

급전방식에 따른 레일전류 분포 예측

이장무, 한문섭, 정호성, 김주락, 김형철

한국철도기술연구원

The Estimation of Rail Current Distribution According to Feeding Scheme

CM Lee, MS Han, HS Jung, JR Kim, HJ Kim

Korea Railroad Research Institute

Abstract - AC electric railway feeding system classifies into three groups such as normal, Tie and PP feeding method.

If the feeding scheme of ac electric railway is changed, current distribution flowing through the line is also modified. And if the current distribution is altered according to the feeding scheme, returned tendency through rail load current or fault current of the train is changed. So the investigation about error correcting method of protective relay is needed considering feeding scheme.

In this paper prior to error correcting of protective relay, through interpreting feeding circuit, changes in current distribution of the rail in accordance with feeding would be predicted and analyzed.

1. 서 론

교류전기철도 2x25kV AT급전방식은 3상154kV의 전력을 수전받아 2x25kV 2상(M상/T상)의 전력으로 변환하여 전차선로를 통하여 전기차량에 전력을 공급하는 시스템으로 각 상별로 최대 30km의 구간에 전력을 공급할 수 있다. 이러한 AT급전방식의 급전체통을 구성하는 전차선로는 전차선, 레일 및 급전선으로 이루어져 있으며 매 10km 구간마다 단권변압기가 위치한다.

이러한 교류전기철도 급전방식은 정상급전, Tie급전 및 PP급전방식 등으로 나눌 수 있다. 국내 전철화구간의 급전방식을 살펴보면 영동선과 중앙선 등의 단선구간 선로는 정상급전방식을, 경부선, 호남선 및 충북선과 같은 기존선 전철화구간의 복선선로는 Tie급전방식을 적용하고 있으며 서울-동대구 구간을 운행하는 경부고속철도 선로는 PP급전방식을 채택하고 있다.

교류전기철도의 급전방식이 변경되면 급전선로의 회로정수가 변경되면 선로에 흐르는 전류의 분포 또한 달라질 것이다. 또한 급전방식에 따라 전류의 분포가 변경되면 열차의 부하전류 또는 사고전류가 레일을 통하여 귀환되는 경향이 달라짐으로, 각 구간별로 적용된 급전방식을 고려하여 보호계전기 정정방법에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다.

본 논문에서는 보호계전기 정정에 앞서 급전회로 해석을 통하여 급전방식에 따라 레일전류의 분포 변화를 예측·분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 회로해석

전기철도 AT급전회로의 정확한 해석을 위하여 이전에 개발한 6단자 해석모델을 이용하여 급전회로해석을 수행하였으며, 전차선-레일간의 단락회로 구성을 위한 단락회로 모델과 시뮬레이션에 사용된 급전선로의 회로정수

를 나타내었다.

2.1.1 6단자 해석모델

철도기술연구원에서 급전선로의 자기임피던스, 상호임피던스와 어드미터스를 고려하여 전철급전시스템의 정밀한 해석을 위해 6단자 정수를 정의하여 다음 그림과 같이 AT급전회로의 모든 회로요소(전원임피던스, 단권변압기(변전소측, 선로 중간측 및 선로 말단측), 급전선로, 차량)를 6단자 전달행렬식으로 모델링하여 급전선로의 부하특성을 해석하는 기법을 개발하였다.

금번 시뮬레이션에서도 6단자 해석모델을 활용하여 급전방식에 따라 레일전류의 변화를 예측하였다.

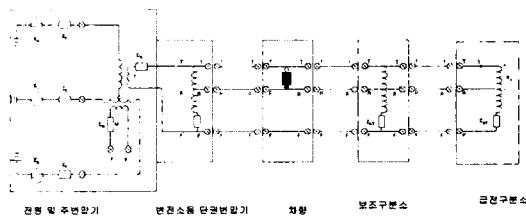


그림 1. 교류 급전시스템의 구성

2.1.2 단락회로

단락사고시 레일전류 분포를 해석하기 위하여 시뮬레이션에 적용한 모델은 다음 그림 2와 같으며 이를 6단자망 행렬식으로 변환한 모델식은 아래와 같다.

$$\begin{matrix} T & & \\ & \parallel & \\ & R & \\ & \parallel & \\ & R' & \end{matrix} \quad \begin{pmatrix} V_1' \\ V_2' \\ I_1' \\ I_2' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1/R & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1'' \\ V_2'' \\ I_1'' \\ I_2'' \end{pmatrix}$$

그림 2. 단락회로모델

2.1.3 선로조건

이번 레일전류 분포를 예측하기 위하여 적용한 급전회로의 데이터는 다음과 같다.

| | 전차선 | 레일 | 급전선 |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 선로임피던스 (μ/m) | $0.11+j0.30$ | $0.05+j0.10$ | $0.15+j0.46$ |
| | 전차선-레일 | 전차선-급전선 | 레일-급전선 |
| 선로정전용량 ($\mu\text{H}/\text{m}$) | $2.70+j8.30$ | $1.00+j5.00$ | $3.30+j8.70$ |

| 종별 | 임피던스[%Z] | 비고 |
|------|------------------|-----------|
| 전원계통 | 0.6+j4.0 | 100MVA 기준 |
| 송전선로 | 0.04963+j0.11448 | 100MVA 기준 |
| 변압기 | 0.43437+j9.99056 | 45MVA 기준 |

2.2 결과 분석

2.1과 같은 시뮬레이션 조건에서 정상급전, Tie급전 및 PP급전방식에 대하여 지락위치에 따라 변전소 급전 구간의 단권변압기에 유입되는 전류를 구하였다.

2.2.1 정상급전방식(단선선로)

단선AT급전선로에서 지락위치에 따라 AT구간의 각 단권변압기(변전소방향, 급전구분소방향)에 유입되는 전류와 이때의 지락전류를 그림4~그림5에 나타내었다.

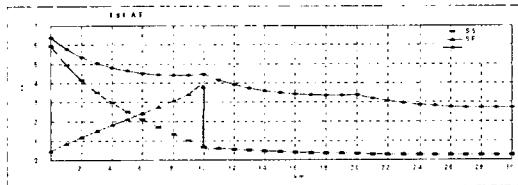


그림 4. 1st AT구간 양단의 전류 분포 예측(정상급전)

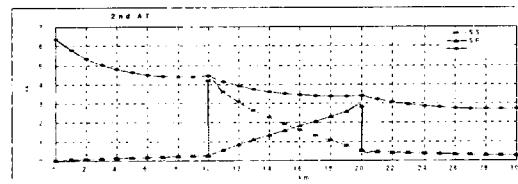


그림 5. 2nd AT구간 양단의 전류 분포 예측(정상급전)

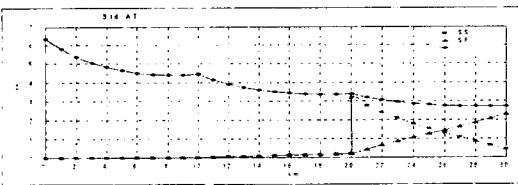


그림 6. 3rd AT구간 양단의 전류 분포 예측(정상급전)

위의 예측결과 지락이 발생한 AT구간 양단의 단권변압기로 레일전류가 가장 많이 흡상됨을 알 수 있으며 흡상되는 전류의 양은 AT구간내의 지락위치에 따라 선형적으로 변화하지만 AT와 지락지점과의 거리의 비에 비례하지 않음을 알 수 있다. 또한 지락지점이 변전소에서 멀리 떨어져 있다고 하더라도 일부분의 지락전류가 레일을 통해 변전소측 단권변압기의 중성선으로 흡상됨을 알 수 있다.

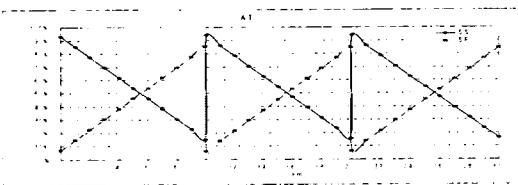


그림 7. AT양단의 전류 흡상비율(정상급전)

AT구간 내에서 지락이 발생할 경우 양단의 단권변압기로 흡상되는 전류의 흡상비율을 그림 7에 나타내었다. 사고전류가 레일을 통해 단권변압기로 흡상되는 비율은 변전소로부터의 거리에 관계없이 각 AT구간에서 동일한 것으로 나타났다.

2.2.2 Tie급전방식(복선선로)

복선 Tie 급전선로에서 지락위치에 따라 AT구간의

각 단권변압기에 유입되는 전류와 이때의 지락전류를 그림8~그림10에 나타내었다.

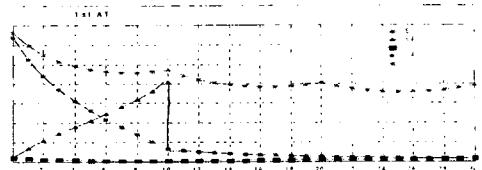


그림 8. 1st AT구간 양단의 전류 분포 예측(Tie급전)

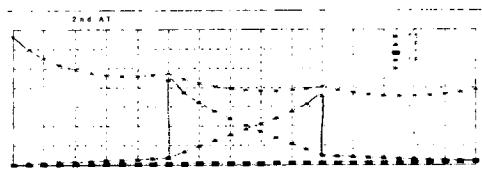


그림 9. 2nd AT구간 양단의 전류 분포 예측(Tie급전)

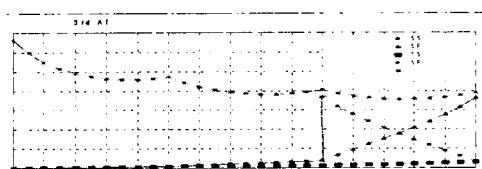


그림 10. 3rd AT구간 양단의 전류 분포 예측(Tie급전)

복선 Tie 급전방식에서 지락전류의 분포는 단선선로의 경우와 유사함을 알 수 있다. 다만 복선선로에서 지락사고가 발생한 경우 사고선로의 단권변압기로 거의 모든 사고전류가 흡상되며 전전선로의 단권변압기로는 사고전류가 거의 흡상되지 않음을 알 수 있다.

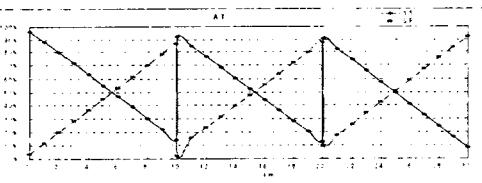


그림 11. AT양단의 전류 흡상비율(Tie급전)

AT구간내의 지락위치에 따른 단권변압기의 사고전류흡상비율을 살펴보면 단선 정상급전방식과는 차이를 보이고 있다. 변전소에서 AT구간의 거리가 멀어질수록 AT구간 양단의 단권변압기로 흡상되는 비율이 AT구간내의 지락위치의 거리의 비에 가까워짐을 알 수 있다.

2.2.3 PP급전방식(복선선로)

복선 PP 급전선로에서 지락위치에 따라 AT구간의 각 단권변압기에 유입되는 전류와 이때의 지락전류를 그림12~그림14에 나타내었다.

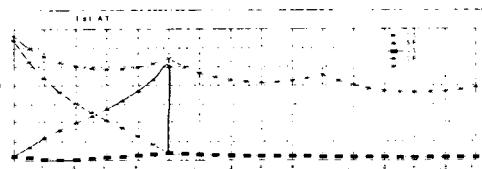


그림 12. 1st AT구간 양단의 전류 분포 예측(PG급전)

복선 PP 급전선로에서 지락에 따른 레일전류의 분포를 예측한 결과 AT양단 단권변압기의 흡상전류의 경향이 정상급전 및 복선 Tie급전방식과 어느 정도 유사함을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 Tie 급전방식의 경우 상하선의 단권변압기가 서로 분리되어 있어 사고전류

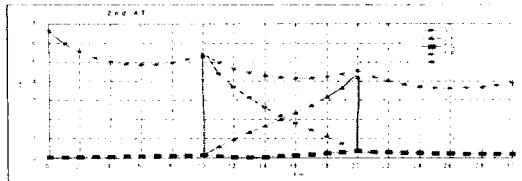


그림 13. 2nd AT구간 양단의 전류 분포 예측(PP급전)

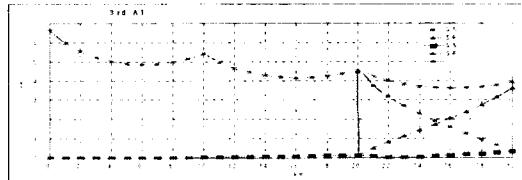


그림 14. 3rd AT구간 양단의 전류 분포 예측(PP급전)

가 사고상의 단권변압기로 100% 흡상되는 것에 비하여 PP급전방식의 경우 단권변압기가 병렬로 연결되어 있음으로 사고전류가 사고상의 단권변압기와 건전상의 단권변압기로 분배되어 흡상될 것이다. 따라서 Tie 급전방식에 비하여 PP 급전방식의 단권변압기의 최대허용 사고전류가 50%로 감소시켜도 사고전류의 흡상에 문제가 없을 것으로 예측된다.

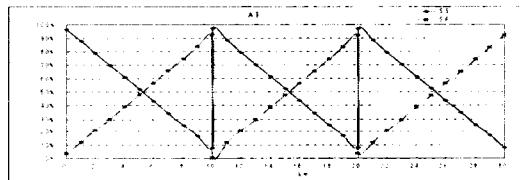


그림 15. AT양단의 전류 흡상비율(PP급전)

AT구간내의 지락위치에 따른 단권변압기의 사고전류 흡상비율을 살펴보면 각 AT구간별로 흡상되는 경향은 정상급전방식과 유사하며 거의 대부분의 사고전류가 사고구간의 단권변압기로 흡상됨을 알 수 있다. 또한 변전소에서 AT구간까지의 거리에 관계없이 AT구간 양단의 단권변압기로 흡상되는 비율이 AT구간내의 지락위치의 거리의 비에 따라 일정함을 보여준다.

3. 결 론

교류전기철도 25kVx2 AT급전방식(정상급전, Tie 급전 및 PP 급전)에 따라 레일전류의 분포를 예측하고 사고전류의 흡상비율을 검토하였다.

지락위치에 따라 레일전류의 분포는 대체적으로 유사한 경향을 보이나, 급전방식에 따라 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다. 또한 사고지점 양단의 단권변압기로 흡상되는 전류의 비율을 검토한 결과 흡상전류의 비율이 급전방식에 따라 바뀌어짐을 알 수 있다.

따라서 철도급전계통의 안전한 운용과 신속한 사고대처를 위해서는 이러한 급전방법에 따라 레일전류, 즉 사고전류의 분포가 달라짐으로 이를 고려하여 보호계전계통구성 및 고장점 표정장치의 정정알고리즘을 구현하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- (1) Yoshifumi Mochinaga. "Higher harmonics Resonance on AT Feeding Circuit and Countermeasures to Suppress it". T. IEE Japan, Vol.114-D, No.10, pp.978-986. 1994
- (2) 오광해 외, "Harmonic analysis based on four-port representation for traction power supply system". ICEE Proceeding s, pp.165-168. 2000
- (3) 이창무 외, "전기철도 고조파 평가지표 검토", 전기학회학술대회, pp1251-1253, 2002

(4) 오광해 외, "서울-부산 고속철도 시험선로에서 고조파 해석을 위한 8단지망 모델", 전기학회, Vol.51, No.3, pp.99-106, 2002