

교류급전시스템의 단권변압기 탭변환에 따른 고장전류 및 고장임피던스 검토

김주락*, 한문섭* 창상훈* 김정훈**
한국철도기술연구원*, 홍익대학교**

Investigation of Fault Current and Impedance according to Autotransformer Tap Changing

Joorak Kim*, Moonseob Han*, Sang-Hoon Chang*, Jung-Hoon Kim**
Korea Railroad Research Institute*, Hongik University**

Abstract - This paper presents new configuration of a.c. traction power supply system. The proposed system includes autotransformer with variable tap. The voltage drop in traction power supply system can be reduced due to tap change of autotransformer. In this paper, fault current and Impedance is investigated, when fault occurs in traction power supply system.

1. 서 론

산업 발전에 따른 수도권 지역의 인구 밀집 현상과 물류량의 증가는 도로교통의 혼잡을 초래하였고, 산업·경제의 발전과 더불어 도시간의 빠르고 정확한 운송수단의 필요성에 의해 대량수송체로서 철도가 빠르게 확산되고 있다. 이러한 철도 수요의 증가는 전기철도의 도입으로 이어졌으며, 현재 국내 철도의 전철화는 (2008년 기준) 53.5%로서 수송 수요가 많은 대부분의 구간이 전철화 되었다.[1]

전기철도의 전기 공급 방식은 직류급전방식과 교류급전방식이 있으며 세계적으로는 교류급전방식이 약 61%를 차지하고 있다. 국내 도시간 간선철도의 경우 교류급전방식을 채택하고 있다. 또, 교류급전방식은 AT(단권변압기) 및 BT(흡상변압기) 급전방식이 사용되며 대부분의 구간에서 AT를 이용하여 27.5kV×2의 전압으로 급전시스템을 운영한다.

한편, 급전시스템의 전기부하인 열차의 경우 대규모의 이동·집중부하로 KTX의 경우 단일 열차의 용량이 약 15MVA다. 이러한 용량의 열차 급전시스템 한 구간에 3~4대가 진입하여 동시 견인 할 경우 상당한 전력이 공급되어야 하며, 이에 따라 선로의 전압강하가 필연적으로 수반된다. 이러한 전압강하를 막기 위하여 그동안 전력전자 기술을 이용한 다양한 보상설비가 제안되었다. 그러나 이러한 보상설비를 계통에 추가하지 않고 전압강하를 막을 수 있다면 가장 좋은 해결책이 될 것이다.

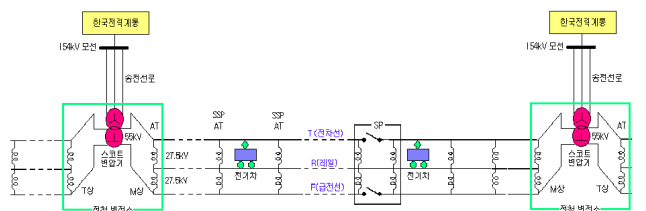
현재 급전시스템에서 AT의 사용은 2:1의 변압비로 전차선-레일 및 급전선-레일간의 전압을 동일하게 유지하고 있으며, 전차선-레일간의 변압비를 급전선-레일간 보다 높게 해주어 열차의 집전전압을 높여 차량의 전력소비 효율을 향상시키고 전차선에 흐르는 전류를 감소시켜 전차선로에서 발생하는 손실을 경감하고자 한다.

이에 따라 본 연구에서는 교류급전시스템의 전압강하를 보상하기 위하여 별도의 설비 없이 단권변압기의 변압비를 조정하는 방안을 제안하고 급전시스템의 사고 발생시 기존 방식과 제안하는 방식간의 단락고장시 고장 전류와 임피던스를 비교 검토 한다.

2. 본 론

2.1 교류 급전시스템 단권변압기

교류 급전시스템은 경부고속철도를 비롯한 중장거리 간선철도에서 채용하고 있다. AT를 이용하는 교류급전시스템은 통상 단상 2×25kV 급전 방식에 기초를 두고, 단상의 대용량 전력을 공급받기 위해서는 3상 전력계통과 연계되어야 한다. 이를 위해 철도 교류급전회로는 그림 1과 같이 전철변전소의 스코트변압기에 의해 단상으로 변환된 전력을 급전선, 전차선, 레일에 통해 차량에 공급한다.



〈그림 1〉 교류급전시스템 구성

2.1.1 기존 교류급전시스템

AT 방식의 교류급전시스템은 약 10km 정도의 간격으로 단권변압기를 선로에 설치하여, 전압강하를 방지하고 레일에 흐르는 전류를 흡수하여 급전선으로 귀환 전류를 흐르게 하는 역할을 한다. 현재까지 운영하고 있는 이 단권변압기는 권선의 중앙에서 탭을 내어 레일에 연결하며, 나머지 부분에서 전차선과 급전선을 인출한다. 따라서, 전차선과 급전선간의 전위차는 55kV가 되고 전차선과 레일, 레일과 급전선간의 전압은 27.5kV가 된다. 차량은 전차선과 레일 사이에서 운행하므로 공칭 27.5kV의 전압을 집전 받게 된다. 그러나 대용량 열차의 등장으로 선로에서는 당연히 전압강하가 발생하게 되고, 전류량이 증가하여 선로 손실도 발생한다.

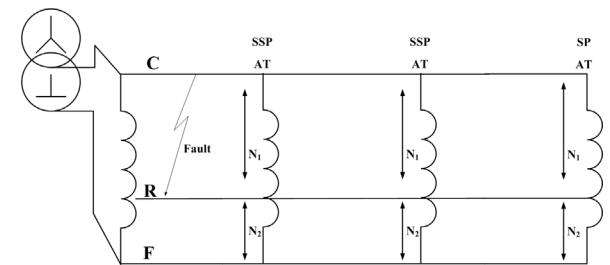
2.1.2 제안하는 교류급전시스템

본 논문에서 제안하는 교류급전시스템은 그림 1과 같은 급전시스템과 설비의 구성에 있어서는 동일하다. 다만 선로 말단 급전구분소의 단권변압기 변압비를 전차선-레일간 레일-급전선간 보다 최대 1.5배 높게 구성하는 것이다. 즉, 기존의 급전구분소 단권변압기는 전차선-레일 및 레일-급전선간의 전압이 27.5kV로 동일한 데에 비하여 급전구분소 단권변압기의 변압비를 최대 33kV : 22kV(전차선-레일 : 레일-급전선)로 조정하는 것이다. 이렇게 설비를 구성하게 되면, 별도의 전압강하 보상설비의 연계없이도 차량의 집전전압을 향상시킬 수 있어 견인효율을 높일 수 있다. 본 연구진에서 계산한 결과로는 선로 말단에 약 12MVA 용량의 차량이 위치했을 때 기준으로 약 10%의 차량 집전전압 향상이 예상되었다.[2]

2.2 고장 해석

본 논문에서는 제안한 단권변압기 변압비 조정을 통한 급전시스템 구성이 적절한 지를 검토하기 위하여, 고장 해석을 하여 계통의 고장전류와 임피던스를 기존 시스템과 비교하였다. 그림 2는 급전시스템의 고장을 모의하기 위하여 구성된 선로를 보인다. 그림에서 보듯이 30km 정도의 전차선로에 2개의 SSP와 1개의 SP로 구성된 시스템에서 고장을 상정하였다. 고장은 전차선과 레일간의 단락고장으로 설정하였으며, 고장 위치를 변경하며 고장전류와 임피던스를 계산하였다.

본 논문에서 수행한 고장 해석은 PSCAD/EMTDC를 이용하였으며, 총 시뮬레이션 시간 2초중 단락 고장 시간은 0.5초 동안 발생하는 것으로 설정하였다.



〈그림 2〉 고장 해석을 위한 급전시스템 구성

2.2.1 단락 임피던스

단락 임피던스는 전차선-레일간 단락 사고시 단락 임피던스 Z_{CR} 를 계산하는 것으로서, 이것은 계통 운영시 계전기 설정에 중요한 정보가 된다. 표 1과 2는 단락임피던스 $Z_{CR,27.5}$ 및 $Z_{CR,55}$ 의 결과로서 각각 단락 사고시 전차선과 레일간의 전압을 기준으로 전차선 및 스코트 변압기 2차측 전류에 대한 임피던스를 나타낸다. 단락 사고는 선로에서 총 10개의 위치에서 발생한 것으로 상정하고 계산하였다. 각 위치는 3km로 모의한 전차선로 모델과 단권변압기에 따라 상정한 것이다.

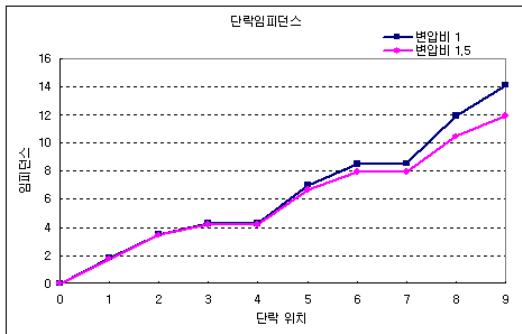
계산 결과 전철변전소와 가까운 곳에서의 단락 임피던스는 기존 및 제안한 시스템이 유사한 결과를 보였으나 변압비를 조정된 급전구분소로 고장위치가 움직임에 따라 제안한 시스템의 단락 임피던스가 감소한 결과를 보였다. 그림 3과 4는 각 임피던스 계산 결과를 도시한 것이다.

〈표 1〉 단락 임피던스 ($Z_{CR_27.5}$)

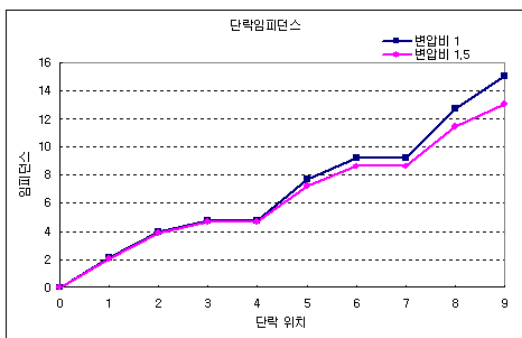
변압비 단락위치	27.5kV : 27.5kV	33kV : 22kV
0	0.02 [Ω]	0.02 [Ω]
1	1.81 [Ω]	1.78 [Ω]
2	3.49 [Ω]	3.43 [Ω]
3	4.26 [Ω]	4.19 [Ω]
4	4.28 [Ω]	4.18 [Ω]
5	6.99 [Ω]	6.62 [Ω]
6	8.49 [Ω]	7.93 [Ω]
7	8.50 [Ω]	7.94 [Ω]
8	11.85 [Ω]	10.43 [Ω]
9	14.07 [Ω]	11.89 [Ω]

〈표 2〉 단락 임피던스 (Z_{CR_55})

변압비 단락위치	27.5kV : 27.5kV	33kV : 22kV
0	0.02	0.02
1	2.12	2.05
2	3.96	3.85
3	4.76	4.63
4	4.76	4.63
5	7.66	7.27
6	9.20	8.64
7	9.20	8.63
8	12.73	11.42
9	15.03	13.04



〈그림 3〉 단락 임피던스 ($Z_{CR_27.5}$)



〈그림 4〉 단락 임피던스 (Z_{CR_55})

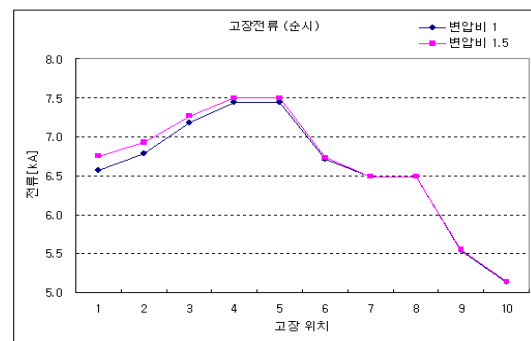
2.2.2 고장 전류

고장 전류 계산은 전차선과 단락 임피던스 계산과 동일한 조건에서 고장 위치에서 흐르는 전류를 계산한 것이다. 표 3은 고장 전류 결과를 기존 급전시스템과 제안한 급전시스템을 비교하여 보인다. 계산 결과 기

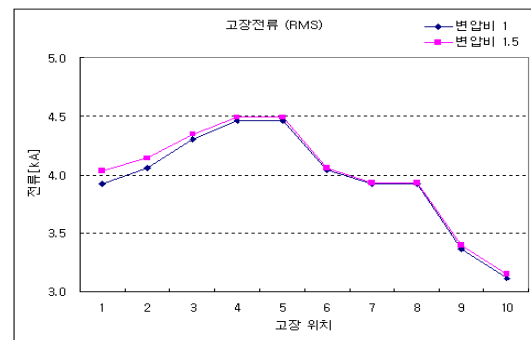
존 시스템 구성과 제안한 구성과의 고장 전류는 큰 차이를 보이지 않았으며, 변전소 인근 사고일 때 가장 큰 차이인 100[A] 차이를 보였다.

〈표 3〉 고장전류

변압비 단락위치	27.5kV : 27.5kV		33kV : 22kV	
	순시[kA]	RMS[kA]	순시[kA]	RMS[kA]
0	6.57	3.92	6.76	4.03
1	6.78	4.06	6.92	4.14
2	7.17	4.30	7.26	4.35
3	7.44	4.46	7.50	4.49
4	7.44	4.46	7.50	4.49
5	6.71	4.04	6.73	4.06
6	6.49	3.92	6.49	3.92
7	6.49	3.92	6.49	3.92
8	5.54	3.37	5.55	3.39
9	5.12	3.11	5.14	3.15



〈그림 5〉 고장전류 비교(순시값)



〈그림 6〉 고장전류 비교 (RMS)

3. 결 론

본 논문에서는 급전시스템의 전압강하 및 차량의 견인 효율을 향상시키기 위하여 제안한 단권변압기의 탭 변환 운영에 대해서 검토하기 위하여 급전구분소의 단권변압기 탭 변환시 전차선-레일간의 고장 해석을 하였다. 단권변압기의 탭변환에 따라 전차선-레일간의 전압이 기존 시스템에 비하여 상승하고 고장시 사고 전류는 거의 변화가 없어 단락 임피던스는 급전구분소 부근에서의 사고시에만 차이를 보였다. 특히, 변전소 부근의 사고시에는 시스템의 변화에도 큰 영향이 없음을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 철도공사, “전기업무자료”, 2008.
- [2] 김주락 외, “교류급전시스템의 단권변압기 변압비 조정을 통한 집전 전압 향상 검토”, 한국에너지공학회, 2009년 춘계 학술대회 논문집, 2009
- [3] 이한민, “PSCAD/EMTDC를 이용한 교류전기철도시스템 해석에 관한 연구”, 박사학위논문, 2005
- [4] 이장무의, “집전전압 향상을 위한 가변탭 단권변압기 검토”, 한국철도학회 2009년 춘계 학술대회 논문집, 2009.