

로고스키 코일을 이용한 액체 질소 내에서 전류측정

최용선*, 차상도, 황시돌, 최효상
한전 전력 연구원 신에너지 그룹

Current measurement in LN2 using Rogowski coil

Advanced Energy & Tech. Group, Korea Electric Power Research Institute
Yong-Sun Choi, Sang-Do Cha, Si-Dole Hwang, Hyo-Sang Choi

hanalam@kepri.re.kr

Abstract - When superconductors are combined with normal conductor as a parallel electric circuit, imbalance of the applied current is happened. For the accurate parameters of the circuit, it is needed to measure the current of the circuit under LN2 condition. In this case, the measurement using Rogowski coil, which is not that affected by changing temperature, can be a method. In this study, using 2 Rogowski coil, the measurement of current was conducted under the condition that is room and LN2 temperature respectively.

1. 서 론

초전도체를 이용하여 전력기기를 제작할 경우 초전도체를 병렬로 연결하는 구조가 발생한다. 예로 초전도 저항형 한류기는 전류 용량을 상승시키기 위하여 초전도 한류소자를 병렬로 연결하며 초전도 케이블은 초전도 선재를 병렬구조로 연결하여 송전전류 용량을 증대시킨다. 이때 초전도체가 병렬 연결된 구조에서 상전도체와 연결된 부분의 미세한 저항차이로 각 병렬 회로에 흐르는 전류는 저항값에 반비례하게 된다. 한쪽으로 편중되어 흐르는 전류가 초전도체의 임계전류 이상이 되면 켄치되어 초전도성을 잃게 된다. 따라서 초전도 전력기기의 각 병렬회로의 특성을 분석하기 위해서 액체질소 내의 각 분로에 흐르는 전류를 측정해야 한다.

각 분로의 교류 대전류를 측정하는 방법으로는 교류대전류 분류기, 변류기, 홀소자형 변류기, 펄스대전류 고주파 분류기, Rogowski Coil 같은 변환장치를 사용한다. 물질의 저항과 투자율은 상온에서의 특성과 극저온에서 특성이 다르기 때문에 앞에서 언급한 변환장치 중 일부는 액체질소 속에서 측정된 값은 상온에서 측정값과 다르다. 하지만 Rogowski Coil은 전류측정 원리가 온도에 무관하기 때문에 극저온 내에서 전류 측정 변환장치로 적합하다. 또한, Rogowski coil

은 펄스 대전류 측정에 가장 널리 사용되고 있으며 설치가 용이하고 신뢰성, 장기간 안정성이 높고 고주파까지 측정이 가능하다.^[1]

본 논문에서는 실험 회로에 극저온상태와 상온 상태에 Rogowski Coil 두 개를 삽입하여 측정된 결과를 비교하고 유용성을 제시한다.

2. 본 론

2.1 Rogowski Coil의 원리

Fig. 1은 Rogowski Coil을 이용하여 전류를 측정하는 원리를 나타낸 그림이다. 지면 안쪽으로 흐르는 전류 I 에 의해 발생하는 자속 Φ 의 시간적 변화로 기인하는 유도전압 V 를 검출하여 적분함으로써 전류 I 를 측정한다. 작은 원으로 구성된 코일은 자계에 수직으로 배열되어 있고 권수에 따라 전류 측정 범위가 결정된다.^{[2][3]}

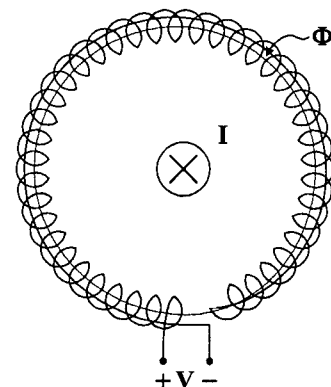


Fig. 1. Schematic diagram of Rogowski Coil

2.2 상온과 극저온에서의 전류 측정 실험

Rogowski Coil의 전류 측정 실험을 위하여 다음과 같은 실험 장치를 구성하였다.

Fig. 2의 실험장치는 단락 실험에 쓰이는 기본 장비로써 SW1이 닫히면 R_L 를 통하여 전류가 흐르고 SW2가 닫히면 단락 전류가 흐르게 된다.

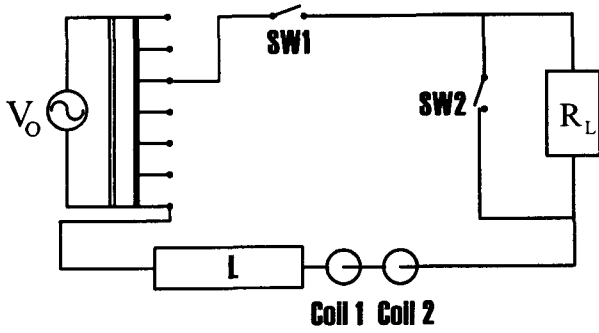


Fig. 2. Experimental set up

Rogowski Coil은 지름이 3cm, 최대 측정 전류가 1600[A]인 기성품을 사용하였다. 실험용도에 따라 L은 통전 전류의 측정을 위해 저항을 사용하였고 단락 사고 전류의 측정을 위해 저항형 초전도 한류기를 사용하였다. 사용된 저항은 1[Ω]을 사용하였으며 저항형 초전도 한류기는 2인치 크기의 YBCO 박막을 이용하였다. YBCO박막의 상온저항은 34[Ω]이며, 임계전류는 약 14[A]이다.

2.2.1 상온에서의 Rogowski Coil

두 개의 Rogowski Coil의 성능 비교를 위하여 먼저 상온에서 실험하였다. 실험 회로에서 L에 저항 1[Ω]을 삽입하고 전류를 200[A_{rms}]로 투입하여 Rogowski Coil에 유도된 전압을 검출하였다. 이때, Coil에 발생하는 노이즈 제거를 위하여 측정 Bandwidth를 500Hz를 주었다. 인가된 전류를 측정하기 위하여 Current Probe를 이용하였다. 실험에 대한 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

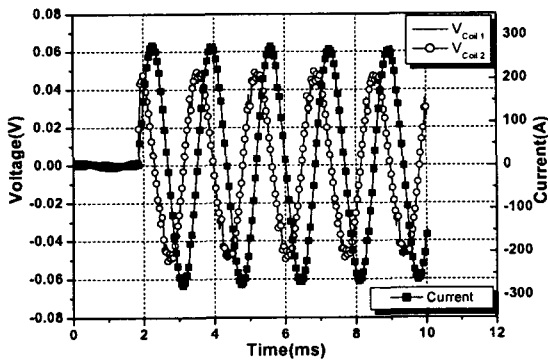


Fig. 3. Voltage measured by Rogowski Coil and CT under the room temperature condition.

Fig. 3에서 나타난 그래프처럼 Rogowski Coil의 출력 값은 인가된 전류의 미분 값으로 나타났고 두 개의 Rogowski Coil의 값이 비슷함을 알 수 있다.

2.2.2 극저온에서의 Rogowski Coil

위의 실험 조건과 같은 설정으로 Coil 1을 액체 질소에 담근 후 Coil에 유도된 전압을 측정하였다.

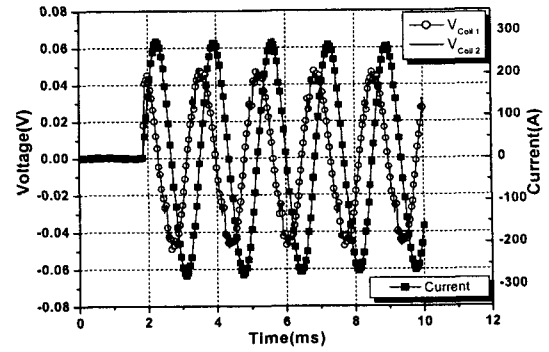


Fig. 4. Voltage measured by Rogowski under the cryogenic temperature Coil and current transformer condition.

Fig. 3과 Fig. 4의 결과로부터 Rogowski Coil에서 측정된 전압이 상온 상태에서 측정된 값과 극저온 상태에서 측정값이 거의 일치함을 알 수 있다. 다만, 기계적으로 보면, Rogowski Coil을 고정하기 위한 물딩체에 균열이 발생되었는데 실험 값에는 영향을 주진 않았다. 상온과 극저온상에서 얻어진 Rogowski Coil의 전압값을 전류로 환산하기 위하여 소프트웨어를 이용하여 적분하였다. 적분된 결과와 인가된 전류의 값을 Fig. 5에 나타내었다.

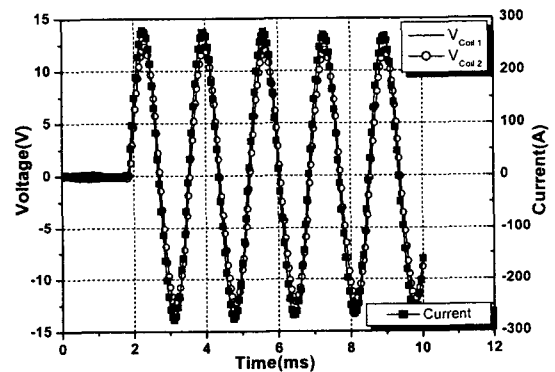


Fig. 5. Comparison of result between integrated value of the measured voltage by Rogowski coil and current measured by CT

두 Coil의 적분된 전류의 Peak 차이는 무시할 정도로 미세하였다.

지금까지의 Rogowski Coil의 극저온에서의 통상적인 전류 측정 방법에 관하여 실험하였다.

2.3 고조파 포함 전류와 Rogowski coil

본 절에서는 Rogowski Coil의 장점 중 고조파 측정에 관한 실험을 수행하였다. 실험을 위해서 Fig. 2의 실험 장치 중 L을 초전도 한류기로 바꾼 후 실험하였다. 이때, Coil 1은 액체 질소에 담그고 Coil 2는 상온 상태에서 측정하였다. 사고 전에는 1[A]를 통전하고 사고 후 200[A]를 5사이클 동안 인가하였다. 한류기의 특성상 제한 전류

를 14A로 한류하는 모습을 Fig. 6에 나타내었다.

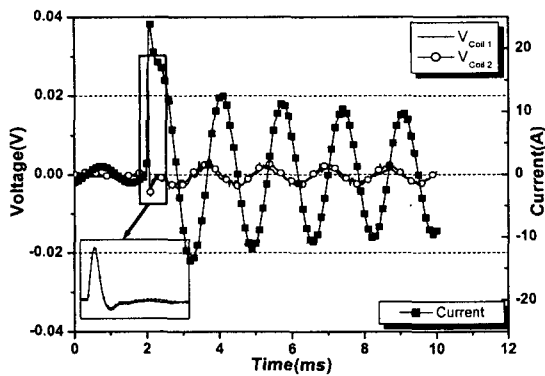


Fig. 6. V-I characteristics involving harmonic wave measured by Rogowski Coil

Fig. 6에서 나타난 결과는 한류기의 사고 발생 시 발생된 전류를 Rogowski Coil이 미분된 형태로 전압이 유도되기 때문에 높은 Peak를 이루고 있다. 이러한 현상은 상온과 극저온에서 똑같은 형태임을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 액체질소 즉, 극저온 상태에서의 전류를 측정 할 수 있는 Rogowski Coil의 특성과 활용 방안에 대해서 알아보았다.

실험결과로부터 Rogowski Coil은 온도와 무관하므로 극저온 상태에서 활용 할 수가 있다.

또한, 로고스키 코일의 출력 값을 처리하는 회로에 따라 통전 전류의 측정과 고조파의 측정이 가능함을 알 수 있다. 이를 위해, 통전 전류의 측정인 경우 적분회로와 이를 디지털화 할 수 있는 A/D 컨버터가 필요로 하고, 고조파 특정을 위해서는 증폭기를 이용한 신호 레벨 디텍터를 부착하면 된다.

이러한 Rogowski Coil의 특징을 이용함으로써 병렬 구조의 초전도 전력기기의 운전 시 액체질소 내에서 각 병렬 회로에 흐르는 전류를 측정 할 수 있다.

(감사의 글)

본 연구은 21세기 프론티어 연구개발 사업인 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] G.R.Turner, I.W.Hofsajer, "Rogowski Coils For Short Duration($<10\mu s$) Pulsed Current(>10 kA) Measurements", IEEE, Vol2, pp759-765, 1999
- [2] W.Rogowski, W.Steinhaus, "Die Messung der magnetischen Spanning Archiv f. elektotegnik" Vol. 1, No. 04,pp 141-150 1912.
- [3] M A Plonus, Applied Electromagnetics. (McGraw and Hill, 1978)