c + j[4\pi f \cdot \ln(\frac{GMD_{3C}}{GMR_{1C}}) \cdot 10^{-4}] \quad (4)$$

- 케이블 도체만의 영상 임피던스 : Z_{c0}

$$Z_{c0} = R_c + R_e + j[3 \cdot 4\pi f \cdot \ln(\frac{D_E}{GMR_{3C}}) \cdot 10^{-4}] \quad (5)$$

- 케이블의 시스만의 영상 임피던스 : Z_{s0}

$$Z_{s0} = R_s + R_e + j[3 \cdot 4\pi f \cdot \ln(\frac{D_E}{GMR_{3S}}) \cdot 10^{-4}] \quad (6)$$

- 케이블 도체와 시스간의 상호 임피던스 : Z_{M0}

$$Z_{M0} = R_e + j[3 \cdot 4\pi f \cdot \ln(\frac{D_E}{GMR_{3S}}) \cdot 10^{-4}] \quad (7)$$

- 케이블의 영상 임피던스 : Z_0

$$Z_0 = Z_{c0} - \frac{Z_{M0}^2}{Z_{s0}} \quad (8)$$

여기서, f : 주파수[Hz]

R_c : 교류 도체 저항[Ω/km]

R_s : 시스 저항[Ω/km]

R_e : 등가 대지 저항[Ω/km]

D_E : 대지위로 등가 깊이[mm]

GMD_{3C} : 도체간 기하학적 평균거리[mm]

GMR_{3S} : 시스의 평균반경[mm]

GMR_{1C} : 도체간 기하학적 평균반경[mm]

GMR_{3C} : 3상 케이블도체 전체를 하나의 단도체로 간주한 경우 그 단도체의 GMR [mm]

이렇게 케이블의 영상 임피던스는 케이블의 도체만의 영상 임피던스, 시스만의 영상 임피던스, 그리고 케이블의 도체와 시스간의 상호 임피던스로 구분하여 각각 다르게 나타난다.

3. 실제 모델계통 및 시뮬레이션

3.1 계통 모델링

모델링에 사용된 계통은 현재 우리 나라의 실제계통에서 사용중인 2000mm² CV 케이블에서 154kV 전압이 인가되는 선로로서, 길이는 6.12km이며 전체선로를 18구간으로 나누어서 모두 전력구 매설형태로 되어 있는 모델이다. CV케이블의 선로정수를 구하기 위하여 EMTP의 보조프로그램인 CABLE CONSTANTS 보조루틴을 사용하였고, 시뮬레이션에서 케이블의 도체와 시스 간의 1선 지락고장이 0.02s에 발생하여 고장이 지속되도록 모의하였다. 또한 고장점은 계전

점에서 1.2km, 3km, 5km에 1선 지락고장이 발생하는 것을 가정하였다. 따라서 각 고장점에서의 CCPU와 시스의 크로스본드 방식 및 직접접지 저항 값의 변화에 따른 각 접지점에서의 전류를 구하였고, 임피던스 계산을 위해 계전점에서의 전압과 전류를 구하였다.

모델 구성에 필요한 전원단 임피던스는 표 1에 제시하였다. 또한 선로 임피던스는 1선 지락고장시 고장전류가 시스와 대지로 흐르는 경우의 케이블 영상 임피던스 및 정상 임피던스를 제 2장 식 (3)~(8)에 대입하여 구하였으며, 그 결과를 아래 표 2에 제시하였다. 한편 그림 2는 EMTP 및 ATP Draw를 사용하여 모델링한 케이블계통을 나타낸 것이다.

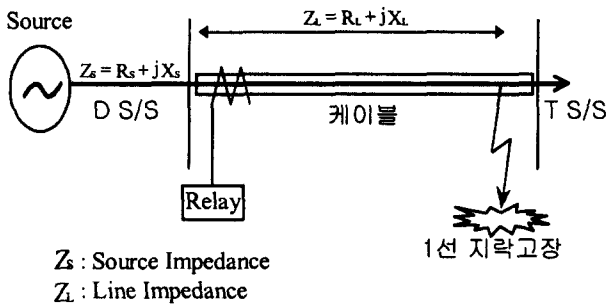


그림 2. 케이블 계통도
Fig. 2. Cable system diagram

표 1. Source 임피던스

Table 1. Source impedances

Source 임피던스	R[Ω]	X[Ω]
정상	5.0854	36.6489
영상	10.9642	83.2814

표 2. 지중송전케이블 임피던스

Table 2. Symmetrical components of cable impedances

항목	R[Ω/km]	X[Ω/km]
정상 및 영상 임피던스	0.01191	0.14633
도체 간의 영상 임피던스	0.18966	2.11370
시스 간의 영상 임피던스	0.20633	2.03132
도체와 시스간의 상호 임피던스	0.17775	2.03132
영상 임피던스	0.04045	0.08277

3.2 방식층 보호장치 및 시스 접지방식

최근에 케이블에 설치된 CCPU는 ZnO 성분으로 제조되어 있는 것으로서 이는 방식층에 과도한 서지 전압을 억제함에 그 목적이 있다. CCPU는 결선방식에 따라 대지간 방식, 교락비접지방식, 교락접지방식과 그 이외에 CIGRE 방식과 동판방식 등이 사용되고 있다. 그러나 지중송전계통에서는 실제로 대지간 방식과 교락비접지방식 및 교락접지방식

의 세 가지 방식이 주로 사용되고 있다. 그림 3은 본 논문에서 사용된 CCPU의 V-I 특성곡선을 나타낸 것이다.

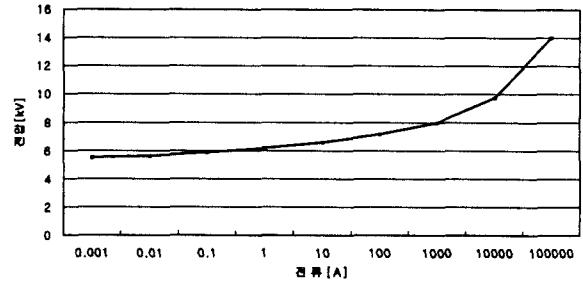


그림 3. CCPU의 V-I 특성곡선
Fig. 3. V-I characteristic curve of the CCPU

EMTP 및 ATP Draw에 의한 지중송전케이블의 모델링에 있어서, 케이블의 인입구, 인출구 세 구간은 대지간 방식을 사용하여 접지된 상태로 하였으며, 케이블의 각 접속함은 교락비접지방식으로 설치된 상태로 하였다. 그림 4는 대지간 방식을 나타낸 것이고, 그림 5는 교락비접지방식을 도식적으로 설명한 것이다.

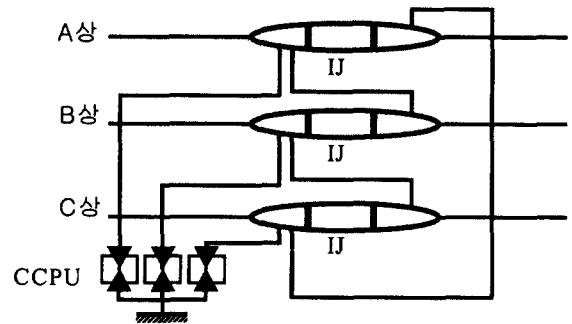


그림 4. 대지간 방식
Fig. 4. Direct grounding type connected to CCPUs

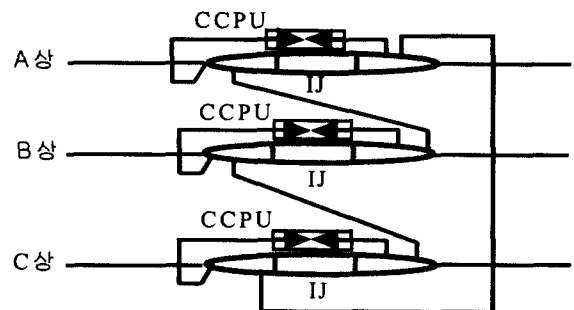


그림 5. 교락비접지방식
Fig. 5. Non-grounding type with crossing connected with CCPUs

케이블의 크로스본드와 직접접지한 구간의 모델링에 있어서, 케이블 선로를 세 구간씩 나누어, 두 개의 구간은 크로스본드를 하였고 나머지 한 구간은 직접접지를 하는데 이것을

나타내면 그림 6과 같다. 그리고, 전체선로에서 각 구간별 거리와 각 접속점에서의 접지방식을 나타내면 표 3와 같다.

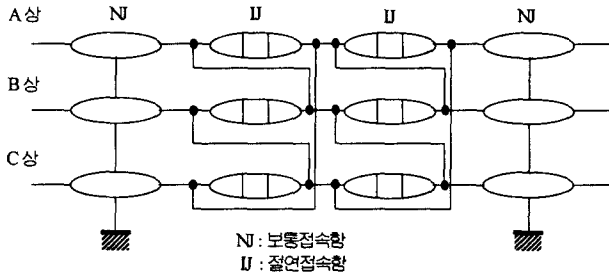


그림 6. 크로스본드 접지방식
Fig. 6. Cross bonding method

표 3. 지중송전케이블의 접지 방식

Table 3. Grounding method of the underground power cable

구 간	D S/S	1	2	3	4	5
선로길이[m]	350	350	350	350	340	380
접지상태	○	△	△	○	△	△
구 간	6	7	8	9	10	11
선로길이[m]	300	310	350	300	350	340
접지상태	○	△	△	○	△	△
구 간	12	13	14	15	16	T S/S
선로길이[m]	340	290	360	350	350	360
접지상태	○	△	△	○	△	△

[직접접지:○ 크로스본드:△]

3.3 시뮬레이션 (I)

우선 모델링의 정확성을 확인하기 위하여 1선 지락고장시 2장에서 나타난 대칭분 임피던스 계산방법을 이용하였을 경우와 EMTP 및 ATP Draw를 이용하여 지중케이블 선로를 분포정수로 모델링 한 시뮬레이션의 전압, 전류값을 상호 비교하였다. 이때 분포정수의 모델은 케이블 시스에 CCPU가 생략되어 있는 상태에서 완전 크로스본드가 되어 있고, 접지 저항 또한 0Ω으로 가정하였다.

그림 7과 그림 8은 계전점에서의 전압과 전류 파형을 비교한 것이다. 모두 동일하게 나타난 것을 알 수 있다. 따라서 확인된 모델링의 정확성이 확인되었으므로 주변의 접지 설비들과, 접지저항을 고려하여 해석할 경우에도 정확성을 가진다는 근거를 제공하고 있다고 평가할 수 있다. 그림 7의 전압파형은 고장초기시 과도특성이 진하게 보이나 이는 고조파 필터링을 위한 Full DFT 방식의 사용에 따라 기본 파형의 추출이 가능하다. 이 때의 Sampling 주파수는 3,840[Hz]로 하였다. 또한 그림 8의 전류파형에 포함되는 DC offset의 제거를 위해 FIR필터를 적용함에 따라 임피던스 계산에 있어서의 오차를 줄일 수 있다[6].

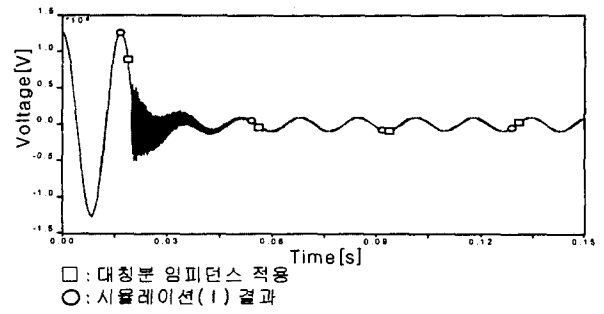


그림 7. 전압 비교
Fig. 7. Comparison of voltage

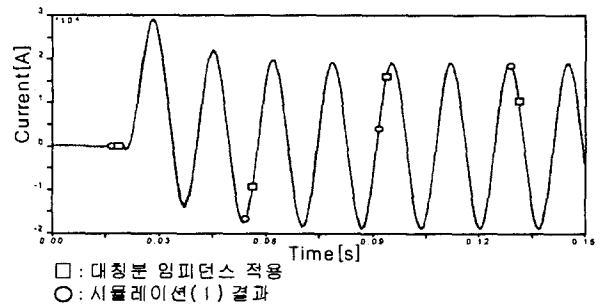


그림 8. 전류 비교
Fig. 8. Comparison of current

3.4 시뮬레이션 (II)

실제의 계통에서는 3.3절에서 설명한 등가회로만으로 지중선로에 있어서의 거리계전 알고리즘을 적용하는 데에는 한계가 있다. 왜냐하면 케이블에서 도체와 시스 간의 절연이 파괴되는 지락고장시 고장전류는 시스의 양단 즉 고장점 좌우의 시스로 흐르게 되고 또한 크로스본드가 되어 있는 다른 상에도 흐르게 된다. 그리고 CCPU의 동작여부에 따라 고장 전류는 CCPU와 각각의 직접접지 지점으로 흐르게 된다.

먼저 그림 9는 케이블에서 도체와 시스간의 절연파괴에 의한 1선 지락고장이 발생하였을 때, 인입구로부터 첫 번째의 대지간 방식에서 CCPU에 흐르는 전류를 나타내었고 그림 10 과 11은 교락비접지방식에서 CCPU에 흐르는 전류와 직접접지 지점에 흐르는 전류를 나타낸 것이다.

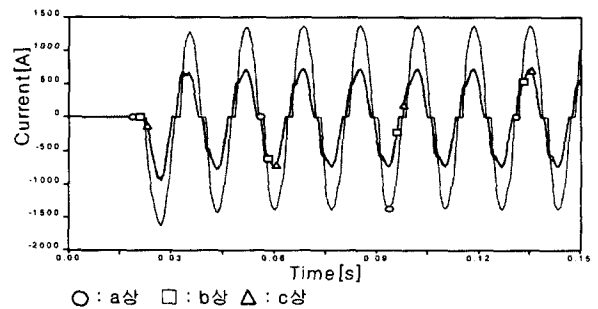


그림 9. 대지간 접지방식의 CCPU에 흐르는 전류
Fig. 9. Current flowed to CCPU in the case of the direct grounding type

그림 9에서 볼 때 1선 지락고장이 발생하면 a,b,c상의 모든 시스는 크로스 본드가 되어 있기 때문에 상호 영향을 받게되고, 따라서 각 상의 시스에 연결되어 있는 CCPU도 동작을 하게 되어 그림에서와 같이 크기는 상이하나 모든 상의 전류가 나타남을 알 수가 있다. 또한 그림 10과 같이 교락비접지 방식의 CCPU도 동작을 하게 되어 전류가 나타난다. 이러한 동작에 의하여 고장전류가 각 접지 지점으로 흐르게 됨에 따라 지중송전케이블의 거리계전기 설치점에서의 결보기 임피던스는 가공선로에서의 1선지락사고시 거리계전기 설치점의 결보기 임피던스와는 근본적으로 다른 복잡한 형태의 변화를 가져게 된다.

따라서 지중송전케이블이 포함된 선로에서의 임피던스 계산은 이런 모든 것을 고려하는 방식으로 이루어져야 한다는 것을 알 수 있다.

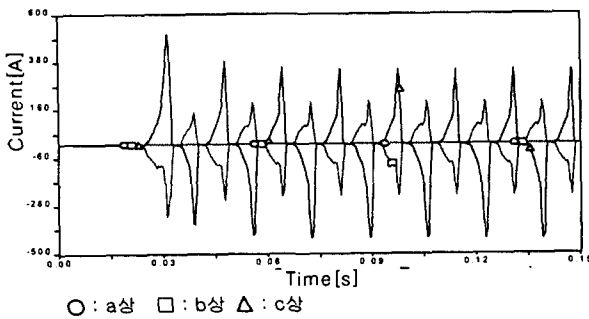


그림 10. 교락비접지방식의 CCPU에 흐르는 전류
Fig. 10. Current flowed to CCPU in the case of non-grounding type with crossing

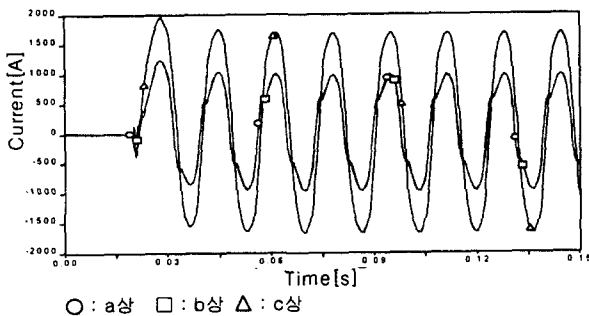


그림 11. 직접접지 지점에 흐르는 전류
Fig. 11. Current flowed to a direct grounding wire

한편, 그림 12와 그림 13은 1선 지락고장시 계전점에서 볼 때 지중송전케이블에서 등가회로에 의한 전압, 전류 계산값과 시스나 CCPU 그리고 각 시스의 접지방식과 접지저항이 고려된 실제 모델링에서의 전압, 전류를 보이고 있다. 두 그림으로부터 전압 및 전류가 모두 실제 계산값에 비해 현저하게 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 이 차이는 그대로 임피던스 계산시 오차로 유발되므로 이 차이를 어떠한 방법으로든지 보상해 주어야만 한다는 것을 알 수가 있다.

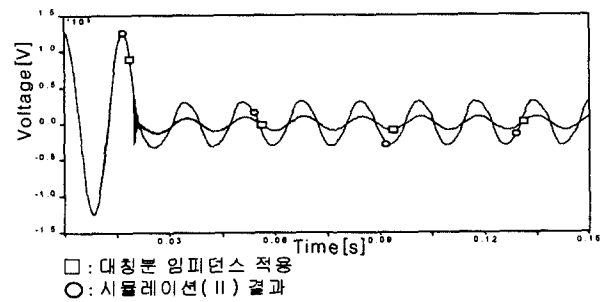


그림 12. 계전점에서 계산경우와 실제통 모델링에서의 전압 비교

Fig. 12. Comparison of voltage results between calculation case and modeling of actual power system

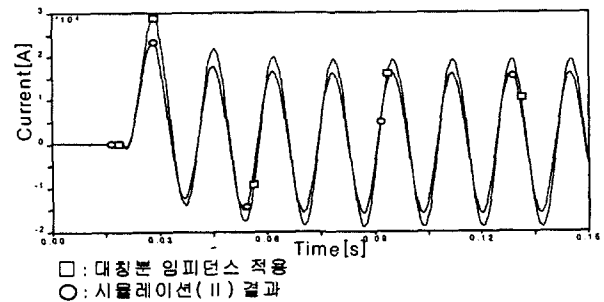


그림 13. 계전점에서 계산경우와 실제통 모델링에서의 전류 비교

Fig. 13. Comparison of current results between calculation case and modeling of actual power system

3.5 지중송전케이블의 거리계전 알고리즘

2장에서 구한 대칭본 임피던스와 오차 원인을 고려하여 시뮬레이션 및 결과를 분석해 본 결과 지중송전케이블에 적합한 거리계전기 임피던스 계산 알고리즘을 식 (9)와 같이 나타내었다. 즉 케이블의 영상 임피던스 Z_0 및 정상 임피던스 Z_1 을 이용하여 아래와 같은 공식을 도출해 낼 수 있다. 또한 식 (9)에서 제시한 α 는 실제 상황을 고려했을 때의 오차 보상 값을 말하는 것으로 3.6절에서 자세하게 설명하였다.

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A + I_0 \frac{(Z_0 - \frac{Z_M^2}{Z_S}) - Z_1}{Z_1}} + \alpha \tag{9}$$

- 여기서, Z_A : 지중케이블에서의 거리계전 임피던스[Ω]
- α : 실제 상황을 고려했을 때의 오차보상값[Ω]
- V_A : 계전기 설치점에서의 전압[kV]
- I_A : 계전기 설치점에서의 전류[kA]

- I_0 : 계전기 설치점에서의 영상전류[kA]
- Z_1 : 케이블의 정상 임피던스[Ω/km]
- Z_{C0} : 케이블 도체만의 영상 임피던스[Ω/km]
- Z_{S0} : 케이블 시스템의 영상 임피던스[Ω/km]
- Z_M : 케이블도체와 시스템의 상호 임피던스[Ω/km]

3.6 오차보상값

3.4절에서 제시한 바와 같이 혼합송전선로중 지중송전케이블에서의 1선 지락고장시 계전기가 보는 임피던스와 실제 임피던스와의 여러 가지 원인, 즉 케이블에서의 도체와 시스템 간의 절연이 파괴되는 지락고장시 고장전류는 시스템의 양단으로 흐르게 되고 또한 크로스본드가 되어있는 다른 상에도 흐르게 되며, CCPU의 동작으로 고장전류는 CCPU와 각 직접접지점으로 흐르게됨에 따라 다르게 나타난다. 특히 케이블 시스템의 접지저항에 따라 이러한 오차는 더욱 다르게 나타나 지중송전케이블에서 임피던스 측정 오차를 보상할 수 있는 정식화된 수식을 유도한다는 것은 현실적으로 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 이를 위하여 시뮬레이션에 의해 각각의 케이블시스템 조건에 맞을 수 있는 오차 보상값을 제시하였다. 즉 지중송전케이블은 어떤 접지저항 값을 고정해 놓고 임피던스를 측정된 결과 오차도 고장점 위치에 상관없이 어느 일정한 값 부근에 접근하는 것을 알 수 있었다. 따라서 고장점을 다양하게 변경 시켜가며 오차를 파악하였고 이들 오차를 종합적으로 분석하여 케이블 조건에 맞는 오차 보상값 α 를 표 4에서 보이는 바와 같이 각각의 접지 저항별로 추출하였다. 그림 14는 오차보상값 α 의 추출 과정을 도식적으로 나타낸 것이다.

아울러 표 4는 오차보상값 α 를 사용하기 전·후의 임피던스 오차를 비교한 것이다. 표 4는 식 (8)~(9)를 이용하여 계전기 설치점으로부터 1.2km, 3km 및 5km 떨어진 지점에서 1선 지락고장시 실제 임피던스와 계전기가 보는 측정 임피던스 그리고 α 를 보상한, 개선된 임피던스 값과 그 오차를 보이고 있다. 이때 시스템의 접지저항은 실제통의 저항이 10Ω이하로 건설된 점을 감안하여 5Ω과 10Ω으로 나누어 검토하였다. 표 4에서 사용된 실제값은 각 거리에 따른 케이블의 정상 임피던스 값을 말하며, 측정값은 계전기 설치점에서의 전압과 전류파형을 FIR 필터를 사용하여 DC offset을

표 4. 계전점에서의 임피던스

Table 4. Impedance at the relay point

고장거리 [km]	접지저항 [Ω]	계전점에서의 임피던스											
		실제값[Ω]		측정값[Ω]		실제값-측정값[Ω]		보상값 α [Ω]		개선값[Ω]		오차[%]	
		R	X	R	X	R	X	R	X	R	X	R	X
1.2	5	0.0143	0.1756	1.1055	0.9121	1.0912	0.7365	1.0916	0.7262	0.0139	0.1859	2.80	5.86
	10			1.3765	1.0786	1.3622	0.9030	1.3618	0.8994	0.0147	0.1792	2.79	2.05
3	5	0.0357	0.4390	1.1283	1.1696	1.0926	0.7306	1.0916	0.7262	0.0367	0.4434	2.80	1.00
	10			1.3982	1.3376	1.3625	0.8986	1.3618	0.8994	0.0364	0.4382	1.96	0.18
5	5	0.0596	0.7317	1.1460	1.4431	1.0864	0.7114	1.0916	0.7262	0.0544	0.7169	8.72	2.02
	10			1.4176	1.5977	1.3580	0.8660	1.3618	0.8994	0.0558	0.6983	6.38	4.56

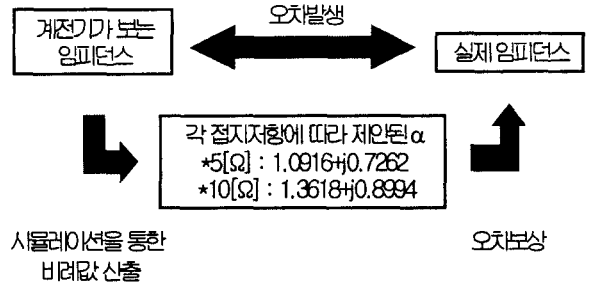


그림 14. 오차보상값 α 설정 과정

Fig. 14. Extraction process of error compensation fact α

제거하고 DFT 필터를 사용하여 기본파를 추출한 후 식 (9)에서 제시된 알고리즘에서 α 를 제외하였을 때의 임피던스를 나타낸 것이다. 한편 개선값은 보상값 α 를 적용하였을 경우, 즉 식 (8)~(9)로부터 구한 임피던스를 의미한다. 그리고 실제값과 개선값과의 오차를 각각 R과 X에 대해 백분율로 비교하였다. 오차에서 보듯이 오차보상값 α 를 사용하면 측정값과 실제값과의 오차를 현저히 줄일 수 있음을 알 수 있다.

한편, 본 논문에서 모델링한 것과 다른 형태의 접지방식을 가진 혼합송전선로에 대해서도 동일한 과정으로 정밀 시뮬레이션하여 α 를 구할 수 있으므로 선로상황에 맞게 본 논문에서 제시한 방법으로 접근하면 실제통에서의 거리계전기 운용에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문은 현재 우리 나라에서 운용되고 있는 지중송전케이블에서 거리계전 알고리즘을 개선하는 기법을 제안하였다. 이를 위하여 계산 및 정밀 시뮬레이션을 실제통을 대상으로 EMTP와 ATP Draw를 이용하여 수행하였으며 연구를 통해 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 지중전력케이블의 선로특성 및 접지상황 모두를 고려하여 임피던스 계산을 수행하였다.
- (2) 계전점에서의 임피던스 측정값과 실제값과는 상당한 오차가 발생됨을 확인하였다.

- (3) 수많은 시뮬레이션을 통하여 오차의 원인이 각 접지 방식의 접지저항 값에 의해 좌우됨을 확인하였고 이에 근거하여 오차 보상 값을 도출하였다.
- (4) 오차보상 값을 적용하였을 때 측정값보다 월등히 개선된 임피던스 값을 얻을 수 있었으며, 이를 이용한 정확한 보호로 계통 안정도에 크게 기여할 것으로 평가된다.

그러나 본 논문에서는 주로 발생하는 고장인 1선 지락고장만을 고려하였으므로 기타 고장도 고려할 필요가 있어 계속 연구중에 있고 정확한 거리계전 알고리즘의 정식화를 세우기 위해 연구중에 있다. 한편 우리나라 전력계통에서 가공선로와 지중선로가 연계된 복합선로가 점유하는 비율을 감안 할 때 이러한 선로에서의 거리계전 알고리즘 개발도 조속히 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 이석규, "지중 송전설비의 효율적 운영", 1999년도 대한 전기학회 하계학술대회 논문지, pp.1385~1387, 1999
- [2] KEPRI. "지중선 임피던스 및 허용전류 계산기법 연구", 1991
- [3] Turan Gonen, "Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design", 1988
- [4] B. Gustavsen, J. Sletbak, "Transient Sheath Overvoltage in Armoured Power Cable", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp 1594-1600, July 1996
- [5] 이종범 외 "송전계통 고저항 사고에 대한 보호계전기 시험 및 특성분석에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 47, No. 4, 1998
- [6] 강상희, 권태원, "최소자승법을 이용한 고속 거리계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지, Vol. 48A, No. 7, 1999
- [7] E. O. Schweitzer, "A Review of Impedance-Based Fault Locating Experience", System Protection Seminar, 1990
- [8] J. Lewis Blackburn, "Protective Relaying: Principle and application", 2nd edition. Marcel Dekker INC, 1998
- [9] CIGRE, "Application Guide on Protection of Complex Transmissions Network Configurations", 1992

저 자 소 개



하 체 웅 (河 體 雄)
 1973년 4월 8일생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1999년~현재 동 대학원 석사과정. 현재, LG전선(주) 전력연구소 연구원
 Tel : 063-850-6735
 E-mail : chewung@hanmail.net



이 종 범 (李 鍾 範)
 1955년 7월 12일생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987~1990년 한국전기연구소 지중송전연구실 실장. 1997~1998년 미국 Texas A&M University 객원교수. 현재, 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수
 Tel : 063-850-6735
 E-mail : ipower@wonms.wonkwang.ac.kr