

# 저전류 측정 정밀도 개선형 새로운 혼합형 로고스키 코일 개발

김윤현<sup>1\*</sup>, 김정남<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한밭대학교 전기공학과, <sup>2</sup>동양이엔씨 주식회사

## Development of a New Mixed Rogowski Coil with Improved Low Current Measurement Precision

Youn-Hyun Kim<sup>1\*</sup>, Jung-Nam Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Electrical Engineering, Hanbat University

<sup>2</sup>Dongyang E&C Corporation

**요약** 본 논문은 기존 변류기의 철심이 포화가 되는 문제점과 기존 무철심형 로고스키 코일의 저 전류 시의 어려운 계측과 코일의 턴 수가 많아짐으로써 발생하는 문제점을 해결하기 위해 부피의 증가와 포화의 문제가 없는 무철심형 로고스키 코일의 장점을 유지하고 낮은 전류 범위에서도 충분한 측정 정밀도를 발휘할 수 있는 철심과 공심을 혼합한 새로운 형태의 혼합형 로고스키 코일의 개발을 제안한다. 즉 철심과 공심코어 원리를 사용하여 일반 변류기의 자기포화와 비선형 오차의 한계 영향이 적고 일반적인 로고스키 코일 방식의 저 전류부분에서 선형도가 악화되는 문제를 해결한 최적인 철심과 공심의 비율 및 코일의 형상 설계치를 도출 하고자 한다. 본 논문의 모델은 1,000A 급 전류가 흐를 수 있는 도체를 선정하였으며, 10~1,000A 전류를 인가하였을 때 보빈에 3개의 적층형태로 이루어진 측정코일 모델을 설계하여 유기되는 전압을 측정하여 측정 전류의 정밀도를 비교하고자 한다. 또한 제시한 모델은 유한요소법을 사용하여 코일에 유기되는 전압을 시뮬레이션하고, 시작품을 통해 유기되는 전압파형을 오실로스코프를 이용하여 파형을 측정 하는 실험을 수행하여 제시한 새로운 혼합형 로고스키 코일의 유용성과 전류측정의 정밀성을 검증하고자 한다.

**Abstract** This research proposes to develop a new Rogowski Coil to solve the problem of saturating iron-core of the existing transformer. In addition, the new coil can solve the measurement difficulties during the low-current of the existing air-core Rogowski Coil and the problem caused by the increase in the number of turns of the coil. In other words, we propose to develop a new mixed-type Rogowski Coil that mixes iron and air cores. This mixed coil has the advantages of air-core type Rogowski Coil without increasing volume and saturation. It also exhibits sufficient measurement precision even in a low-current range. For the development of the mixed coil, this research selected a conductor through which a class current of 1,000A may flow. When a 10~1,000A current is applied, a measurement coil model composed of three stack types measures an induced voltage to compare the accuracy of the measured current. In addition, the proposed model uses Finite Element Analysis to simulate the voltage induced in the coil and measures the waveform using an oscilloscope for the voltage waveform induced through the prototype. Hence, the proposed mixed-Rogowski Coil's usefulness and the accuracy of the current measurement are verified by the Finite Element Analysis.

**Keywords** : Rogowski Coil, Air Core, Current Measurement, Magnet Saturation, Finite Element Analysis

---

\*Corresponding Author : Youn-Hyun Kim(Hanbat Univ.)

email: yhyunk@hanbat.ac.kr

Received December 10, 2021

Accepted March 4, 2022

Revised February 14, 2022

Published March 31, 2022

## 1. 서론

현재 산업고도화에 따른 전력부하 증대로 전력기술에 서도 전력 품질 관리, 배전 자동화, 전력설비의 고성능화 등이 요구되고 있다. 이와 같은 기술은 전류, 전압, 위상, 전력 등의 전기량에 대한 정확한 측정이 전제되어야 함은 주지의 사실이며 대전류의 측정에는 분류기, 변류기(CT :Current Transformer), 홀센서, 광 CT 등이 주로 이용되어 왔다[1]. 배전반 및 각종 고압 스위치 기어 등의 전력기기에서 부하전류 및 사고전류를 측정하기 위해 사용되는 가장 일반적인 전류 측정 방법은 강자성체 철심을 이용한 변류기로 자기포화현상, 히스테리시스 현상으로 인한 철손 등 철심이라는 물질 자체가 가지는 물리적 특성에 따라서 전류측정 범위가 높아지면 측정오차를 벗어나서 사용 중에 오동작의 문제를 일으킬 수 있으며 사용자 실수에 의한 변류기 2차 개방으로 과포화되어 과전압 및 폭발 등 제품 소손의 위험성을 가지고 있다. 또한 포화를 방지하기 위해서는 충분한 철심량을 사용하지면 전체적인 변류기의 체적이 증대하여 변류기를 수납하는 배전반 등 전력기기의 부피가 증가하고 가격적인 문제점을 갖게 된다.

따라서, 현재 전력산업의 구조에 따른 전력기기의 소형화, 경량화의 필요성에 의해 기존 변류기의 단점을 보완할 수 있는 새로운 전자 CT로 가벼우면서도 포화도 되지 않고, 소정의 오차 범위이내에서 보다 광범위한 측정 범위를 갖는 전류센서로 무철심형 전류센서 즉, 로고스키(Rogowski)코일을 이용한 공심형 CT가 주목받고 있다. 이러한 로고스키 코일은 자성체인 철심을 사용하는 일반 변류기와 달리 공심이거나 비자성재료를 사용 않기 때문에 자기적으로 포화하지 않으며 30A~100,000A 까지 매우 넓은 전류 영역까지 선형적 측정이 가능하고 무한대 전류를 관통시켜도 포화가 되지 않아 2차측 개방에 따른 과전압 유기 및 폭발의 문제가 없다. 또한 이런 특성상 상당한 양의 철심을 사용하지 않아 부피가 작고 중량이 가벼우며 권선으로 구성된 코일의 외피를 절연하는 구조만 가지고 있으면 되고 특히 구조가 간단하여 생산 가격적으로 저렴한 장점이 있다[2,3]. 이러한 이유 등으로 소형 경량화 구조의 대전류 측정용 응용인 대전류 방전장치, 플라즈마 발생장치, 낙뢰 전류 검출 등 순간적인 펄스 형태의 대전류 측정을 필요로 하는 장치에 효과적으로 적용된다. 그러나 무철심형 전류센서, 즉 무철심형 로고스키 코일은 철심을 사용하지 않기 때문에 저 전류 영역에서 실제 출력 신호는 노이즈 신호수준으로 매우

미세하여 측정 오차가 크기에 전력요금의 기초가 되는 정확한 전력 측정이나 계통의 안전을 위한 정확한 차단 시점을 위해서는 전류 측정의 정밀도가 중요하나 무철심형 로고스키 코일은 이러한 전력기기에서의 응용에 약점을 가지고 있어 여러 장점에 의한 필요성은 느끼고 있으나 펄스형 대전류 측정 외에 실제 전력기기의 응용에의 활용도는 미약할 수밖에 없는 한계를 갖고 있다. 또한 기존의 연구도 펄스형 낙뢰, 방전 전류의 측정 응용에서 측정 정밀도나 주파수에 따른 임피던스 특성에 따라 측정 전류의 주파수 제한을 극복하는 연구에 치중하고 있다 [4,5]. 반면 배전계통, 전력기기의 전류 측정 응용에는 연구가 극소수에 불과하다[6]. 따라서, 본 논문은 위에 상기된 무철심형 로고스키 코일의 문제점을 해결하기 위해 부피의 증가와 포화의 문제가 없는 무철심형 로고스키 코일의 장점은 유지하고 무철심형 로고스키 코일보다 현저히 적은 측정 코일 턴 수도도 낮은 전류 범위에서 충분한 측정 정밀도를 발휘할 수 있는 철심과 공심을 혼합한 새로운 형태의 혼합형 로고스키 코일의 개발을 제안한다. 즉 철심과 공심코어 원리를 사용하여 일반 변류기의 자기포화와 비선형 오차의 한계 영향이 적고 일반적인 로고스키 코일 방식의 저 전류부분에서 선형도가 악화되는 문제를 해결한 최적인 설계치 도출 및 혼합형 로고스키 코일의 적용 가능성을 검증하고자 한다.

본 논문의 모델은 1,000A 급 전류가 흐를 수 있는 도체를 선정하였으며, 10~1,000A 전류를 인가하였을 때 보빈에 3개의 적층형태로 이루어진 측정코일 모델을 설계하여 유기되는 전압을 측정하여 측정 전류의 정밀도를 비교하고자 한다. 또한 제시한 모델은 유한요소법(Finite Elements Method : FEM)을 사용하여 설계 및 시뮬레이션하고, 시작품을 제작해서 시뮬레이션과의 오차비율 결과를 도출하여 제시한 새로운 혼합형 로고스키 코일의 유용성과 전류측정의 정밀성을 검증하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 로고스키 코일 원리

로고스키 코일은 시간에 따라 변화하는 교류 또는 과도상태의 전류를 측정하는 센서이다. 그림 2.1.1과 같이 설치된 로고스키 코일에서 유기되는 전압은 코일 창을 관통하는 전류선과 코일간의 상호인덕턴스와 전류의 변화율에 의해 Eq. (1) 과 같이 결정된다[3].

$$e = M \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

여기서  $e$  : 코일유기전압 [V],

$M$  : 상호인덕턴스 [H]로  $M = \mu_0 n A$

Fig. 1는 로고스키 코일의 원리를 나타내었으며, Fig. 2에 코일의 등가회로도 표현하였다. 로고스키 코일은 “폐회로를 따라 자기장을 선적분한 값은 폐회로 내에 위치한 도체에 흐른 전류의 총합과 같다”는 암페어의 주회 법칙에 기초를 두고 있다[2].

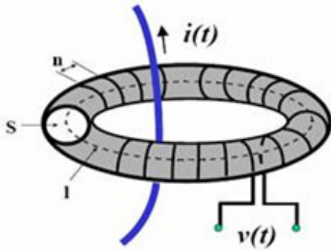


Fig. 1. Principle of Rogowski Coil

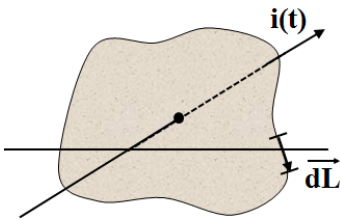


Fig. 2. Ampère's Circuital Law

$$\oint H \cdot dL = i(t) \quad (2)$$

전류가 코일과 같이  $n$ 회 감았을 때에는 폐회로와의 채교수(number of interlinkage)는  $n$ 이 되어, 일반적으로 Eq. (2)는

$$\oint_c H \cdot dL = \oint_c H \cos\theta dL = \sum_{i=1}^n n_i I_i \quad [\text{AT}] \quad (3)$$

가 된다.

이것을 암페어의 주회 법칙(Ampere's circuital law)이라 한다.

여기서  $dL$  : 페루프의 미소길이 성분,  $H$  : 자기장,  $\theta$ 는 미소길이 성분과 자기장이 이루는 각도이다. 그리고, 측정하고자 하는 전류는 Eq. (1)에서 제시된 로고스키 코일에서 유기된 전압을 적분하면 Eq. (4)와 같이 구할 수 있다.

$$i(t) = \frac{1}{M} \int e(t) dt \quad (4)$$

도체에 흐르는 전류가 교류일 때 코일에 유기되는 전압은 자속의 변화율과 같다.

암페어의 법칙에서 선적분 경로가 체적을 갖지 않아야 적분경로, 모양, 페루프의 위치 등과 무관하게 출력전압이 일정하지만 실제 코일은 큰 체적을 갖게 되어 코일의 형상 및 위치에 따라 오차가 발생하는 원인이 된다. 이런 오차를 최소화하기 위해서는 코일 전체의 단면적을 일정하게 유지하고, 측정코일을 일정하게 감으며, 코일 형상은 통전도체에 대해 완전 원형이 되어야 한다.

## 2.2 유한 요소법을 이용한 로고스키 코일 설계

### 2.2.1 기존 로고스키 코일의 모양 비교

기존에는 로고스키 코일의 모양은 낮은 자속에 대해 충분한 유기기전력이 발생되도록 Fig. 3과 같이 공심코어에 측정코일을 몇 천에서 몇 만 턴의 많이 감은 형태로 설계되었다면, 본 논문에서 제시할 광역전류 측정이 가능한 혼합형 로고스키 코일은 철심 코어에 측정코일 일부만 감은 형태로 Fig. 4와 같이 설계 하고자 한다. 측정 코일의 모양은 Fig. 5에 자세하게 나타내었다. 측정코일은 기존 CT보다 현저히 적은 턴 수의 3종류(5, 20, 50)의 다른 턴 수를 가진 각각의 코일로 3개의 출력을 뽑아 내 전류 범위에 따라 각각의 코일을 사용할 수 있도록 설계하였다. 또한 측정코일은 비자성체로 이루어진 보빈에 코일 에나멜선이 적층을 이루어지도록 설계하여 각층 중간에는 절연지 같은 종류의 물질로 보호, 각 3개의 출력이 절연되도록 하였다.

설계하고자 하는 로고스키 코일은 도체와 코일간의 수직도를 벗어나 생기는 오차를 줄이기 위해 측정하고자 하는 도체사이즈와 비교하여 작은 크기로 설계하였으며, 이는 Fig. 6에 나타내었다.

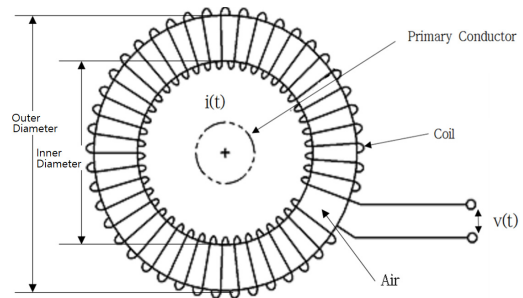


Fig. 3. The shape of the normal Rogowski Coil.

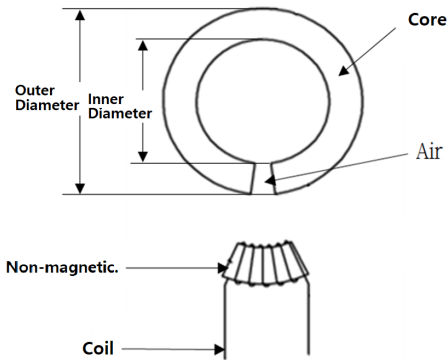


Fig. 4. The shape of the Rogowski Coil to be designed.

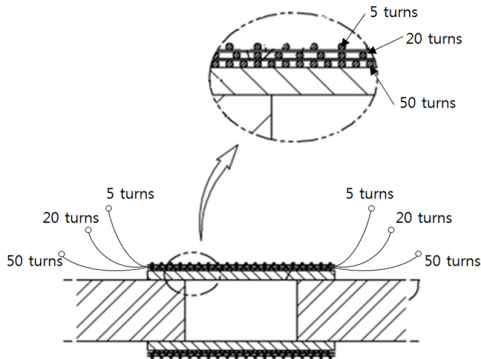


Fig. 5. The shape of the coil.

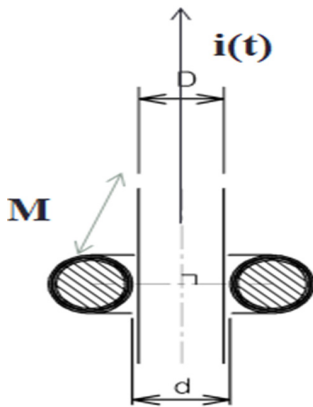


Fig. 6. A Cross-sectional view of the Rogowski Coil.

### 2.2.2 코일의 규격 선정

로고스키 코일의 설계는 유한요소법을 사용하였으며, 해석 모델 및 사양은 다음과 같다.

Table 1에 모델 사양은 도체가 1,000A가 흐를 수 있는 최소크기의 도체를 기준으로 유한요소법을 이용하여 시뮬레이션 한 규격을 정하게 되었다. 로고스키 코일을

원형으로 설계 하였으며, 측정코일은 Table 1의 모델 사양표에서 보는 바와 같이 5, 20, 50 [turn]을 분리하였다. 적층형태로 각각의 턴수의 코일에서 측정하고자 한다. Fig. 7은 Table 1의 모델 사양표를 기준으로 1,000A 전류에서 유한요소해석한 자속분포도이다. 그림에서 철심의 자속밀도는 전체적으로 1.5[T] 이하로 포화되지 않는 것을 확인하였다.

Table 1. Model specification table.

Item.	Spec.
than diameter of Core [mm]	50
Inner diameter of Core [mm]	36
Length of Air gap [mm]	5
Maximum diameter of the conductor [mm]	26.4
Turn number [turns]	5, 20, 50
Measurement coil diameter [mm]	Less than 0.4

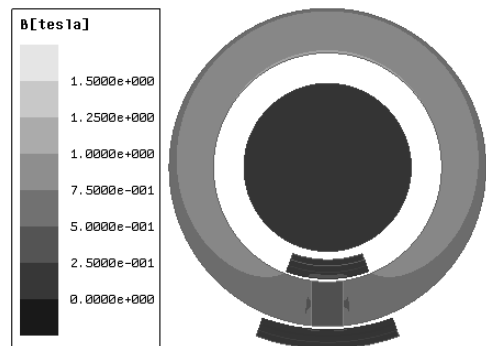


Fig. 7. The Magnetic flux density distribution of coils.

### 2.2.3 유한요소법에 의한 유기전압 도출 해석

유한요소법으로 설계한 모델을 해석하기 위해 도체에 전류 1,000A를 흘려 로고스키 코일 각각 5, 20, 50[turns]에 유기되는 전압을 도출하였다. 해석 결과는 전압을 Fig. 8 그래프로 나타내었으며, Table 2는 해석으로 도출된 유기전압을 최대치와 실효치 값으로 나누어서 표시하였다.

Table 3는 도체에 10A에서부터 1,000A 까지의 전류를 흘릴 경우, 각 5, 20, 50 turns의 코일에 유도된 출력 전압의 최대치를 나타내었다. 출력전압[V<sub>max</sub>]과 도체에 흐르는 전류비를 Fig. 9에 나타내었다. 파형에서 보는 바와 같이 전류가 증가하면서 코일에 유기되는 전압도 선형으로 증가되는 것을 알 수 있다.

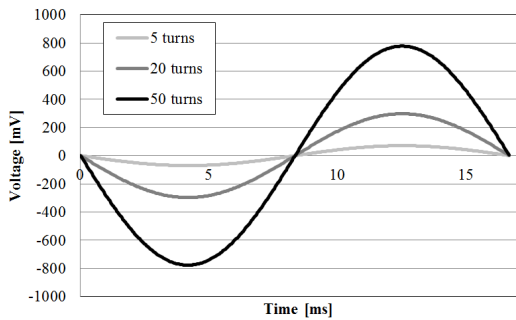


Fig. 8. The induced voltage of the coil at 1,000 A.

Table 2. The induced Max. and rms voltage of the coil at 1,000 A.

measure coil	Max.	rms
5 turn.	70.6	49.9
20 turn	297.1	210.1
50 turn	776.9	549.4

Table 3. Max. induced voltage depending on each current. unit : mV

Turn \ Cur.	10 [A]	100 [A]	200 [A]	500 [A]	800 [A]	900 [A]	1000 [A]
5	0.7	6.9	14.0	35.3	55.8	63.2	70.6
20	2.9	29.4	58.8	146.9	235.0	264.4	297.1
50	7.3	76.4	154.2	381.9	617.0	690.4	776.9

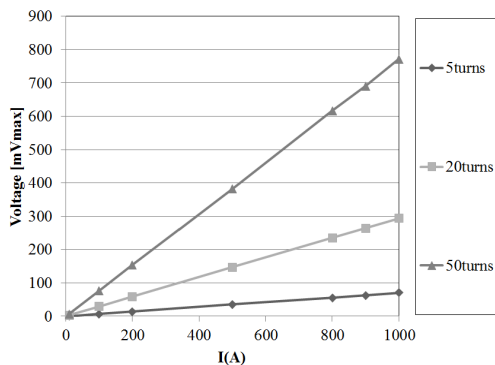


Fig. 9. Max. induced voltage depending on each current.

## 2.3 코일의 특성분석

### 2.3.1 측정코일 위치에 따른 오차 분석

2.2.3절의 해석과 같은 조건에서 측정코일의 위치가 변하면 유기되는 전압의 값이 어떻게 변화하는지를 해석해보았다. Fig. 10은 철심코어를 기준으로 측정코일 위

치를 45° 각도로 이동시켜 측정된 것을 표현한 그림이다. 측정 코일의 유도 전압을 해석한 결과 값은 Table 4와 Fig. 11에 최대치로 표현하였다.

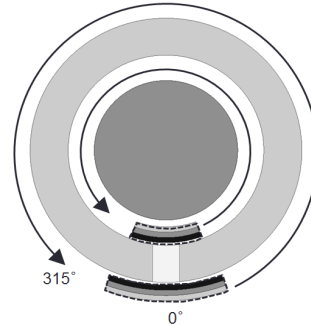


Fig. 10. Measurement coil position expression.

Table 4. Induction voltage value according to the rotation position of the measuring coil. unit : mV

Deg. Turn \	0	45	90	135	180	225	270	315	360
5	71	96	110	116	117	116	110	96	71
20	297	384	440	451	468	463	440	384	297
50	777	969	1100	1156	1170	1156	1100	969	777

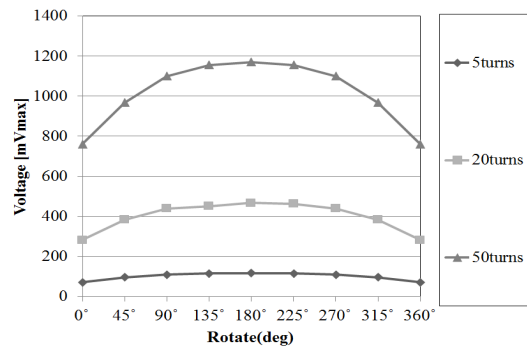


Fig. 11. Induction voltage value according to the rotation position of the measuring coil.

Fig. 11의 그래프로 부터 측정코일 위치가 공극, 즉 공심코어와 반대 위치에 있을 때  $V_{max}$  값이 공심코어에 있을 때보다 조금 높게 형성되는 것을 알 수 있다. 이는 측정코일이 공극에 의해서 생기는 프링징 등의 누설 자속의 영향과 관련이 있어서 유기전압 측정 오차가 발생할 수 있다고 판단된다. 따라서 측정코일 위치가 공심 코어와 멀어짐에 따라서, 즉 반대쪽에 위치하였을 때 전류의 선형성이 잘 나타나는 것을 알 수 있다.

2.3.2 1차코일(도체) 위치에 따른 오차 분석

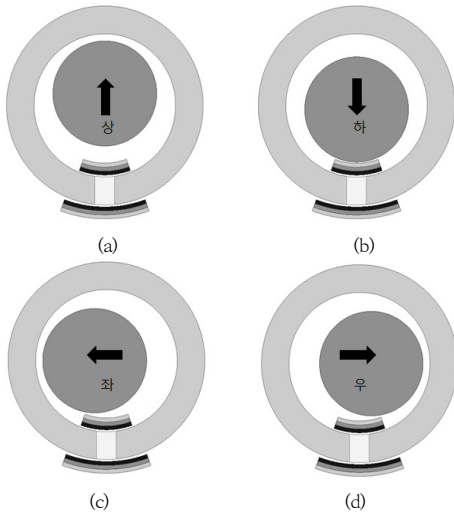


Fig. 12. An analysis model according to the location of the conductor.  
(a) up (b) down (c) left (d) right

Table 5. Analysis results according to the location of the conductor.

	Induced Voltage [mV]			Error rate [%]		
	5	20	50	5	20	50
Turn	5	20	50	5	20	50
Cen.	70.59	297.1	776.9	-	-	-
Up	71.25	299.7	783.4	0.935	0.875	0.837
Down	71.22	299.6	783.4	0.892	0.841	0.837
Left	71.24	299.7	783.4	0.921	0.875	0.837
Right	71.24	299.7	783.4	0.921	0.875	0.837

Fig. 12는 측정하고자 하는 도체가 상, 하, 좌, 우로 편측 되어있을 때 유기되는 전압과 오차율의 해석 결과를 Table 5에 나타내었다. 분석된 값은 보는 바와 같이 작은 코일 내에서는 편측 되었을 때 측정코일에 유기되는 전압 변화는 0.7~0.9% 정도의 오차율을 나타내고 있어 도체 위치에 따른 오차율이 거의 없는 것을 확인하였다. 아래 Fig. 13은 위 Fig. 12 편심 오차에 대해서 선속 분포를 나타내었다. 그림에서 공심코어 부근에서 자속 누설이 많음을 확인할 수 있었다.

2.4 코일 제작 및 실험

본 논문의 혼합형 로고스키의 측정 신뢰성을 검증하기 위하여 혼합형 로고스키 코일 직접 제작하여 실험을 수행하였다. Fig. 14는 5, 20, 50턴의 각각의 측정 코일을 권선 작업하는 모습을 나타낸 그림이고, Fig. 15는 제작

한 혼합형 로고스키의 시작품들이다. 그리고 실제 측정에 사용할 장비는 Fig. 16(a)과 같이 출력범위 AC 0 ~ 3,000A, 주파수 60Hz, 정확도 ±0.05%의 대전류 공급 장치로 1차 측 전류 공급원으로 사용하였으며 Fig. 16(b)에 측정 작업을 보여주었다. 측정 실험은 Fig. 17과 같이 측정 코일을 공심코어에 위치한 모델과 공심코어와 반대쪽에 위치한 모델 두 종류로 시행하여 유한요소법에 의한 해석 결과와 비교하였다.

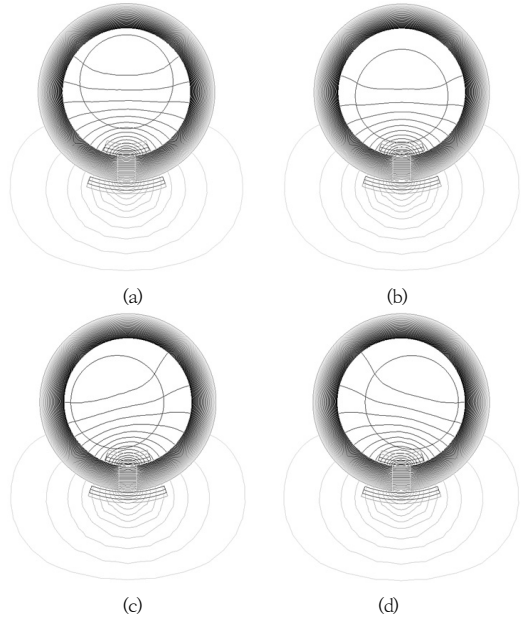


Fig. 13. Magnetic flux distribution at 1,000 A.  
(a) up (b) down (c) left (d) right



Fig. 14. Coil winding.



Fig. 15. Samples of the first product of the Rogowski coil.

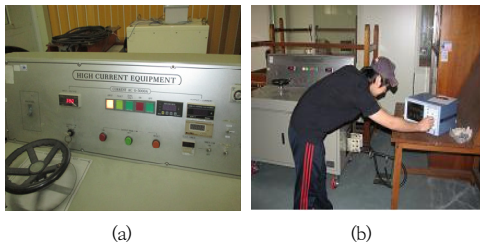


Fig. 16. Experimental measurement.  
(a) Measuring equipment. (b) Measurement work.

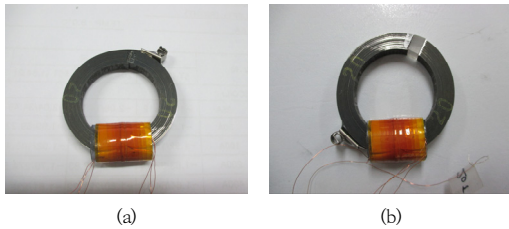


Fig. 17. Experimental sample of Rogowski coil.  
(a) When the measuring coil is located in the gap  
(b) When the measuring coil is located in the opposite direction to the gap

Table 6. Analysis and Experimental result When the measuring coil is located in the gap

Turn	FEM analysis. [V]	Exp. analysis [V]	Error rate [%]
5	0.07	0.04	68.2
20	0.282	0.4	29.8
50	0.761	0.7	8.7

Fig. 18은 도체에 1,000[A]가 흐르는 경우의 50턴 측정코일에서의 해석과 실험에 의한 측정 코일의 유기전압 파형이다. 그림에서 해석은 정현파로 검출되나 실험은 적분기와 필터 회로를 거치지 않은 코일 자체에 발생한 유기전압 파형으로 고조파성분이 포함되어 최대값에 어느 정도 오차가 수반되리라 예상된다. 그러나 적분기 회로 등을 거치고 증폭기 회로에서 크기 스케일을 거치면 해석과 같은 비율로 측정이 가능하다고 판단된다. 본 논문에서는 크기 값의 정확성보다 측정코일의 위치에 대한 측정의 오차 안정도 관점에서 분석하였다.

제작한 로고스키 코일의 실험값과 유한요소해석값은 Table 6과 Table 7, 해석과 실험적 결과에 대한 오차를 Fig. 19에 그래프로 나타내었다. 분석값과 측정값의 오차범위는 40%로 분석되었다. Table 6과 Fig. 19에 나타난 바와 같이 측정코일이 공심코어에 위치하였을 때 나오는 유기전압은 각 측정코일에 따라 오차율의 편차가 심하게 나타났으며 이 원인으로는 공심코어 부근의 누설 자속과 노이즈 대비 유기전압이 공심코어의 반대 위치하

였을 때보다 작으면서 생기는 현상으로 판단되며 특히 턴수가 적은 코일은 오차가 심하게 발생됨을 알 수 있다.

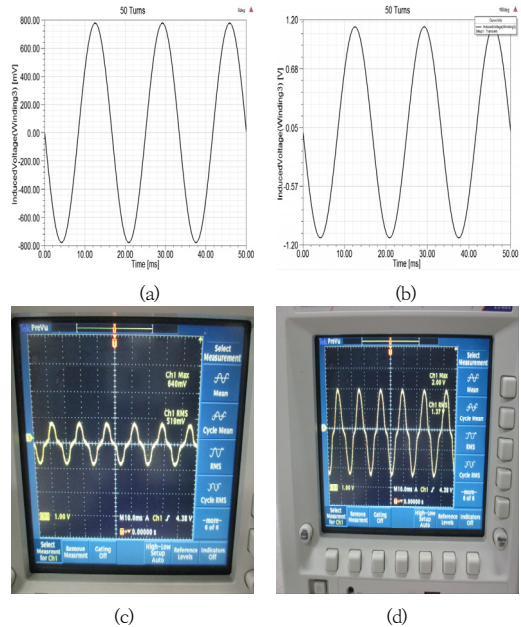


Fig. 18. Induction voltage waveform of analysis and experiment at 1,000A and 50 turns.  
(a) Analysis waveform When located in the gap  
(b) Analysis waveform When located in the opposite  
(c) Experiment waveform When located in the gap  
(d) Experiment waveform When located in the opposite

Table 7. Analysis and Experimental result When the measuring coil is located in the opposite direction to the gap

Turn	FEM analysis. [V]	Exp. analysis [V]	Error rate [%]
5	0.117	0.15	22.4
20	0.468	0.55	15.0
50	1.17	1.35	12.9

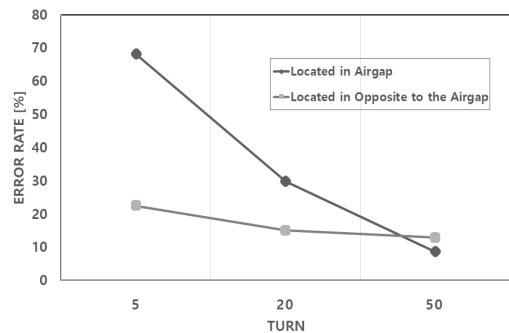


Fig. 19. Error graph according to the position of the measuring coil.

반면 측정코일이 공심코어와 반대 위치하였을 때 나오는 유기되는 전압파형은 측정코일이 공심코어에 위치한 경우보다 유기전압 측정값이 높게 형성되고 값도 선형적 비율로 증가 하는 현상을 보이며 각 코일별 오차의 변동이 작음을 알 수 있었다. 즉 측정코일이 공심코어의 반대 위치하였을 경우가 전체적으로 측정 오차에 대한 안정도를 보여주고 있다. 단 해석과의 값의 차이는 적분기 회로 등에서 스케일 보정이 가능하다. 또한 실험은 1,000[A]에서 시행하였으나 100[A] 이하 전류도 측정 코일의 턴수를 몇 백 턴으로 증가하면 충분한 전류 측정 분해능이 가능하며 이 몇 백 턴은 무철심 로고스키 코일의 몇 천에서 몇 만 정도의 턴 수보다는 현저히 적은 턴 수이다.

### 3. 결론

본 논문은 기존 CT와 무철심형 로고스키 코일의 단점을 보완한 철심의 포화현상이 없으면서 측정코일의 많은 턴 수 없이도 저전류 측정이 가능한 새로운 혼합형 로고스키 코일을 설계, 분석하였다. 즉 철심으로 이루어진 자성체와 공극에 해당하는 공심코어를 이용하여 측정코일에 적은 턴 수의 측정 코일로도 저전류에 해당하는 유기전압측정이 충분히 가능하도록 설계하였다.

유한요소법을 이용하여 시뮬레이션 설계, 분석하고, 그 사양을 기준으로 시작품 모델을 만들어 보았다. 유한요소법으로 해석한 값과 시작품의 실험값을 오차 비교분석을 해 보았다. 해석에서 유기전압은 전류에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있었고, 측정 전류가 흐르는 도체의 위치, 즉 상하좌우 위치에 따라서는 오차가 크지 않음도 확인하였다. 또한 해석과 실험 측정의 오차 범위는 대략 20% 정도에 결과가 나타나 측정값과 해석값은 차이가 많아 보이지만, 측정 회로의 적분기 등으로 보정이 가능하고 중요한 것은 실험에서 나온 측정값들이 턴 수에 따라 같은 오차 비율과 선형성을 나타내는 것이다. 본 논문에서는 측정 코일의 위치에 따라 측정 오차의 안정도를 검토하였다. 검토 결과 측정 코일이 공심 코어 위치보다 반대편에 위치했을 경우가 측정 오차의 안정도, 즉 턴 수에 따른 선형성을 유지 할 수 있었으며 측정코일 수와 많고 측정코일이 안쪽에 배치되었을 경우 측정의 정밀성이 향상됨을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시한 혼합형 로고스키 코일의 적용 가능성을 위한 해석과 실험을 수행하여 그 결과로 산업에의 적용이 충분하다고 판단되며 특히 제시한 혼합형 로

고스키 코일은 무철심 로고스키 코일보다 측정코일을 현저히 적은 턴 수 에서도 측정코일에 유기되는 전압의 값을 충분히 검출할 수 있음을 확인하였다. 또한 기존 무철심 로고스키 코일의 측정 코일을 균일하게 많은 수로 감으면서 발생하는 생산비 증가 및 크기의 증가 등을 해소할 수 있고 측정하기 위해 삽입되는 도체의 크기에 맞추어 로고스키 코일의 크기를 적용할 수 있어 적은 철심의 사용으로 무철심 로고스키 코일보다 비용 및 권선 작업의 공정을 줄일 수 있다고 사료된다.

### References

- [1] Ray W.F, R.M. Davis, "Wide bandwidth Rogowski Current Transducers", EPE Journal Vol 3 No. 1 pp 51-59, Sept. 2015  
DOI: <https://doi.org/10.1080/09398368.1993.11463312>
- [2] Ray W.F. and Davis R.M, "Developments in Rogowski Currents Tranducers", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, EPE, pp 3308-3312, 1097
- [3] Alessandro Mingotti, Lorenzo Peretto, S and Roberto Tinarelli, "Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement", IEEE Computer Applications in Power, Vol 10, No 3, pp. 47-52, Jul. 1997  
DOI: <http://doi.org/10.1109/67.595293>
- [4] Daniela Istrate, Isabelle Blanc, and Dominique Fortuné, "Development of a Measurement Setup for High Impulse Currents", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 62, No. 6, pp.1473-1478, June 2013  
DOI: <http://doi.org/10.1109/TIM.2013.2239018>
- [5] Branislav V. Djoki', "Improvements in the Performance of a Calibration System for Rogowski Coils at High Pulsed Currents", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 66, No. 6, pp. 1636-1641, June 2017  
DOI: <http://doi.org/10.1109/CPEM.2016.7540483>
- [6] Alessandro Mingotti, Lorenzo Peretto, S and Roberto Tinarelli, "A Smart Frequency Domain-Based Modeling Procedure of Rogowski Coil for Power Systems Applications", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 69, No. 9, pp. 6748-6755, Sept. 2020  
DOI: <http://doi.org/10.1109/TIM.2020.2986864>



김 윤 현(Youn-Hyun Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 한양대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1989년 3월 ~ 1999년 2월 : LG 산전연구소 책임연구원
- 2003년 4월 ~ 현재 : 한밭대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

전기기기, 전력전자

---

김 정 남(Jung-Nam Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한밭대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2015년 2월 : 한밭대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 ~ 2018년 7월 : (주)리폼테크 신사업부 담당
- 2018년 8월 ~ 현재 : (주)동양이엔씨 신재생사업부 담당

<관심분야>

전기기기, 신재생에너지