

## 철도차량용 주변압기 돌입 여자전류 특성 분석

조현우\*†, 한정수\*, 박영호\*, 최열준\*

**초 특** 철도차량용 주변압기는 일반부하용 변압기와 다르게 잦은 MCB(Main Circuit Breaker) 투입이 실시 된다. (일반부하용 변압기의 경우 주기적인 유지보수 시에만 MCB on/off 가 대략 2~3년에 한번 실시되나, 철도차량용 주변압기의 경우 매일 실시) 또한 가선 전압의 변동이 일반변압기보다 크며, 투입전압의 위상이 고압 투입 시점에 따라 변하게 된다.

본 논문에서는 철도차량용 주변압기에 투입되는 전압의 크기와 위상에 따른 돌입여자 전류의 값의 측정을 통해 철도차량용 주변압기 돌입 여자전류의 특성을 파악하여 향후 철도차량용 주변압기 손상 및 전력계통에 악영향을 미치는 것을 보호하고자 한다.

**주요어** : 철도차량용 주변압기, 돌입여자 전류, INRUSH CURRENT, MCB(Main Circuit Breaker)

### 1. 서론

철도차량에 사용되는 주변압기는 일반변압기와는 다르게 추가적으로 고려해야 할 요인들이 있다. 그 중에서도 최초 주변압기에 전원 투입 시 발생하는 돌입여자 전류(INRUSH CURRENT)는 외부요인인 전압의 크기에 따라 변화를 한다. 철도시스템에서는 가선전압이 일정하지 않으며 일반 변압기와 철도차량용 주변압기에는 잦은 MCB 투입을 통해 하루에도 수차례의 돌입여자 전류가 흐르게 된다. 제작된 주변압기에 대해 시험을 통해 돌입여자전류의 전압에 대한 미치는 영향에 대해 확인하고 주변압기 설계시 정격에서의 돌입여자전류만을 고려하는 것이 아닌 가선전압의 최고값에서 사전 검토를 통해 주변압기의 건전성을 확보하고자 한다.

† 현대로템(주) 전장품개발팀(by.yu@hyundai-rottem.co.kr)

\* 현대로템(주)

## 2. 본 론

### 2.1 주변압기 돌입여자 전류

#### 2.1.1 돌입 여자전류의 현상

변압기의 여자전류는 대체로 정격전류의 1~5% 정도이며, 정상운전 상태에서의 여자전류는 아주 적어서 문제가 되지 않으나, 변압기에 전원을 투입하면 회로의 저항분, 와전류 (Eddy current), 히스테리시스(Hysteresis), 전압의 위상, 변압기의 자기적 포화, 잔류 자기의 정도에 따라 돌입 여자전류 값은 정상상태 값의 수배 또는 수십 배에 달하는 경우가 발생한다.

#### 2.1.2 전압의 크기에 대한 돌입 여자전류 값

주변압기의 돌입 여자전류를 구하는 수식은 식(1) 와 같으며, 돌입여자전류는 권선의 턴 수와 철심의 단면적에 비례하며 철심의 자속밀도에 영향을 받는다. 또한, 철심 자속밀도를 정하는 식(3)와 같이 철심의 자속밀도는 전압에 비례하고 주파수에 반비례 함을 알 수 있다. 따라서 제작이 완료된 변압기에 대해 외부 입력전압의 변화에 의해 전압의 크기에 따라 변하는 것을 알 수 있다.

$$i_{max} = \frac{N \times (\Phi_r + 2\Phi_{rk} - \Phi_g)}{L_0} = \frac{N \times S \times (B_r + 2B_{rk} - B_g)}{L_0} \quad (1)$$

**N** : 권선 턴수  
**S** : 철심 단면적  
**B<sub>m</sub>** : 설계된 철심 자속밀도  
**B<sub>r</sub>** : 철심 잔류 자속밀도  
**B<sub>s</sub>** : 철심 포화 자속밀도  
**L<sub>0</sub>** : 철심 포하시 인덕턴스  
**i<sub>max</sub>** : 돌입 여자전류

$$\Phi_m = \frac{E}{\sqrt{2} \pi f N} \quad (2)$$

$$B = \frac{\Phi_{rk}}{S} = \frac{E}{\sqrt{2} \pi f N} \quad (3)$$

**Φ<sub>m</sub>** : 자속량  
**E** : 전압  
**f** : 주파수  
**B** : 철심 자속 밀도

## 2.2 주변압기 돌입 여자전류 측정

### 2.2.1 개요

대상 변압기 사양은 단상 60Hz 6200kVA 25kV 이며, 가선전압의 최고값은 31kV 로 고려하여 25kV, 27.5kV 29kV, 30kV, 31kV 에서 각각 시험을 실시하기로 계획 되었다.

하지만, 해당시험에 해외 시험기관에서 진행하였으며, 시험여건에 의해 50Hz에서 실시하였다. 주파수는 자속밀도에 반비례하며 전압의 변경 목적이 자속의 변경에 따르기에 환산을 하여 시험전압을 설정하였다.

- 최초 설정 주파수 및 전압 : 60Hz / 25kV, 27.5kV, 29kV, 30kV, 31kV
- 환산된 설정 주파수 및 전압 : 50Hz / 20.8kV, 22.9kV, 24.2kV, 25kV, 25.8kV

시험은 돌입 여자전류의 최대값을 확인하기 위해 투입전압의 위상은 'o' 에서 실시 되었다.

하기 그림은 시험 회로도 이며 U\_primary 에서 테스트 전압이 조정 되었으며 I\_primary 에서 돌입 여자전류를 측정하였다.

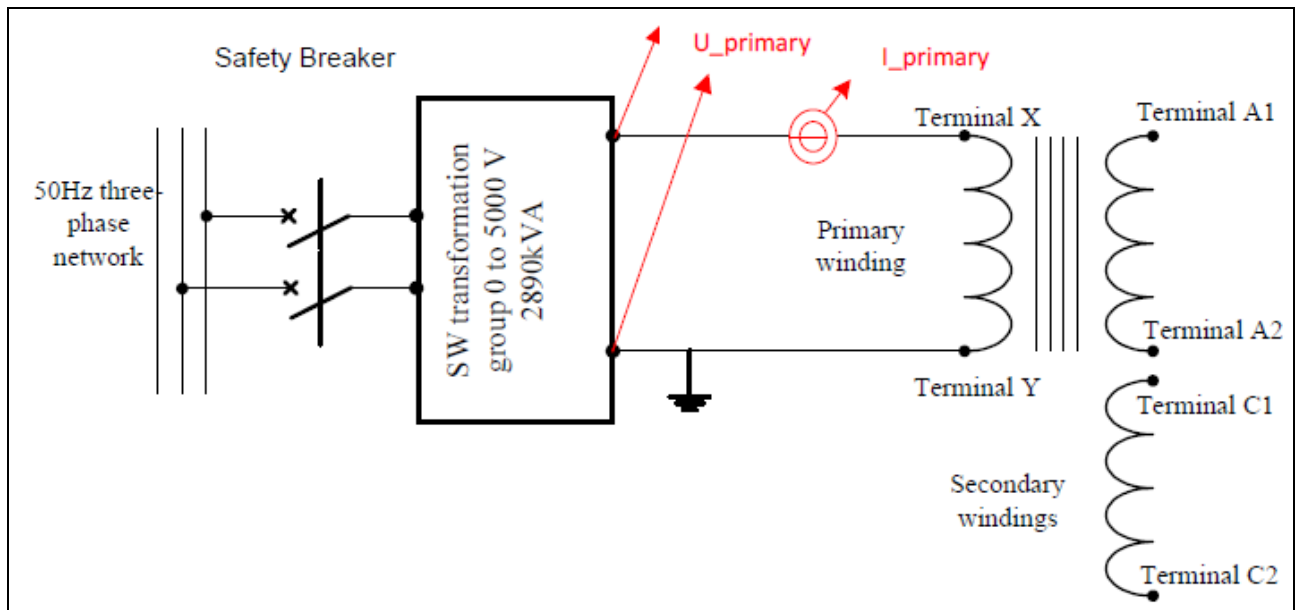


그림 1. 시험 회로도

### 2.2.2 시험 결과

시험결과는 표(1)와 같이 측정이 되었다.

	설정전압(kV) at 60Hz	투입전압 (kV) at 50Hz	돌입여자전류 (A)	비고
1	25	20.79	213.2	
2	27.5	22.88	456.9	
3	29	24.17	513.6	
4	30	25.05	653.3	
5	31	25.82	687.3	

표(1) 전압에 따른 돌입여자전류 측정 값

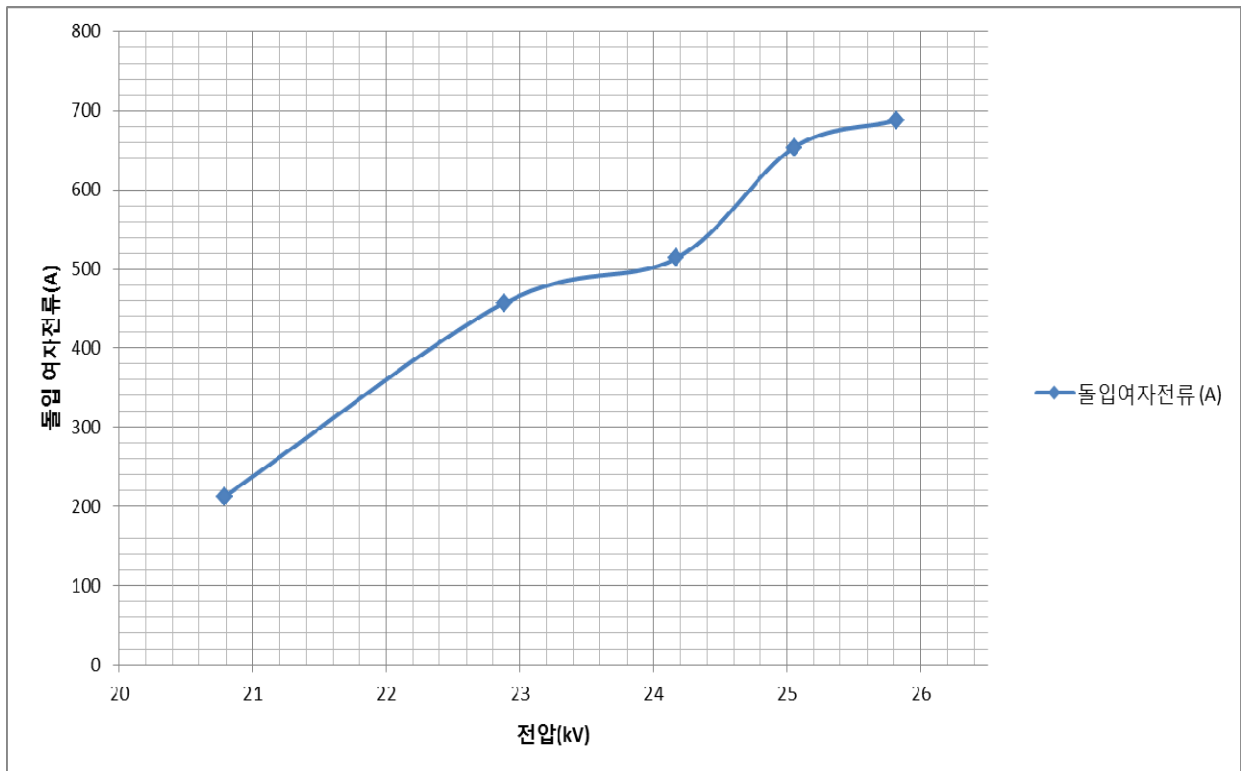


그림 2. 전압-돌입여자전류 그래프

투입전압 최고값인 25.82kV(설정전압 31kV) 에서 최대 687.3A 의 돌입 여자전류가 흘렀으며, 전압에 따라 돌입여자 전류가 커지는 것을 확인 할 수 있었다.

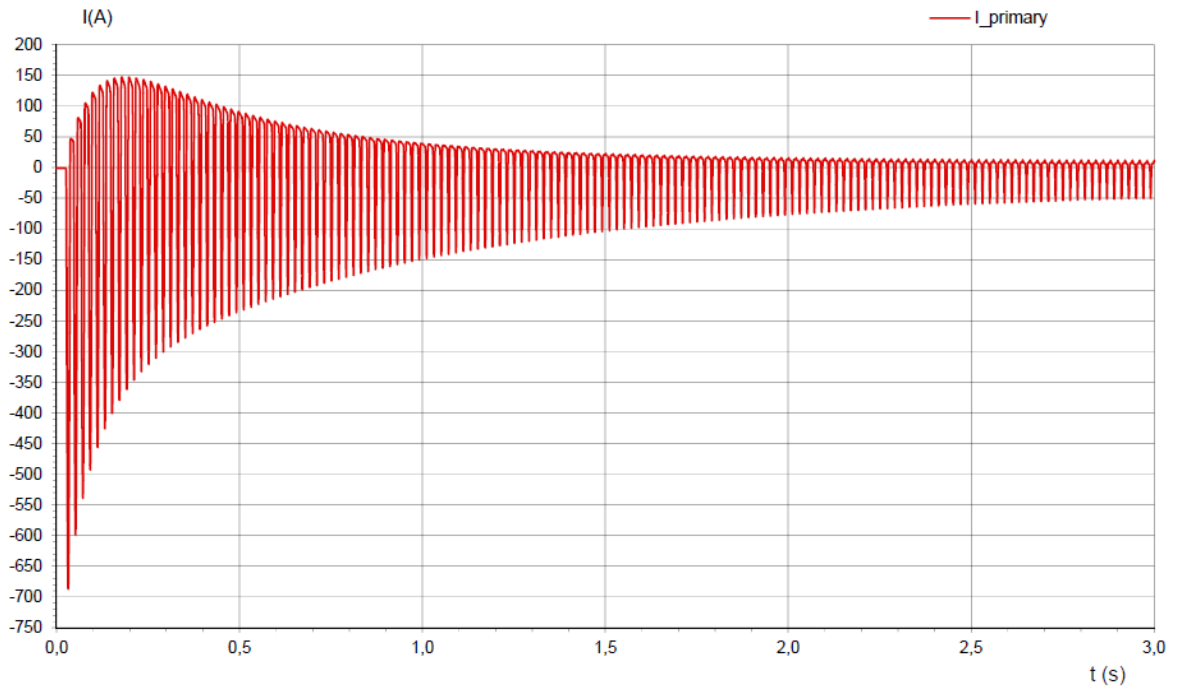


그림 3. 25.82kV 투입시 여자전류 전체 그래프

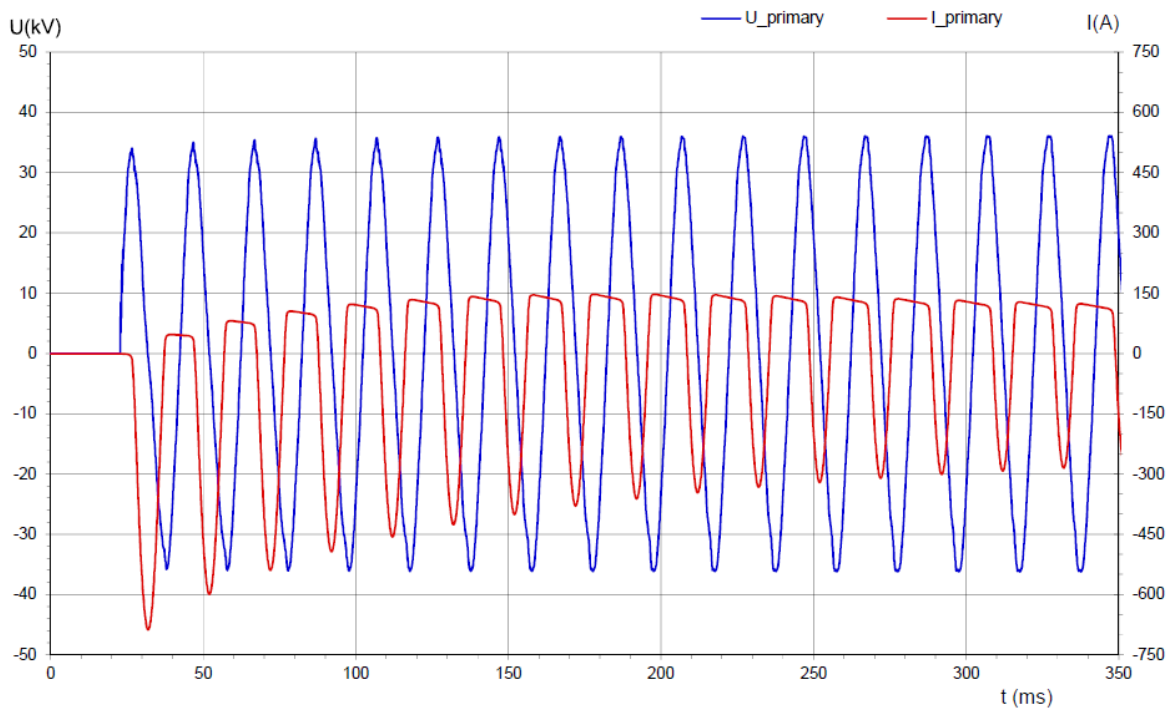


그림 4. 25.82kV 투입시 여자전류 확대 그래프

### 3. 결 론

이번 시험으로 정격전압의 24% 높은 과전압 투입 시 돌입여자전류 값은 약 320% 증가함을 알 수 있었으며, 전압의 상승값에 비해 돌입여자전류 값은 크게 증가 하였다.

따라서 전압변동률이 높은 철도시스템에서는 가선전압 최대값에서의 돌입여자전류 값을 반영하여 설계가 되어야 하며, 돌입 여자전류를 저감 설계방법으로 철심의 단면적을 키워 자속밀도를 낮추고 V/T(Volt per Turn) 값을 높여 설계 하거나 권선의 턴수를 낮추어 설계 한다면 과전압 시에도 돌입여자전류로 인한 주변압기 손상을 막을 수 있을 것이다.

대상 변압기는 국내 고속철도차량에 탑재되는 변압기로 국내 가선전압 최대값은 29 kV 이며 순시 최대전압이 30kV 임을 고려할 시 대상 변압기의 설계는 적절하였음을 확인 할 수 있었다.

### 후 기

향후에는 시험전압 위상에 따른 돌입여자전류 측정을 통해 위상제어를 통한 돌입여자 전류 저감의 효과를 입증하고자 한다.