

전기철도 급전계통의 고조파 억제용 RC뱅크의 적정 위치에 관한 연구

이한민\* 오광해 창상훈  
한국철도기술연구원

Optimal Location of RC bank limiting Harmonics in Electric Railway System

H.M. Lee K.H. Oh S.H. Chang  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - This paper composes the Electric Railway System with the common grounding based on the 5-port network model. We compare the magnification ratio of harmonic currents according to locations of RC bank(i.e. s/s, sp, and pp). It takes a lot of costs to equip the RC-bank at all location. And it is NOT effective that RC-bank is equipped at S/S. Finally, this paper proposes SP as the optimal site of RC-bank aspect reducing harmonic.

1. 서 론

전기철도의 차량에서 발생된 고조파전류는 급전계통의 임피던스 특성에 의해 특정 조파에서 공진되어 고조파전류 확대현상을 일으켜 각종 문제를 야기시킨다. 즉, 고조파전류는 인접통신선에의 유도장해를 일으키고 철도신호장애의 원인이 될 뿐만 아니라 전원계통에 유입되는 경우에는 전력용콘덴서의 과열/진동을 유발시키고 보호계전기를 오동작 시킬 우려가 있다. 따라서 전기철도 급전시스템의 고조파 공진특성을 분석하기 위해 가장 특징적인 현상인 고조파 확대율을 검토해야 한다.

고조파 확대율은 전기철도차량의 고조파 발생전류에 대한 변전소 유입고조파 전류로 정의된다. 전체 급전계통의 선로정수는 주파수의 함수이므로 고조파 확대율은 각 조파(1,3,5...)에서 서로 다른 값을 갖는다. 따라서 고조파 확대율은 조파별로 계산되어야 한다. 고조파 확대율을 저감시키기 위해서는 고조파에 대한 전용대책설비인 RC뱅크를 설치한다. 이때, RC뱅크의 설치위치에 따라서 그 효과와 경제적인 측면을 고려하여 세부검토가 이루어져야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 고조파 해석을 위하여 공동접지방식의

급전계통에 적합한 고조파해석 알고리즘인 단자망 모델을 회로망 이론을 바탕으로 유도한 10단자회로망 모델에 적용하였다(1). 10단자회로망 모델 이론을 바탕으로 고조파확대현상을 분석하고 경제적이면서도 효과적으로 고조파를 억제하기 위한 RC뱅크의 최적위치를 결정하였다.

2. 10단자망에 의한 고조파 해석

본 연구에서는 그림 1.과 같은 교류급전시스템의 정밀한 고조파 해석을 위해 각각의 회로구성요소를 단자망모델로 정의하고 이로부터 고조파 회로를 해석하는 기법을 개발하였다(1).

전체 급전시스템은 이를 구성하고 있는 회로요소들의 결합이므로, [1]에서 도출한 회로요소의 단자망모델의 직렬 결합을 통하여 급전회로망을 표현할 수 있다. 즉, 상하행선의 회로에 Tie 접속이 없으면, 전원계통과 변전소의 단권변압기(4×8행렬), 전차선로(8×8행렬), 철도차량(8×8 단위행렬과 8×1 벡터), 보조구분소의 단권변압기(8×8행렬), ..... , 급전구분소의 단권변압기(8×4행렬)에 대한 단자망 행렬을 식 (1)과 같이 집계하여 고조파 해석을 위한 연립방정식을 구성한다.

$$\begin{bmatrix} E_M \\ E_M \\ E_M \\ E_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{SS} & M_{CAT1} & M_I & M_{CAT2} & M_{SP} & \dots & M_{SP} \\ (4 \times 8) & (8 \times 8) & (8 \times 8) & (8 \times 8) & (4 \times 8) & \dots & (8 \times 4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} M_{SS} & M_{CAT1} \\ (4 \times 8) & (8 \times 8) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ I_{M1} \\ 0 \\ 0 \\ I_{M2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

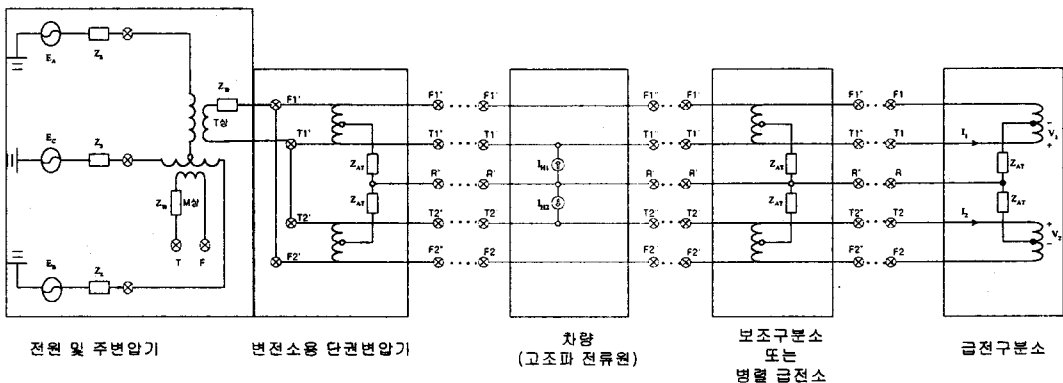


그림 1 교류 급전시스템의 구성

상하행선의 회로가 Tie 접속된 경우에는, 전원계통과 변전소의 단권변압기(2×4행렬), 전차선로(4×4행렬), 철도차량(4×4 단위행렬과 4×1 벡터), 보조구분소의 단권변압기(4×4행렬), ..... , 급전구분소의 단권변압기(4×2행렬)에 대한 단차망 행렬을 식 (1)과 같이 집계하여 고조파 해석을 위한 연립방정식을 구성한다.

$$\begin{bmatrix} E_M \\ E_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{SS} \\ (2 \times 4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{CAT1} \\ (4 \times 4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_I \\ (4 \times 4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{CAT2} \\ (4 \times 4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{SP} \\ (4 \times 4) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} M_{SP} \\ (4 \times 2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} M_{SS} \\ (2 \times 4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{CAT1} \\ (4 \times 4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{H1} \\ V_{H2} \\ I_{H1} \\ I_{H2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (1), 식 (2)에서 전원계통의 내부전압은 순수한 기본파 성분으로 가정할 수 있으므로 각 고조파별 계산 시에  $E_M$ 은 0으로 둘 수 있고  $I_{H1}$ 과  $I_{H2}$ 는 차량의 고조파 전류원이므로 주어지는 값이다. 결국 식 (1), (2)의 연립방정식을 풀면 구분소속의 단권변압기에 흐르는 고조파 전류  $I_1, I_2$  와 고조파 전압  $V_1, V_2$ 를 구할 수 있고 순차적으로 단차망 행렬을 곱하여 급전시스템의 각 요소에 흐르는 고조파 전압, 전류를 산출할 수 있다. 이 계산과정은 관심대상 조파별로 반복한다.

### 3. 사례 연구

#### 3.1 시험 계통 급전시스템의 구성

시험계통의 전력공급시스템은 그림 2에 보인바와 같이 한국전력 변전소로부터 전력을 인출하여 전철변전소에까지 가공송전선을 통하여 수전하고 있다. 전철변전소의 스코트 주변압기는 전철변전소 앞의 테드섹션을 기준으로 T상과 M상으로 나누어 전차선로에 전력을 공급한다. T상 전차선로를 따라 12km, 20km 떨어진 지점에 각각 B2, B1 병렬 급전소가 있으며 이곳에는 상하선 각각에 단권변압기가 시설되어 있다. 28km 떨어진 지점은 급전구간의 경계점으로 A1 급전구분소가 위치하고 있으며 상하선을 일괄하여 하나의 단권변압기로 차량전력을 공급한다. M상 방면으로는 전철변전소로부터 전차선로를 따라 11km 떨어진 지점에 B3 병렬 급전소가 있으며 상하선 각각에 단권변압기가 시설되어 있다. 또한 21km 떨어진 지점에는 A2 급전 구분소가 있어 상하선을 일괄하여 하나의 단권변압기로 차량에 전력을 공급한다.

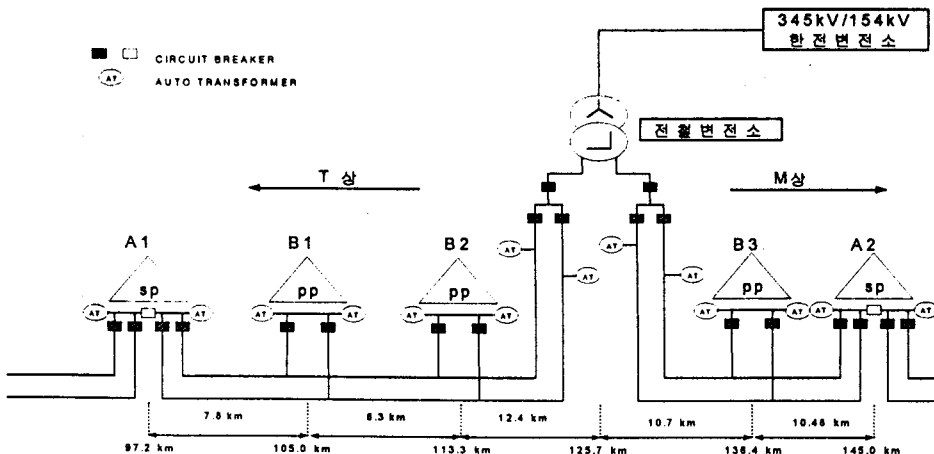


그림 4

#### 3.2 차량 운행조건

시험계통의 고조파 평가에 있어서 다음의 운전조건을 가정하였다.

- 운행열차 대수: M상, T상 각각에 1대씩, 총 2편성
- 열차 위치: M상측 - A2SP(21km) 지점 1대 위치  
T상측 - A1SP(28km) 지점 1대 위치

#### 3.3 시험계통의 고조파 공진특성

전기철도 급전시스템의 고조파 공진특성을 분석하기 위해 가장 특징적인 현상인 고조파 확대율을 검토하였다.

전기철도에서는 차량의 컨버터에서 발생된 고조파전류가 전차선로를 따라 전철변전소를 통하여 전원계통쪽으로 유입되는데, 고조파 확대율은 전기철도차량의 고조파 발생전류에 대한 변전소 유입고조파 전류로 정의된다. 대책설비가 없는 경우에 대하여 전기철도 시험계통간의 고조파 확대율 계산결과를 그림 3.에 보인다.

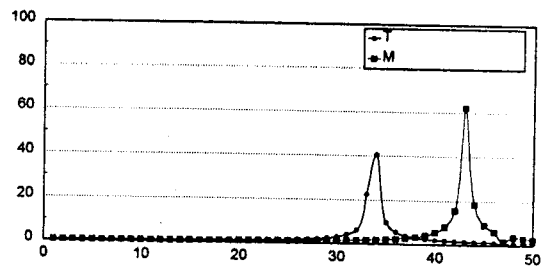


그림 3. 시험계통의 고조파 공진특성

그림 3의 결과에서 고조파 공진특성을 정리하면, 급전거리가 상대적으로 큰 T상측이 M상측보다 저차에서 공진이 발생되었으며 그 확대율은 급전거리가 상대적으로 작은 M상측이 더 크게 계산되었다. 이런 추이는 종래의 문헌에서와 동일한 결과로써, 급전거리가 길수록 고조파 전류확대율은 작아지나 저차조파에서 공진이 발생되어 신호 계통등에의 장애 개연성이 있음을 말해주고 있다. 본 시험계통의 경우에는 비교적 고차조파(30조파 이상)에서 고조파확대 현상이 크게 일어나고 있다. 따라서 고조파에 대한 전용대책설비인 RC뱅크를 설치할 필요가 있다.

### 3.4 고조파 대책설비(RC뱅크)의 위치 결정

시험계통의 RC뱅크 최적위치와 관련하여 RC뱅크 위치에 따른 고조파 해석을 수행하였다. RC뱅크의 파라미터를 철도형 AT급전방식에서 사용하고 있는  $750\Omega$ ,  $0.18\mu F$ 로 두고 시험선구의 T상에 대하여 해석한 결과를 그림 4에 보인다.

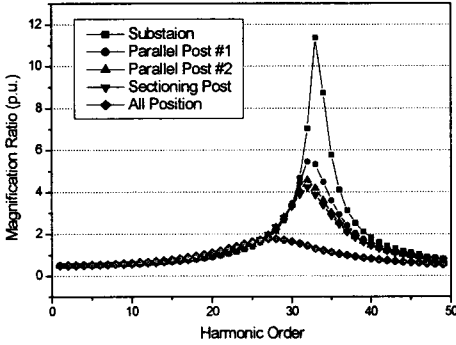


그림 4. RC 뱅크의 위치에 따른 고조파 해석(T상측)

그림 4.의 고조파해석 결과, RC 뱅크의 위치에 따른 고조파 저감효과는:

- 1) 모든 지상개소의 RC Bank ( 4대 )
- 2) 급전구분소의 RC Bank ( 1대 )
- 3) 병렬급전소(#2)의 RC Bank ( 1대 )
- 4) 병렬급전소(#1)의 RC Bank ( 1대 )
- 3) 변전소의 RC Bank ( 1대 )

의 순서로 계산되었다.

또한 시험선구의 M상에 대하여 위와 동일한 조건에서 해석한 결과를 그림 5.에 보인다.

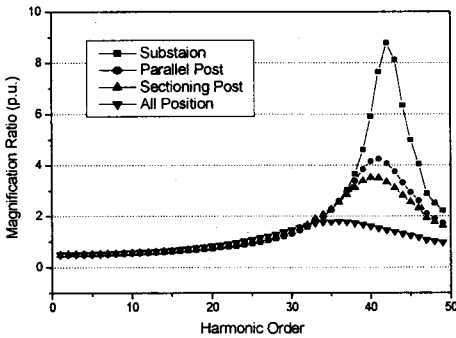


그림 5. RC 뱅크의 위치에 따른 고조파 해석(M상측)

그림 5.에서, RC 뱅크의 위치에 따른 고조파 저감효과는

- 1) 모든 지상개소의 RC Bank ( 3대 )
- 2) 급전구분소의 RC Bank ( 1대 )
- 3) 병렬급전소의 RC Bank ( 1대 )
- 4) 변전소의 RC Bank ( 1대 )

의 순서로 나타났다.

이상의 계산결과를 분석하여,

- 1) 모든 지상개소에 RC뱅크를 설치하는 대안은 비경제적임(4대소요).
- 2) 변전소에 설치하는 대안은 비효과적임
- 3) 급전구분소에 설치하는 대안이 경제적이면서도 효과적

이라는 결론을 얻을 수 있었다.

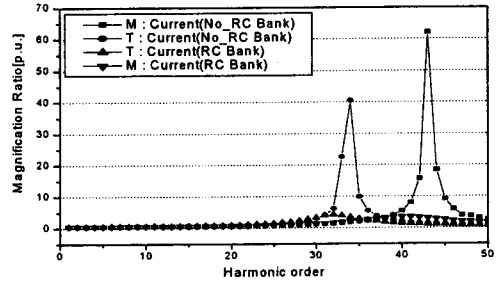


그림 6. 급전구분소에 RC Bank 설치 전후 비교

그림 6.에서 RC뱅크가 설치되지 않은 상태에서 M상과 T상의 고조파 확대율이 약 60배, 40배 정도였으나 급전구분소에 RC뱅크를 설치한 후에는 그림에 나타난 것처럼 약 4배 정도로 축소되었다. 결국, RC뱅크를 급전구분소에 설치함으로써 경제적이면서도 효과적으로 고차고조파를 억제할 수 있었다.

### 4. 결론 및 향후 연구계획

본 연구에서는 10단차회로망 모델이론을 바탕으로 공동접지방식의 급전계통을 구성하여 이에 대한 고조파확대현상을 분석하였다.

RC뱅크를 모든 지상개소에 설치하는 대안은 비경제적이며 변전소에 설치하는 대안은 비효과적이다.

결국, 고차고조파에 대한 대책설비로 RC뱅크는 급전구분소에 설치하는 것이 고조파억제 측면과 경제성측면에서 가장 효과적임을 제안하였다. 향후에는 본 연구의 결과를 이용하여 RC 파라미터 설계가 이루어져야 한다.

#### (참고문헌)

- [1] 오광해, 이한민, 장상훈, "경부고속철도 시험선로의 고조파 해석을 위한 10단차 회로망 모델", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계부문학술대회 논문집, pp.429-432, 2001.4
- [2] Yoshifumi Mochinaga, "Higher Harmonics Resonance on AT Feeding Circuit and Countermeasures to Suppress it", T.IEE Japan, Vol. 114-D, No. 10, 1994
- [3] Joachim Holtz and Heinz-jürgen Klein, "The Propagation of Harmonic Currents Generated by Inverter-Fed Locomotives in the Distributed Overhead Supply System", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 4, No. 2, 1989