

전기철도에서의 고조파 평가지수 검토

이장무*, 한문섭*, 안영훈**
*한국철도기술연구원, **철도청

Investigation of harmonic evaluating factor in electric railroad.

Lee Changmu*, Han Moonseub*, Ahn YoungHoon**
*Korea Railroad Research Institute, **Korea National Railroad

Abstract - Most of the substations, which had been constructed so far, only took into account the current distortion as an evaluation factor for harmonics. There is, however, growing tendency for the currently constructed substations to construct transmission lines in an underground way. Therefore, the overhaul investigation on the psophometric current is all the more necessary. In this study, the harmonic current, the current distortion and the psophometric current, which flow into the substation in accordance with a feeding system and the number of trains in operation are investigated and compared based on the six-port analysis method of feeding system, which has been proposed.

1. 서 론

우리나라에서의 154kV급에 대한 고조파 규제는 한국 전력의 전기공급규정에서 전압왜형을 항목에 대한 기준을 정하여 실시하고 있으며, 지중송전선로가 있는 변전소에서 공급할 경우 추가로 등가방해전류에 대한 기준을 적용하고 있다. 지금까지 건설된 대부분의 철도급전변전소의 경우 한국전력으로부터 가공선로를 통하여 송전받고 있어 고조파 평가지표로서 전압왜형만을 고려하였으나, 최근 들어 건설되고 있는 철도변전소의 경우 송전선로 지중화의 경향을 보이고 있어 등가방해전류에 대한 검토가 필요한 실정이다.

차량이 급전구간을 운행할 때 차량에서 발생하는 고조파는 급전선로를 따라 공진·확대되어 전철변전소로 유입된다. 이러한 차량의 고조파 전류는 급전선로의 구성과 급전구간에서의 차량의 운행 대수에 따라 변전소로 유입되는 고조파 전류가 다르며 또한 전철변전소에서의 전압왜형률과 등가방해전류가 다르게 된다. 또한 차량에서 발생하는 고조파 전류가 클 경우 또는 차량에서 발생하는 고조파 전류의 크기가 작다하더라도 고조파 전류가 변전소로 유입되는 선로를 따라 공진 확대되거나 급전구간 내에 여러 대의 차량이 운행할 경우 각 차량에서 발생하는 고조파 전류가 선로를 통하여 중첩 확대되어 변전소로 유입되어 고조파 평가기준을 초과할 가능성이 있다.

따라서 본 연구에서는 이전에 제안한 전철급전계통 6단자 해석방안을 기초로 하여 급전계통, 차량 운행대수에 따라 변전소로 유입되는 고조파 전류, 전압왜형률 및 등가방해전류를 구하여 비교 검토하였다.

2. 본 론

2.1 고조파 평가지표 및 기준

우리나라에서는 고조파 규제에 관한 기준을 전력공급회사인 한국전력공사 전기공급규정에서 규정하고 있으며 고조파 규제항목으로는 전압왜형률과 등가방해전류를 규정하고 있다.

2.1.1 전압왜형률

전압왜형률은 모든 고조파에 의한 열 효과를 정량화한 것으로 비정현파 전압에서 기본파 전압에 대하여 고조파 성분의 포함정도를 나타내는 고조파 지표이다.

$$D = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{V_n}{V_1} \cdot 100 \right)^2} \quad (\%)$$

국내에서는 한국전력 전기공급규정에서 154kV계통 전압에 대하여 전압왜형률 1.5%이하로 규정하고 있다.

2.1.2 등가방해전류

등가방해전류는 통신장애에 관한 지표로서 전력계통이 통신회로에 미치는 장애영향을 평가하는 방법이다.

전화기는 사람의 청각과 같이 1kHz에서 최고 값을 갖는 민감성을 가지고 있으며 고조파 발생에 대한 전화기의 반응과 사람의 청각과의 관계를 이용하여 각 고조파에 의해 발생한 장애에 대해 합리적인 표현방법을 얻기 위하여 ITU(국제전기통신연합)에서 규정하는 등가방해전류를 전기철도에 적용한다.

등가방해전류는 다음과 같이 산출한다.

$$J_P = \sqrt{\sum (S_{fm} \cdot I_n)^2} \quad (A)$$

여기서 S_{fm} 은 잡음평가계수로 아래 그림과 같다.

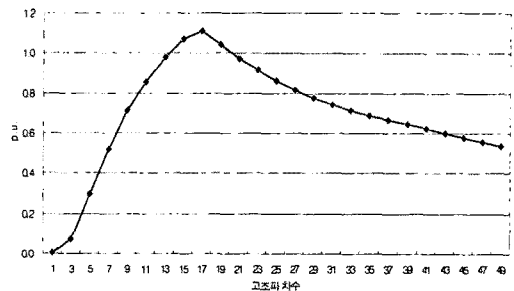


그림 1 등가방해전류 잡음평가계수

국내에서 등가방해에 대한 기준은 한국전력 전기공급규정에서 정하고 있으며 154kV계통전압으로 지중선로가 있는 변전소에서 공급하는 경우 3.8A이하로 규정하고 있다.

2.2 철도전기기관차의 고조파

국내의 전기철도에서 운행하고 있는 기관차에서 발생되는 고조파를 측정하였으며 이로부터 부하전류, 전압왜형을 및 등가방해전류와의 연관관계를 추론하고자 한다. 산업선에서 운행하고 있는 기존의 8000대 위상제어 전기기관차와 신규 도입예정인 8100대 VVVF제어 전기기관차를 대상으로 고조파 검토를 수행하였다.

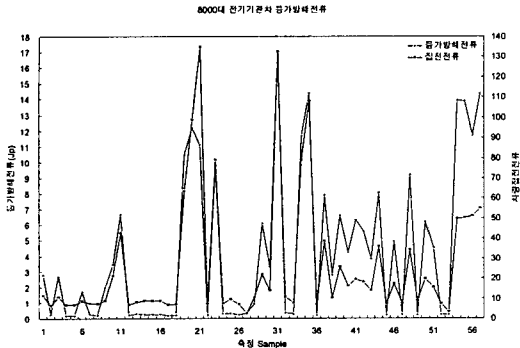


그림 2. 8000대 전기기관차 등가방해전류

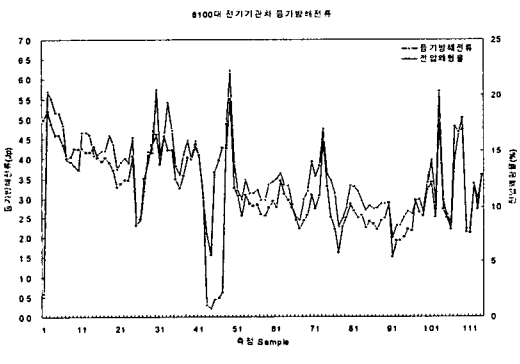


그림 3. 8100대 전기기관차 등가방해전류

그림 2는 기존의 8000대 전기기관차에서 측정된 부하전류와 등가방해전류와의 관계를 나타낸 그래프이다. 위의 그림으로부터 위상제어방식의 전기기관차의 경우 차량의 등가방해전류는 부하전류에 비례하여 커짐을 알 수 있다. 등가방해전류는 각 차수별 고조파에 조파별 지수를 곱하여 산출되는 값으로 고조파 전류에 비례한다고 볼 수 있다. 따라서 위상제어방식을 사용하는 기존의 8000대 전기기관차는 차량의 부하전류가 커짐에 따라 발생하는 고조파 전류도 커진다는 것을 알 수 있다. 그러나 차량의 전압왜형율은 부하전류와 별다른 관계가 없는 것으로 나타났다.

그림 3은 신형 8100대 VVVF제어방식의 전기기관차에서 측정된 그래프이다. 신형 전기기관차의 경우 차량의 부하전류와 등가방해전류, 부하전류와 전압왜형율과는 별다른 관계가 없는 것으로 측정결과 나타났으며 대신 그림 3과 같이 차량의 등가방해전류와 전압왜형율이 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 차량에서 발생하는 고조파 전류가 전압왜형율과 동일한 패턴을 가지고 있음을 의미한다. VVVF제어방식의 신형전기기관차의 경우 고조파 전류는 부하전류에 관계없이 집전전압의 고조파 패턴에 비례하여 발생함을 알 수 있으며, 전원의 품질이 우수한 경우 즉 전원에 고조파성분이 없을 경우 차량에서 발생하는 고조파 전류도 없음을 알 수 있다.

그림 4는 전기기관차에서 발생하는 고조파 전류를 나

타낸 것으로 기존의 위상제어 전기기관차에 비교하여 신형 VVVF제어 전기기관차에서 발생하는 고조파 전류가 아주 작음을 알 수 있다. 따라서 고조파 관점에서 보았을 때 VVVF제어방식의 전기기관차가 훨씬 더 우수한 것으로 보여진다.

전기기관차 고조파 발생량

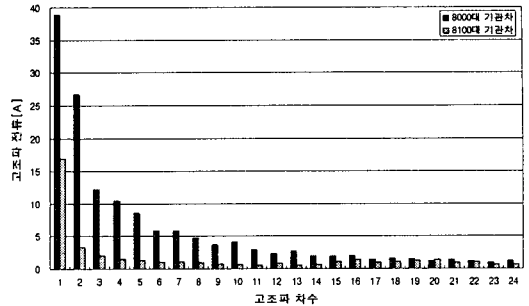


그림 4. 전기기관차 고조파 전류 발생량

2.3 변전소 유입 등가방해전류

전기철도시스템에서 주요 고조파 전류 발생원은 전기차량이며, 전기차량에서 발생한 고조파 전류는 선로를 따라 공진 확대되어 변전소로 유입된다. 차량에서 발생하는 고조파 전류가 클 경우 또는 차량에서 발생하는 고조파 전류의 크기가 작더라도 고조파 전류가 변전소로 유입되는 선로를 따라 공진 확대되거나 급전구간 내에 여러 대의 차량이 운행할 경우 각 차량에서 발생하는 고조파 전류가 선로를 통하여 중첩 확대되어 변전소로 유입되어 고조파 평가기준을 초과할 가능성이 있다.

따라서 다양한 급전방식별로 급전구간을 운행하는 차량의 수에 따라서, 차량에서의 고조파 전류의 변화 즉 차량의 등가방해전류의 변화에 따른 변전소 수전측의 등가방해전류의 변화를 계산하여 볼 필요가 있다.

시뮬레이션에 사용한 고조파 전류 데이터는 청량리~동해구간을 운행하는 신형 전기기관차에서 측정하여 등가방해전류로 환산한 후 크기에 따라 정렬한 값이다.

2.3.1 단선선로에서의 등가방해전류

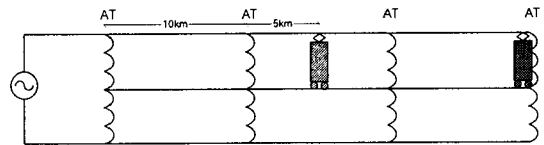


그림 5. 단선선로 고조파 확대율 모델(차량 2대)

그림 5와 같이 급전거리 30km, AT간격 10km인 단선 전차선로에서 ①차량이 급전구간 말단에 1대만 운행하는 경우와 ②차량이 급전구간 중간과 말단에 1대씩 운행하는 경우에 대하여 차량에서 발생하는 등가방해전류에 따라 변전소 수전측에서의 등가방해전류를 계산하였다.

차량의 등가방해전류에 대한 수전측의 등가방해전류 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타내었다.

① 차량이 1대만 있는 경우, 차량의 J_p 가 3.0A인 경우 수전측에서의 J_p 는 최대 3.74A로 계산되었으며 이는 한국전력의 등가방해전류 기준치를 만족시키고 있다.

② 차량이 2대가 운행하는 경우, 차량에서 발생하는 J_p 가 1.85A이하인 경우 수전측의 J_p 는 최대 3.71A로 기준치 이내에 있지만, 차량의 J_p 가 1.9A인 경우 수전

측의 J_p 가 3.93A가 되어 기준치를 초과하게 된다.

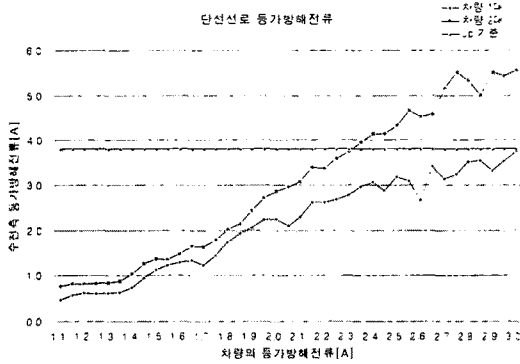


그림 6. 수전측 등가방해전류 - 단선선로

2.3.2 복선선로에서의 등가방해전류

복선선로에서의 등가방해전류를 계산하기 위하여 그림 7과 같은 급전거리 30km, AT간격 10km인 복선 급전구간에 대하여 ①차량이 급전구간 말단 상선에 1대만 운행하는 경우, ②급전구간 말단 상/하선에 각 1대씩 2대가 운행하는 경우와 ③급전구간의 중간 상/하선 및 말단 상/하선에 각각 1대씩 총 4대가 운행하는 경우로 나누어 변전소 수전측에서의 등가방해전류를 계산하였다.

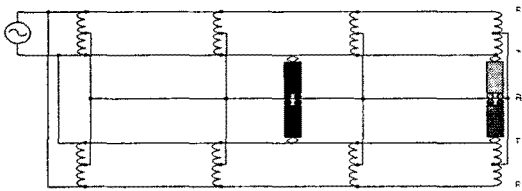


그림 7 복선선로 고조파 확대율 모델

차량의 등가방해전류에 대한 수전측의 등가방해전류 시뮬레이션 결과를 그림 8에 나타내었다

- ① 차량이 급전선로 말단에 1대만 운행할 경우, 차량의 J_p 가 3.0A인 경우 수전측에서의 J_p 는 최대 2.78A로 기준치를 만족한다.
- ② 차량이 급전선로 말단 상/하선에 1대씩 운행할 경우 차량의 J_p 가 2.30A인 경우 수전측의 J_p 는 3.75A로 기준을 만족하나 차량의 J_p 가 2.35A이상인 경우 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

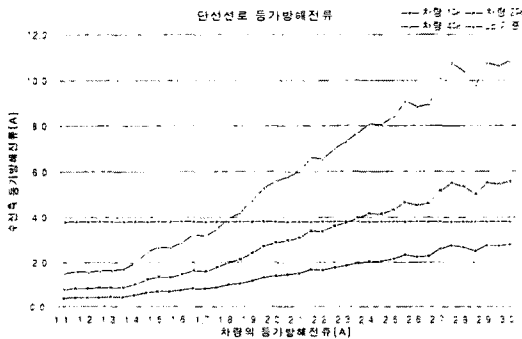


그림 8. 수전측 등가방해전류 - 복선선로

- ③ 차량이 급전선로의 중간 상/하선 및 말단 상/하선에

각각 1대씩 운행하는 경우 차량의 J_p 가 1.75A이하인 경우 수전측의 J_p 는 3.47A로 기준을 만족하나 차량의 J_p 가 1.8A를 넘는 경우 수전측의 J_p 는 3.94A로 기준을 초과하게 된다.

3. 결 론

국내에서의 고조파에 대한 규제는 154kV에서 전압왜형률 1.5%이하, 등가방해전류 3.8A이하로 규정되어 있다. 지금까지의 철도에서의 고조파 대책은 주로 전압왜형률만을 고려하여 수립되어 왔으나 송전선로가 지중선로의 추세에 있음으로 등가방해전류에 대한 검토가 이루어져야 한다.

발생원 측면에서 한전 인출점에서의 등가방해전류 기준을 만족하기 위한 차량의 등가방해전류의 크기를 시뮬레이션 한 결과 차량의 등가방해전류가 1.8A 이상인 경우 기준을 초과하는 것으로 나타났으며 이는 차량의 고조파 전류가 선로를 통하여 확대되어 변전소로 유입되기 때문이다.

그러나 이 값은 시뮬레이션 조건에 따라 바뀌어 질 수 있으므로 차량에서의 고조파 기준을 설정하기 위하여는 정밀한 검토가 이루어져야 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국철도기술연구원, "고속전철 서울-대전구간 고조파, 전압불평형, 역률 예측계산 및 대책설계", 1999
- [2] 오광해 외, "경부고속철도 시험선구간의 고조파 예측 및 측정분석", 한국철도학회, 춘계학술대회논문집, pp100-107, 2000
- [3] 이장무 외, "고속철도의 급전계통 구성에 따른 고조파 확대율 비교검토", 대한전기학회, 하계학술대회논문집 B권, pp1402-1404, 2000
- [4] 오광해 외, "Harmonic Analysis Based on Four-port Representation for Traction Power Supply System", ICEE Proceedings, pp165-168, 2000
- [5] 한국철도기술연구원, "전철화구간의 전자기파·고조파 영향 및 대책에 관한 연구용역", 2002