

가변탭 변압기를 사용한 급전용량 증가 검토

이장무, 한문섭, 이한민, 김주락, 김길동
한국철도기술연구원

Examination of Increasing Power Delivery Capacity with variable Tap Autotransformer

Chang-Mu Lee, Moon-Seub Han, Han-Min Lee, Ju-Rak Kim, Gil-Dong Kim
Korea Railroad Research Institute

Abstract - AC AT feeding method consists return circuits of electric train inserting in parallel between trolley line and feeding line and connecting neutral line to rail and FPW. Due to increasing train number, electric load at feeding system are increasing and collecting voltage of train are going down. To increase electric load and collecting voltage between trolley line and rail, the usefulness of new autotransformer are considered which variation of short impedance and change of line voltage is simulated with modified winding ratio of autotransformer from 1:1 to variable tap

1. 서 론

교류 AT급전방식은 급전선과 전차선 사이에 단권변압기를 병렬로 삽입하고 중성점은 레일 및 비절연보호선(FPW)에 접속되어 전기차의 귀선회로를 구성한다. 단권변압기는 동일철심에 감은 2개의 권선을 직렬로 접속하고 중심점에서 단자를 인출하여 1차와 2차가 작용하게 하여 전차선-케도 및 케도-급전선에 접속하고 있다. 이는 변전소의 공급전압을 1:1로 균등분할하여 전차선-레일, 레일-급전선간의 전압을 동일하게 유지하고 있는 것이다.

최근 들어 열차의 운행이 증가함에 따라 급전선로에서도 열차 부하가 증가하고 이에 따라 열차의 집전전압이 낮아지고 있다. 특히 주말과 같은 열차운행이 증가된 경우 열차의 전압이 순간적으로 운행가능 최저전압이하가 되는 경우가 발생할 수도 있다. 이는 선로의 손실을 포함한 열차의 부하가 변전소에서 급전선로를 통해 공급 가능한 부하 한계를 초과하는 것으로, 열차 운행 증가에 따른 부하의 증가를 검토하여 공급 가능한 부하범위 이내가 되도록 열차운행 횟수를 조정하거나 공급가능한 부하의 크기를 증가시켜야 한다.

부하의 크기를 증가시키는 방법으로 공급용량을 늘이거나 부하전달의 손실을 줄이는 방법을 들 수 있다. 본 고에서는 가변 탭단권변압기를 사용하여 부하의 크기를 증가시키는 방안을 검토하고자 한다.

2. 본 론

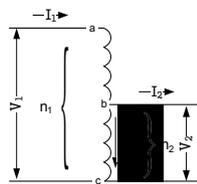
2.1 가변탭 단권변압기 모델링

2.1.1 단권변압기 기본 원리

단권변압기는 보통의 변압기처럼 1차 권선과 2차권선으로 구성되어 있지 않고, 아래 그림1과 같이 공통철심을 이용하여 코일을 감고 이것을 직렬 접속하여 1차와 2차의 단자를 인출해 낸 변압기이다. 단권변압기 1차측 및 2차측의 전압 전류 관계는 다음과 같다.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

(n_1 : 1차권수, n_2 : 2차권수)



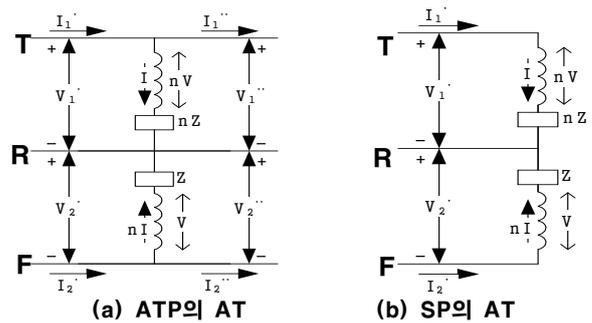
〈그림 1〉 단권변압기 개념도

2.1.2 가변탭 단권변압기 모델링

전기철도 교류급전계통에서 사용하는 단권변압기 급전방식은 한전으로부터 3상 154kV를 수전하여 전철용 주변압기를 통해 2상의 55kV로 변환하여 단권변압기를 거쳐 급전선(AF), 전차선

(TF) 및 보호선(PW)에 접속하여 전기차량에 필요한 전력을 공급하는 방식이다. 이러한 AT급전계통을 해석하기 위하여 이전에 제안한 6단자 해석기법을 사용하였다.

가변탭 단권변압기는 그림1.의 개념도에서 2차권수(n_2)가 1차 권수(n_1)의 50%에서 변경되는 것으로 개념을 잡았다. 즉 2차 권수(n_2) b-c간을 기준으로 하여 a-b간의 비를 부하상태에서 변화시켜 전체전압(a-c간의 전압)이 동일한 상태에서 a-b 간의 전압을 증가시키고, b-c 간의 전압을 감소시켜 차량이 필요로 하는 전압(a-b간 전압)을 상승시켜 차량의 전압강하를 저감시키는 구상을 하였다. 따라서 a-b간 및 b-c간의 권수가 달라짐으로 권선의 임피던스도 마찬가지로 달라지게 된다. 가변탭 단권변압기를 모델링함에 있어, 권수의 변화와 이에 따른 임피던스의 변화를 권선별로 반영하였다. 〈그림2〉에 가변탭 단권 변압기의 모델을 나타내었으며, 6단자망 해석이론을 이용한 가변 탭 단권변압기의 행렬식은 식(2) 및 식(3)과 같다.



〈그림 2〉 가변탭 단권변압기 모델

$$M_{at} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{1}{nZ_a} & \frac{-1}{Z_a} & 10 \end{bmatrix} \quad (2) \quad M_{sp} = \begin{bmatrix} n & Z_a \\ 1 & -Z_a \\ 0 & \frac{1}{n} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 $Z_a = Z_{at} / (n + 1)$

2.2 가변탭 단권변압기 적용에 따른 급전용량 검토

2.2.1 급전용량 검토 조건

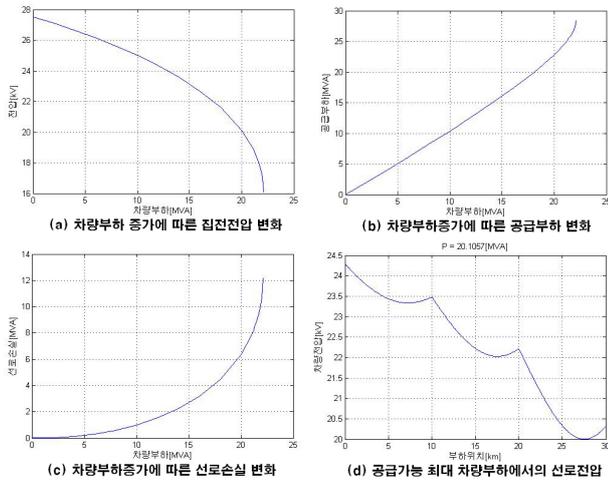
가변탭 단권변압기를 적용하여 급전용량의 변화를 검토하기 위하여 다음과 같은 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다.

- 시뮬레이션 선로
- 계통임피던스 : 한전계통 %Z = 0.141+j1.505 [100MVA기준]
- 송전선로 %Z = 0.111 + j4.2 [100MVA 기준]
- 전철주변압기 : 45,000[kVA], %Z=10, X/R=23
- 급전선로 : 30[km] 단선선로, AT간 거리 10[km]
- 부하조건 : 20[MW]의 차량부하가 급전선로를 따라 이동
- 가변탭 단권변압기 설치위치 : 급전구분소(SP)

2.2.2 기존선로의 급전용량

차량의 운행가능한 최저전압은 기존철도의 경우 20[kV]로 되어 있으며, KTX 고속열차는 19[kV]로 규정되어 있다. 급전용량 검토는 기존철도의 경우로 한정하여 부하의 전압이 20[kV] 이상이 되는 최대의 부하로 산정하기로 한다.

2.2.1의 시뮬레이션 조건으로 기존의 단권변압기를 사용할 때 급전선로에서 공급가능한 최대부하를 예측하였다.

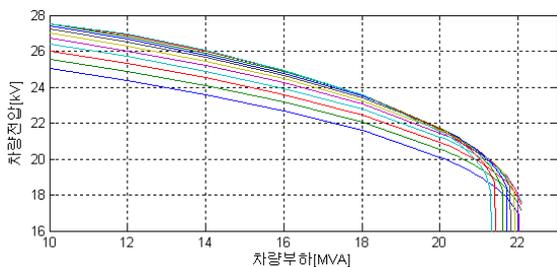


<그림 3> 기존선로에서의 최대급전용량

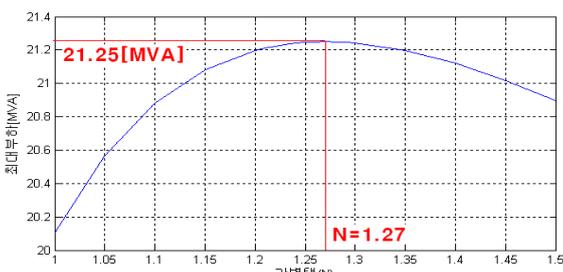
<그림 3>은 기존 선로에서 차량부하의 증가에 따른 차량부하의 전압, 공급부하, 선로손실과 차량전압이 운행가능 최저전압인 20[kV]가 되는 최대 차량부하가 급전선로를 운행할때의 전압을 나타낸 것이다. <그림 3>을 보면 차량부하가 증가함에 따라 집전전압은 감소하며 공급가능부하의 한계점 부근에서는 차량전압이 급격하게 감소하게 됨을 보여준다. 이는 부하가 증가함에 따라 부하점의 전압이 감소되며 또한 부하에 필요한 전력을 공급하는데 선로의 손실이 기하급수적으로 증가하게 되는 것이다. 기존선로에서 차량의 전압이 20[kV] 이상이 되는 최대의 부하는 20.1057[MW]로 변전소로부터 27.5[km]지점에 위치하며 이때 선로에서의 손실은 6.494[MVA](2.059+j6.159 [MVA])이다.

2.2.3 최대 부하 공급을 위한 가변탭 설정

공급가능부하의 한계는 차량부하가 마지막 AT구간에 위치할 때 발생함으로 2번째 ATP와 말단SP에 가변탭 단권변압기를 설치하여 부하가 최대가 되는 가변 탭을 확인하고 그때의 부하변동을 살펴보고자 한다. 이때 ATP와 SP의 가변탭은 동일하게 변하는 것으로 가정하였다. 가변탭 N을 1부터 증가시키에 따라 차량의 최대부하를 계산하였으며 그 결과를 <그림 4>에 나타내었다. 가변탭 N이 증가하면서 차량전압 20[kV]를 유지하는 차량부하는 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 보인다. 가변탭 변화에 따른 최대부하의 변화를 <그림 5>에 도시하였으며, 차량부하가 최대가 되는 가변탭은 N=1.27인 경우로 공급가능한 차량의 최대부하는 21.25[MVA]로 나타났다.



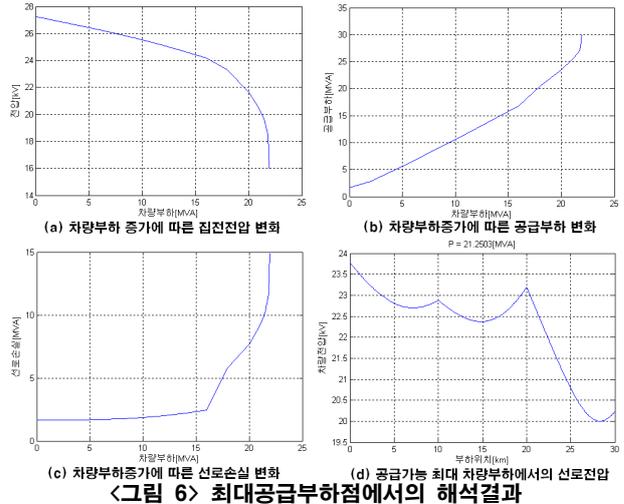
<그림 4> 가변탭(N) 증가에 따른 차량전압 변화



<그림 5> 가변탭 변화에 따른 최대부하

2.2.4 최대공급부하점에서의 급전용량 검토

차량부하를 최대한 공급할 수 있도록 2번째 ATP와 SP의 가변탭 단권변압기의 탭을 N=1.27로 설정하여 급전용량 및 손실을 검토하였으며 그 결과를 <그림 6>에 나타내었다.



<그림 6> 최대공급부하점에서의 해석결과

가변탭 단권변압기를 사용할 때, 차량의 전압이 20[kV]이상이 되는 최대의 부하는 21.2503[MVA]로 변전소로부터 28.3[km]지점에 위치할 때이며 이때 선로의 손실은 9.674[MVA](2.938+j9.216[MVA])이다. 차량 운행가능 최저전압인 20[kV]를 기준으로 할 때, 기존의 1:1 단권변압기를 사용하였을 때와 비교하면 차량부하가 20.1057[MVA]에서 21.2503[MVA]로 1.1446[MVA]의 부하를 더 공급할 수 있음을 알 수 있다. 이는 기존 단권변압기를 사용하였을 경우보다 약 5.7%의 부하를 더 공급할 수 있음을 보여준다. 또한 차량부하가 20.1057[MVA]인 경우 기존 단권변압기를 사용할 때 차량최저전압이 20[kV]이나, 가변탭 단권변압기를 사용함으로써 차량최저전압이 21.6[kV]로 1.6[kV]가 상승되어 가선전압이 8% 상승됨을 알 수 있다.

3. 결 론

전기철도시스템에서 차량의 안전운행을 위하여 차량의 집전전압이 집전가능 최소전압 이상으로 유지되어야 하며, 이는 전기철도 급전계통에서 차량 운행에 필요한 전력을 공급할 수 있어야 함을 의미한다. 차량에 전력을 공급함에 있어 전차선로에서의 손실이 불가피하게 발생하며 이로 인해 공급가능한 전력의 한계가 발생한다. 이러한 공급전력의 한계를 키우기 위해 가변탭 단권변압기를 적용하여 부하에 필요한 전력을 더 공급할 수 있음을 보였으며, 동일 부하인 경우 부하점에서의 집전전압이 상승됨을 시뮬레이션으로 보였다. 급변 시뮬레이션에서는 교류단선AT선로에서 효과를 예측하였으나, 실제 운행계통과 동일한 조건에서 효과를 예측하고 또한 차량부하를 고려할 때 집중부하보다 차량의 운행조건을 고려한 분포부하로 최대부하를 산정하는 것이 필요할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이장무, 한문섭외, “집전전압 향상을 위한 가변탭 단권변압기 검토”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2009
- [2] 이장무, 이한민 외, “급전방식에 따른 급전선로의 전송용량 예측”, 대한전기학회하계학술대회논문집, 2007
- [3] 이장무, 이한민 외, “기존선-고속선 연결선 구간에서 최대부하용량 평가”, 대한전기학회 하계학술대회논문집, 2008
- [4] 이한민, 오광해, 이장무, 창상훈, “5도체군 등가모형을 이용한 선로정수 예측에 관한 연구”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.443~445, 2001
- [5] Sewan Choi 외, “Autotransformer Configurations to Enhance Utility Power Quality of High Power AC/DC Rectifier Systems”, IEEE, 1996.