

능동형 밸런서 시스템의 전력 부하 불평형 검증 방안 도출 연구

Study on Deriving Verification Method of Power Load Unbalance for Active Balancer System

김상활*[†], 김상헌*, 박진규*, 장홍석*, 최정환*, 최성수**

Sanghwal Kim*, Sanghun Kim*, JinKyu Park*, Hongseok Jang*, Jeonghwan Choi*, Sungsoo Choi**

초 록 국내 교류 전기철도의 급전방식은 3상을 단상으로 전환하는 급전방식을 사용하고 있으며, 열차 운행 시 부하로 인하여 전압 불평형이 발생한다. 이러한 현상은 전력기기의 온도상승 과부하 등의 영향으로 제품 수명이 줄어든다. 해외에서는 전압 불평형을 감소시키기 위하여 유효/무효 전력보상, 회생전력 등을 사용하여 전압 불평형을 개선하고 있다. 이와 같이 전압 불평형률을 개선하기 위한 시스템을 국내 교류 전기철도에 적용 시 전압 불평형에 대하여 검증을 실시할 수 있도록 본 논문에서는 기초적인 연구를 실시하였다.

주요어 : 전압 불평형, 변전소, 능동형 밸런서

1. 서론

국내 교류 전기철도의 급전 방식은 한전의 154 kV 전압을 수전받아 한국철도공사 변전소에서 스코트 변압기와 단상 변압기로 22.9 kV의 전압을 생성하고 열차에 급전 운행하는 방식을 적용하고 있다. 이때, 3상에서 단상으로 변환된 전력을 공급받는 열차의 부하로 인하여 3상의 전력공급시스템에서 위상 전압 불평형을 발생하게 된다.[1]

또한, 전압 불평형으로 인하여 전력기기의 온도 상승, 과부하 등의 영향으로 인하여 변전소에서 운용 중인 제품 수명이 단축되고 있으며, 전력 비용도 증가하고 있다.[2]

본 연구에서는 교류 전기철도에서 능동형 밸런서 시스템을 적용하여 부하 불평형 개선 시 전압 불평형을 검증하는 방안을 도출하는 연구를 실시 하였다.

2. 본론

2.1 전압 불평형 검증

2.1.1 전압 불평형

교류 전기철도의 급전 시스템의 스코트 변압기와 단권 변압기를 통한 급전인 3-상 전압의 단상 전압으로의 변압 급전으로 열차운행시 부하로 인하여 M 상 T 상에 따라 전압 불평형이 발생한다.

국제 표준인 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers), IEC(International Electrotechnical Committee)와 국내의 전기설비 기술기준에 따르면 정상상태 운전시 아래의 Table 1 과 같다.[3,4,5]

Table 1 Voltage unbalance value

Division	Value [%]
전기설비 기술기준	3
IEEE Std 1159:2009	0.5~2
IEC 61000-3-13:2008	2

전기설비 기술기준의 판단기준에서는

† 교신저자: 한국산업기술시험
(sang0709@ktl.re.kr)

* 한국산업기술시험원

** 한국철도공사

교류식 전기철도 결선 방식에 따라 전압 불평형률을 계산하는 방법은 다음과 같다.[5]

(1) 단상 결선일 경우

$$K = ZP \times 10^{-4}$$

(2) T 결선일 경우

$$K = Z(P_A - P_B) \times 10^{-4}$$

(3) V 결선일 경우

$$K = Z \sqrt{P_A^2 - P_A P_B + P_B^2} \times 10^{-4}$$

K : 백분율로 표시한 전압 불평형률

Z : 변전소의 수전점에서 3상 전원계통의 10,000 kVA 를 기준으로 하는 퍼센트 임피던스 또는 리액턴스

P : 전기철도용 급전 전구역에서의 연속 2시간의 평균부하

P_A, P_B : 각각의 전기철도용 급전 구역에서의 연속 2시간 평균부하

또한, 국제 표준인 IEC 에서는 전압 불평형률을 아래의 식을 통하여 계산한다.[6]

(1) 역상성분의 불균형 비는 다음과 같다.

$$u_2 = \frac{U_2}{U_1} \times 100\%$$

(2) 제로-시퀀스 불균형 비는 다음과 같다.

$$u_0 = \frac{U_0}{U_1} \times 100\%$$

U_0 : zero sequence

U_1 : positive sequence

U_2 : negative sequence

2.1.3 열차 부하로 인한 전압 불평형 개선 사례

일본 East Japan Railway의 경우 Mitsubishi사, Fuji electric사의 RPC(Railway static power conditioner)를 이용하여 무효 전력보상과 회생전력을 사용하는 방법으로 전압 불평형을 개선하고 있다.[7] 독일 Siemens의 RAB(Railway Active Balancer), 스위스 ABB의 SVC(Static Var Compensators)는 무효 전력보상을 통하여 전압 불평형을 개선하고 있다.

2.1.4 전압 불평형의 측정

교류 전기철도 변전소에 사용되는 전압 불평형 보상기기는 대부분 아래의 Fig 1. 같은 회로로 구상된다.

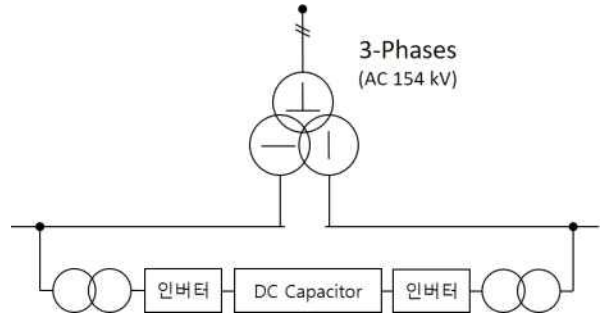


Fig. 1 Voltage unbalance compensation system diagram

이와 같이 전압 불평형을 보상하는 전력기기가 설치될 경우 기존에 운영중인 교류식 급전방식의 시스템과 측정 지점이 동일하여도 시스템의 전압 불평형은 측정이 가능하다.

측정은 3상과 단상에서 측정 할 수 있으며, 3상의 M 상과 T 상과 같이 위상을 가지는 선로를 이용하여 측정하는 방법과 중성점과 접지를 이용하는 측정하는 방법이 있습니다. 또한, 전동기에 전력을 공급하는 단상의 전력을 측정하는 방법도 있습니다.

이때, 위의 전기설비 기술기준의 판단기준에서는 급전구역에서의 연속 2시간 평균부하를 가진 값을 이용하여 계산을 하여 전압 불평형률 값을 나타내고 국제 규격에서는 1주일의 이상의 측정 기간과 2 시간 또는 10분 간격의 측정값을 사용하도록 한다.

2.1.3 전압 불평형 검증

국내는 급전구역에서 연속 2시간 측정된 평균부하를 활용한 전압 불평형률이 3% 이내를 검증하면 된다.

하지만, IEC 62586-2에서는 전압 불평형을 검증하기 위해서 3상 전력 시스템에서 측정 가능할 경우에 각 상에 해당하는 U_{din} 을 입력하여 u_0, u_2 값이 다음 표와 같은 값을

나타내어야 한다고 되어있다. [8]

참고문헌

Table 2 Testing condition and measurement method

Target of the test	Testing conditions [U_{dim}]		Test criterion (if test is applicable)
Check accuracy of unbalance measurement	L1 to N	100 %	u_0 and u_2 0 % ~ 0,15%
	L2 to N	100%	
	L3 to N	100 %	
	L1 to N	73 %	u_0 and u_2 4,9 % ~ 5,2%
	L2 to N	80 %	
	L3 to N	87 %	
	L1 to N	152 %	u_0 and u_2 4,8 % ~ 5,1 %
	L2 to N	140 %	
	L3 to N	128 %	

3. 결론

전압 불평형률을 검증하기 위하여 국내는 급전 구역에서 2시간의 평균부하만을 사용하여 그 값을 검증하도록 하지만 국제 표준규격(IEC)에서는 측정하는 값의 오차를 줄이기 위하여 측정기간과 데이터 활용의 기준이 제시되어 있고, 이에 따른 시스템의 평가 방법도 제시되어 있다. 국내 교류 전기철도에서도 전력기기의 수명을 확보하고 전압 공급의 품질을 높이기 위하여 국제표준규격(IEC)를 기반으로 한 교류 전기철도의 전압 불평형률의 값 검증이 필요할 것으로 보인다.

후 기

국토교통과학기술진흥원의 국가 R&D (18RTRP - B148306 - 01) 사업의 일환으로 연구 되었습니다.

- [1] 김정철 (2008) 급전계통해석과 전기철도의 이해, 기다리
- [2] 오광해, 창상훈, 최규형 (2001) 전기철도 급전 시스템의 전압불평형 평가기법 연구, 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.308-311
- [3] IEEE (2009) IEEE Recommended Practice for monitoring Electric Power Quality, IEEE 1159
- [4] IEC (2008) Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-13: Limits – Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems, IEC/TR 61000-3-13
- [5] 대한전기협회 (2018) 전기설비 기술기준의 판단기준, 대한전기협회
- [6] IEC (2015) Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods , IEC 61000-4-30
- [7] Koichi Shishime (2012) Practical Application of the Railway Static Power Conditioner (RPC) For Conventional Railways, MEIDEN REVIEW, No.156 .3, pp. 38-41
- [8] IEC (2017) Power quality measurement in power supply system – Part 2: Functional tests and uncertainty requirements, IEC 62586-2