

## Measurement of the Post-Arc Current in a Vacuum Circuit Breaker

宋基東<sup>†</sup> · 鄭鎮教<sup>\*</sup> · 吳年浩<sup>\*\*</sup> · 李佑暎<sup>\*\*\*</sup>  
 (Ki-Dong Song · Jin-Kyo Chong · Yeon-Ho Oh · Woo-Young Lee)

**Abstract** - After various measuring methods and system were investigated, Rogowski coils for the measurement of parameters in current zero region were designed and manufactured. Using the Rogowski coils and a 38kV 40kA VCB(vacuum circuit breaker), at last the post-arc current has been successfully measured firstly. It was found that the Rogowski coils used in this study have good characteristics and propriety to measure the parameters of current zero. We realized that the data processing for evaluating the post-arc current from the experimental results needs much more careful attention than that for building the measuring technique and system. The magnitude of post-arc current and the falling time of it to zero are proportioned to the rate of current di/dt. The magnitude of post-arc currents were around 1 ~ 3A to the interruption current of 20 ~ 30kA in the model VCB.

**Key Words** : Post-Arc Current, Rogowski Coil, Current Zero, di/dt, Interruption

### 1. 서 론

전력계통에서 고장이 발생하는 경우에 고장범위가 커져 가는 것을 방지하고 여러 전력기들을 보호하기 위해 고장 전류를 신속히 차단해 주어야 한다. 이러한 고장전류를 자동적으로 차단하는 기기가 차단기(circuit breaker)이다. 차단기가 고장전류를 차단하고 난 후에는 그림 1에 나타낸 것처럼 과도회복전압(TRV, transient recovery voltage)이 차단기의 접점 사이에 인가되게 된다. 그와 동시에, 접점사이에는 아직 냉각되지 않은 전하를 가진 입자들 때문에 미약한 전류가 흐르게 된다. 우리는 이 전류를 아크-후 전류(post-arc current)라 부른다. 아크-후 전류의 크기 변화에 따라 차단기의 차단성능이 결정된다. 즉, 그림 1의 (a)처럼 아크-후 전류가 점점 감소하여 영(0)으로 되고, 인가된 회복전압에 견디게 되면 고장전류 차단에 성공하게 되는 것이다(열적회복(thermal recovery) 성공이라 부른다). 반면에 그림 1의 (b)처럼 접점간의 냉각성능이 떨어져 아크-후 전류가 영으로 감소하지 않고 점점 증가한다면, 고장전류는 다시 흐르게 되어 차단에 실패하게 된다(열적회복 실패라 한다).

이와 같이 아크-후 전류는 차단기의 차단성능을 파악하는 데 매우 중요한 변수가 된다. 하지만, 아크-후 전류의 특성 때문에 이론적으로 해석한 경우[1]도 드물거니와 세계적

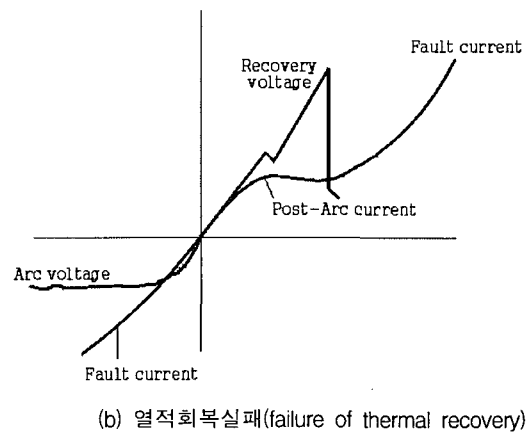
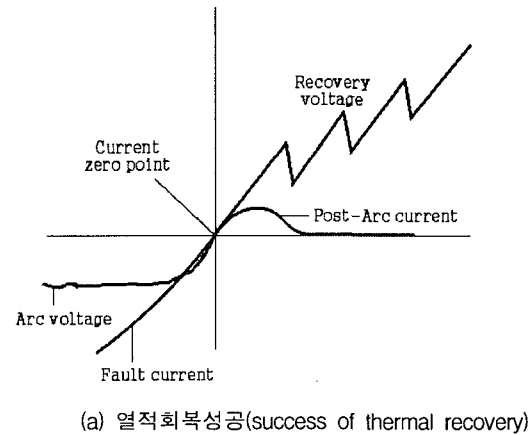


그림 1 전류영점 후의 아크-후 전류  
 Fig. 1 Post-arc current after current zero point.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員  
 E-mail : kdsong@keri.re.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

<sup>\*\*\*</sup> 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員

接受日字 : 2006年 8月 3日

最終完了 : 2006年 8月 26日

으로 실제 측정된 경우[2]도 극히 드물다. 더군다나 국내에서는 아직까지 시도하거나 보고된 바도 전혀 없다. 그와 같은 실정이 빚어진 가장 큰 이유는, 고장전류가 수십 kA에 수십 ms 범위인 반면에, 아크-후 전류는 수 A에 수  $\mu$ s 범위에 나타나기 때문이다. 따라서 아크-후 전류를 측정하는 기기는 열적인 문제에서 고장전류에 견뎌야 하며, 최소 0.01 $\mu$ s의 데이터 수집이 가능한 응답특성과 함께 잡음(noise)를 고려한 고해상도(high resolution)를 가져야만 한다.

본 연구에서는 아크-후 전류 측정기술을 확보하기 위해, 특수 설계/제작한 장비 및 시스템에 대해 상세히 설명할 것이며 또한, 진공차단기에 적용하여 측정된 아크-후 전류에 대한 결과를 제시할 것이다.

## 2. 측정기기 및 시스템

### 2.1 측정기기의 설계 및 제작

아크-후 전류를 측정하기 위한 측정기기는 우선적으로 다음의 특성을 가져야 한다. 즉,

- 1) 고압 및 접지 측 중 어느 경우나 설치성이 좋아야 한다.
- 2) 변동영역(Dynamic range)이 커야 한다.
- 3) 전류용량에 대한 온도변화가 측정결과에 미치는 영향이 작아야 한다.
- 4) 고주파 신호영역에서 주파수 응답특성이 좋아야 한다.

전류를 측정하기 위한 대표적인 기기는 분로기(shunt)와 로고우스키 코일(Rogowski coil)일 것이다. 위의 선행조건을 고려하여 분로기와 로고우스키 코일에 대해 비교한 결과,

#### 1) 분로기

- ① 측정라인의 절연확보가 어려워 고압측 회로에 설치하기 어렵다(절연확보를 위해 측정라인을 광 송신(optical line)을 한다 하더라도  $\mu$ s 정도(order)의 신호(signal)를 전송할 수 있는 O/E의 제작이 현 기술수준으로 어렵다).
- ② 통전전류에 의한 분로기의 온도변화로 영점 부근에서의 측정결과가 달라질 수 있다.
- ③ 주 시험회로와 직접적인 접촉이 있기 때문에 측정 시에 노이즈의 영향을 쉽게 받는다.
- ④ 제작이 어렵고 가격도 비싸다.

#### 2) 로고우스키 코일

- ① 주 시험회로와 직접적인 접촉이 없어서 측정회로의 구성이 용이하다.
- ② 가볍고 절연확보가 용이하기 때문에 주 시험회로 어느 곳이나 설치 가능하다.
- ③ 전류영점 직전의 큰 주전류에 대한 영향이 비교적 작다.

라는 결론을 얻었다. 따라서 로고우스키 코일이 본 연구를 위해 더 적절하다고 판단하였고, 아크-후 전류 측정을 위한 로고우스키 코일을 다음 사항을 고려하여 설계하였다. 그림 2는 설계된 아크-후 전류 측정용 로고우스키 코일의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다.

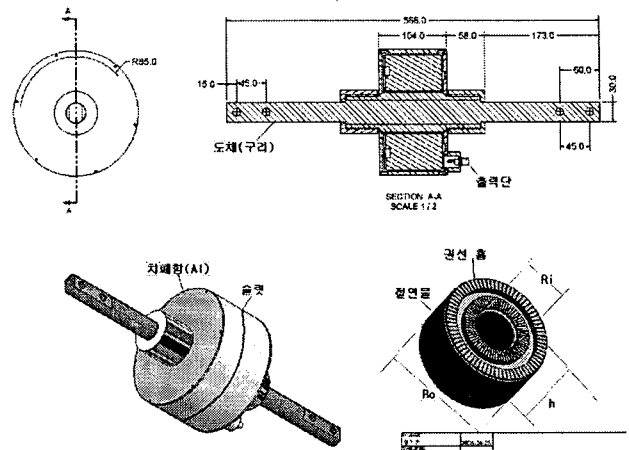


그림 2 아크-후 전류 측정용 로고우스키 코일 개략도

Fig. 2 Diagram of Rogowski coil for measurement of post-arc current.

먼저, 아크-후 전류를 측정하는 데 있어서, 해상도를 고려하여 전류의 기울기(di/dt) 10 ~ 50A/ $\mu$ s에 대해 로고우스키 코일의 출력전압은 1 ~ 10V의 전압을 얻을 수 있어야 하며, 이러한 출력크기를 얻기 위해서 상호 인덕턴스(mutual inductance)의 값은 0.1 ~ 0.5 $\mu$ H이어야 한다. 두 번째, 코일 권선사이의 커패시턴스(capacitance)를 감소시키기 위해 큰 사각 단면적을 가지는 형태로 해야 되고, 턴(turn)수는 가능한 한 작아야 한다. 세 번째, 전류영점 영역과 같이 수백 kHz의 주파수 영역에서는 로고우스키 코일의 출력이 분로기와 같이 선형적으로 나타나는 성분을 포함하기 때문에 출력전압으로부터 전류를 산출하는 데 있어서 단순 적분만으로는 충분하지 않으며, 식(1)에서처럼 고주파 보정 항이 추가되어야 한다.

$$i(t) = \frac{1}{M} \int_0^t E(t) dt + \frac{\tau}{M} E(t) \quad (1)$$

여기서 M은 상호 인덕턴스,  $\tau$ 는 시정수, E(t)는 로고우스키 코일의 출력전압이다. 네 번째로 코일과 통전선(main bus)사이의 용량성 결합(capacitive coupling)에 의한 영향을 받지 않도록 코일을 차폐함(shielding box)안에 설치해야 한다. 이렇게 함으로써 영향을 미칠 수 있는 주파수 대역을 수백Hz에서 수십MHz이상으로 증가시킬 수 있다. 하지만, 세심하게 주의를 기울이더라도 표류 커패시턴스에 의한 공진을 완전히 제거할 수는 없으므로 일정한 값의 제동저항(damping resistor)을 권선단과 병렬로 연결시켜주어야 한다. 다섯 번째, 대전류 차단시험에서는 전류 차단 후에도 권선에 유도된 전압 때문에 수십  $\mu$ s동안 차폐함에는 맴돌이 전류(eddy current)가 발생한다. 아크-후 전류를 얻기 위해서는 수 mV 범위 내에서 정확한 정보가 필요하기 때문에 유도전압에 의한 맴돌이 전류를 최소화 시켜야 하는 데, 그림 2와 같이 알루미늄재질의 차폐함에 약 1 mm의 틈새(slot)를 만들어서 해결하였다. 여섯째, 낮은 주파수에서처럼 고주파에서도 로고우스키 코일의 출력이 전류의 기울기(di/dt)에 비례할 것이라고 당연히 할 수는 없다. 전류영점

근처에서의 변화는 작고, 매우 빠르기 때문에 입력신호의 변화를 추적해 가기 위해서는 시정수가 충분히 작아야만 한다. 시정수에 따라 결과에 얼마나 큰 오차를 발생하는지를 그림 3에서 잘 설명하고 있다[3]. 시정수는 식(2)와 같이 로고우스키 코일의 인덕턴스(L)와 측정 장비의 입력 임피던스(R)로 결정된다. 즉,

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (2)$$

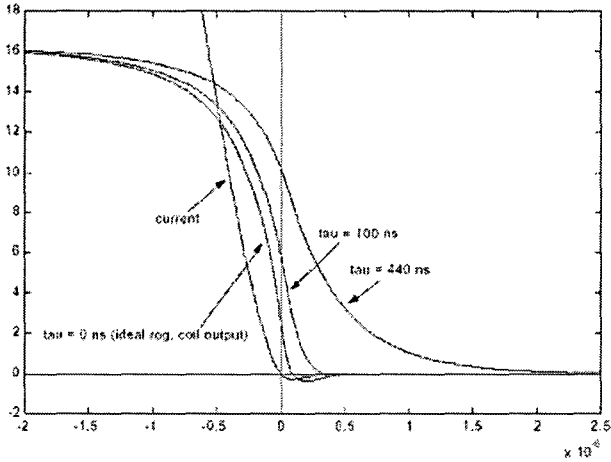
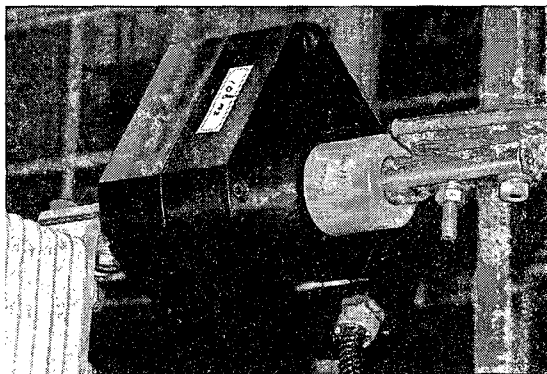
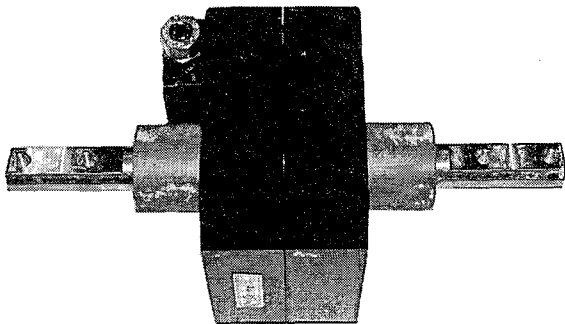


그림 3 시정수에 따른 측정 결과의 변화(계산결과)  
 Fig. 3 Variation of measured results with time constant (calculated).



(a) 시정수 100ns



(b) 시정수 50ns

그림 4 아크-후 전류 측정용 로고우스키 코일  
 Fig. 4 Rogowski coil for measurement of post-arc current.

이상의 결과를 고려하여 그림 4와 같이 시정수가 약 100ns와 50ns를 갖는 아크-후 전류 측정용 로고우스키 코일 2대를 제작하였고, 각각의 설계변수를 표 1에 나타내었다.

표 1 아크-후 전류 측정용 로고우스키 코일의 설계변수  
 Table 1 Design parameters of Rogowski Coil

| Model                  | RC100     | RC050     |
|------------------------|-----------|-----------|
| L(μH)                  | 5.695     | 2.260     |
| M(μH)                  | 0.316     | 0.188     |
| N(turn)                | 18        | 12        |
| Ri(mm)                 | 30        | 30        |
| Ro(mm)                 | 90        | 80        |
| h(mm)                  | 80        | 80        |
| E <sub>10kA</sub> (V)  | 1.6857658 | 1.0033557 |
| R(Ω)                   | 48.07     | 51.23     |
| τ(ns)                  | 114.000   | 45.197    |
| d <sub>wire</sub> (mm) | 0.3       | 0.3       |

Ri : 권선의 내경, Ro : 권선의 외경, h: 권선의 높이  
 E<sub>10kA</sub> : 10kA인 경우의 출력전압, d<sub>wire</sub> : 코일의 직경

### 2.2 측정시스템의 구성

간이합성시험설비를 이용하여 아크-후 전류 측정을 측정하였으며, 그림 5는 간이합성시험 회로도를 나타낸다. 그림 5에서 TCB(test circuit breaker 즉, 본 연구에서는 38kV 40kA 진공차단기)를 기준으로 왼쪽은 시험전류를 공급하기 위한 전류원이며, 오른쪽은 주입전류(injection current) 및 과도회복전압(TRV; transient recovery voltage)을 공급하는 전압원이다[4].

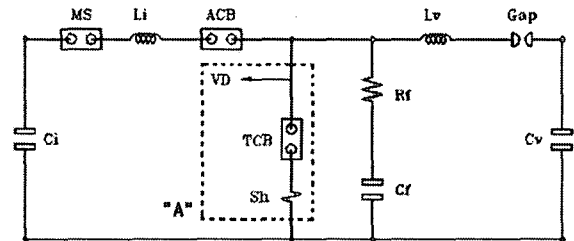


그림 5 간이합성시험 회로도  
 Fig. 5 Circuit diagram of simplified synthetic test facility.

아크-후 전류 측정을 위해 그림 5의 회로에 그림 6과 같이 별도의 측정시스템을 구축하였다. 그림 6의 측정시스템은 그림 5의 "A"로 표시된 부분과 결선되어 있다.

로고우스키 코일의 출력은 DAS(AMO GmH사의 Saturn) 시스템을 이용하여 저장 분석하였으며, 로고우스키 코일의 특성을 평가하기 위해 분로기로도 시험전류를 측정하였다. 측정된 결과는 광 절연(Tektronix A6905S Optical isolation) 설비를 거쳐 오실로스코프에 저장하였다. 또한 TCB 고압단에서의 전압을 분압기(voltage divider)를 이용하여 측정하였

고, 측정결과는 시험전류와 동기화시켜 오실로스코프에 저장하였다. 측정된 전류와 전압의 결과는 시험 종료 후, 결과분석을 위하여 GPIB 케이블을 이용하여 컴퓨터에 저장하였다.

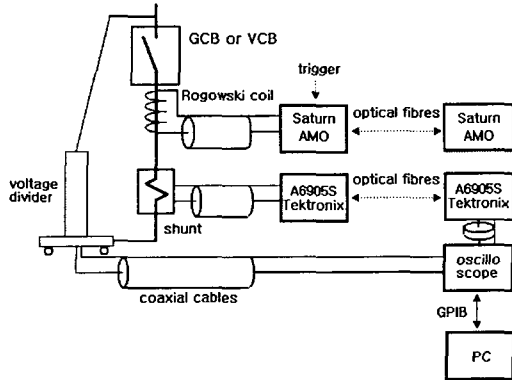
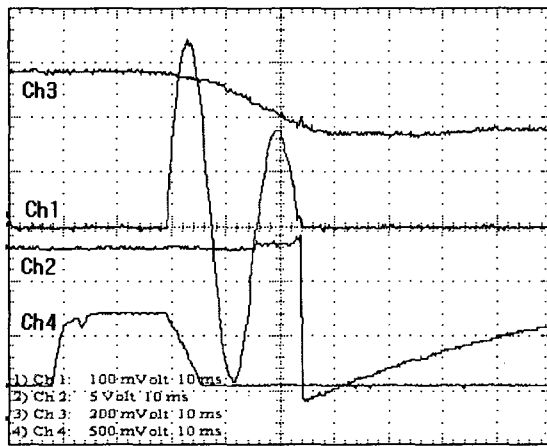


그림 6 아크-후 전류 측정을 위한 측정시스템  
Fig. 6 Measuring system for post-arc current.



Ch1 : 전류파형(×62.7), Ch2 : 전압(×2000), Ch3 : 스트로크, Ch4 : 트립 코일전류

그림 7 di/dt를 결정하기 위한 시험파형  
Fig. 7 Test wave for determination of the value of di/dt.

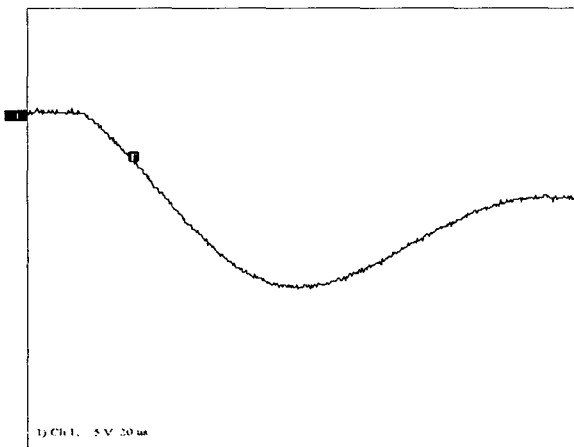


그림 8 dV/dt를 결정하기 위한 시험파형 (×2000, dV/dt≈0.64kV/μs)

Fig. 8 Test wave for determination of the value of dV/dt.

일정한 전압의 기울기(dV/dt)에서 전류의 기울기(di/dt)의 변화에 대한 아크-후 전류의 크기변화를 관측하기 위해 측정시험 이전에 몇 가지 경우의 전압, 전류의 기울기를 얻을 수 있도록 사전에 회로정수의 값을 결정하여 놓았다(그림 5의 Rf, Cf 값을 주로 조정).

그림 7은 사전시험에서 측정된 결과를 나타낸 것이다. 또한 그림 8은 전류 차단 후 차단기의 극간에 걸린 과도회복 전압 파형을 나타낸 것이다.

### 3. 아크-후 전류 측정시험

아크-후 전류를 측정하기 위해 38kV 40kA 진공차단기(VCB)가 사용되었다. 시정수에 따른 결과의 차이를 파악하기 위해 먼저, 시정수 약 100ns인 로고우스키 코일을 사용하여 전류의 기울기(di/dt)에 따른 아크-후 전류를 측정한다. 거의 동일한 조건에서 시정수 약 50ns인 로고우스키 코일을 사용하여 시험을 반복하였다. 시험조건과 결과를 정리하면 표 2와 같다.

표 2 모델 VCB에서의 아크-후 전류 측정을 위한 시험 조건 및 결과

Table 2. Test condition and results for post-arc current in VCB

| ● 피시품 차단기 : 38kV 40kA VCB |              |                 |                     |       |       |         |
|---------------------------|--------------|-----------------|---------------------|-------|-------|---------|
| Rogowski Coil 시정수 τ=100ns |              |                 |                     |       |       |         |
| 차단 전류 Is[kA]              | 주입 전류 Ii[kA] | 아크 시간 tarcl[ms] | TRV (dV/dt) [kV/μs] | 열적 회복 | 절연 회복 | 시험번호    |
| 29.6                      | 3.0          | 8.8             | 0.64                | ○     | ×     | T100-01 |
| 25.1                      | 2.5          | 8.8             | 0.64                | ○     | ×     | T100-02 |
| 20.2                      | 2.0          | 8.8             | 0.62                | ○     | ×     | T100-03 |
| Rogowski Coil 시정수 τ= 50ns |              |                 |                     |       |       |         |
| 차단 전류 Is[kA]              | 주입 전류 Ii[kA] | 아크 시간 tarcl[ms] | TRV (dV/dt) [kV/μs] | 열적 회복 | 절연 회복 | 시험번호    |
| 30.1                      | 3.0          | 7.9             | 0.64                | ○     | ×     | T050-07 |
| 25.1                      | 2.5          | 7.9             | 0.64                | ○     | ×     | T050-08 |
| 20.6                      | 2.0          | 7.9             | 0.62                | ○     | ○     | T050-09 |

결정된 회복전압 크기에 대해서 T050-09만을 제외하고 피시품 차단기는 절연회복에 실패한 것을 알 수 있다. 아크-후 전류와 밀접하게 관련되어 있는 것이 열적회복이라는 것이 잘 알려져 있지만[5], 주어진 차단기의 절연성능이 인가된 과도회복전압보다 크게 떨어진다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 표 2의 시험번호 T100-01의 경우로, 분로기로 측정된 시험전류(1)에 대한 로고우스키 코일(시정수 100ns)의 출력전압(2)을 나타낸 것이다.

그림 10은 그림 9의 로고우스키 코일의 출력전압 파형(2)을 식(1)에 따라 적분하여 시험전류(그림 9의 파형(1))와 비교한 것이다. 이와 같은 시험을 여러 번 반복하여 비교하면, 실제 제작된 로고우스키 코일의 상호 인덕턴스(M)를 구할 수 있다. 본 연구에서는 시정수 100ns의 로고우스키 코일의

경우 식(3)을 이용하여 이론적으로 계산한 설계변수 M 값이 0.316[μH]였으나, 실제 측정하여 산출된 값은 0.143[μH]로 나타났으며, 50ns의 로고우스키 코일은 0.188[μH]에서 0.097[μH]로 나타났다. 이것은 권선의 내경, 직경, 높이 등이 제작과정에서 변할 수 있고, 크지는 않지만 식(1)의 보정항에서 설명하고 있는 것처럼 고주파에 의한 영향인 것으로 이해된다.

$$M_c = \frac{\mu_o N h}{2\pi} \ln\left(\frac{2R+w}{2R-w}\right) \quad (3)$$

여기서,  $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ , N은 턴수, h 권선높이, R은 권선반경, w는 권선 폭을 나타낸다.

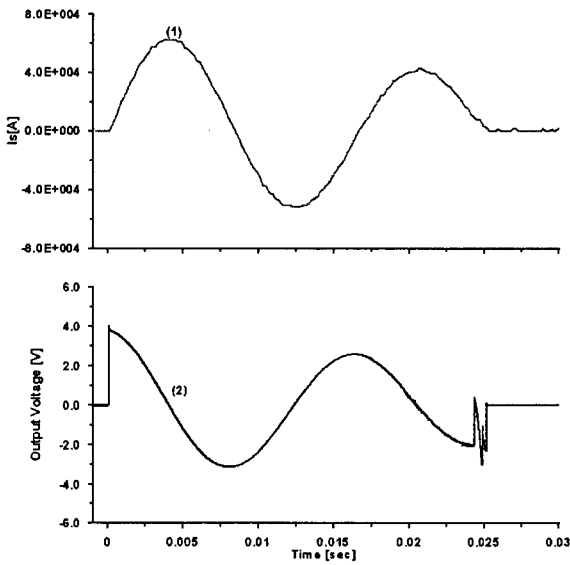


그림 9 시험전류와 로고우스키(τ=100ns) 코일의 출력파형 (표 2의 시험번호T100-01)

Fig. 9 Test current and output of Rogowski coil(τ=100ns) (test number T100-01).

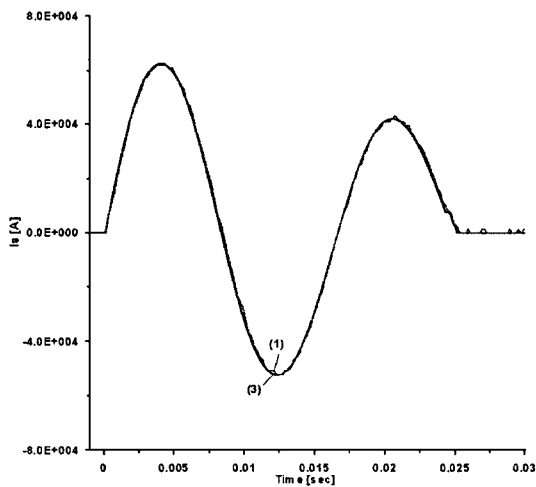
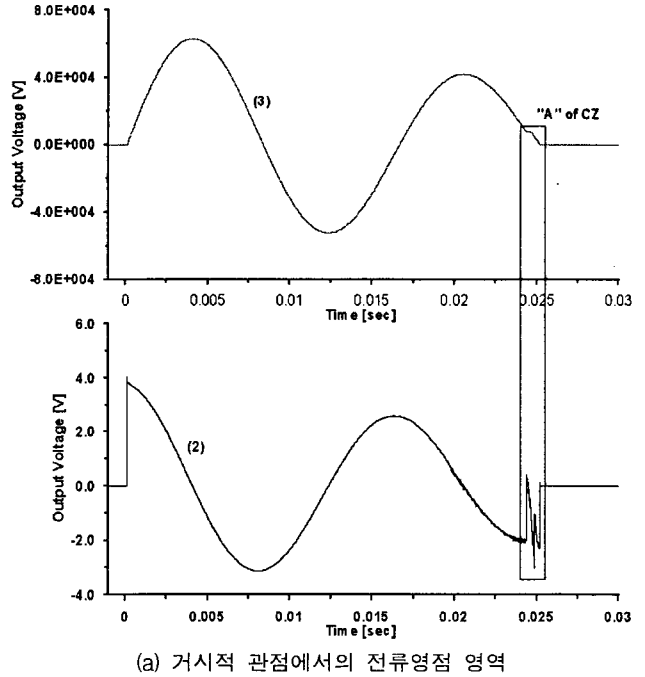
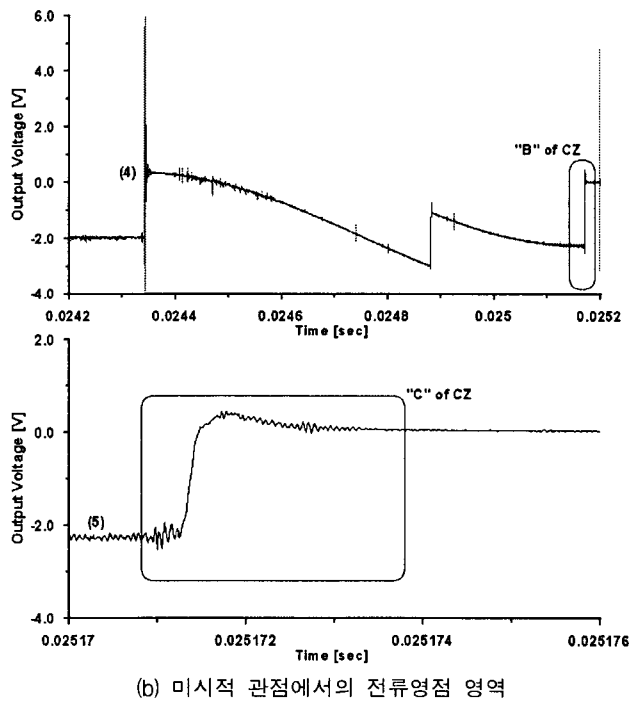


그림 10 로고우스키 코일의 출력전압을 적분한 시험전류 Fig. 10 Test current obtained from integral of output.

아크-후 전류는 전류영점 후 몇 μs 이내에서 발생하는 현상이므로, 아크-후 전류를 구하기 위해서는 그림 11과 같이 전류영점 영역부분을 별도로 확대하여 취급하여야 한다. 즉, 그림 11(a)에서 "A"로 표시된 영역만을 별도로 분리하고, 분리한 그림 11(b)의 "B"영역에서 더욱 확대한 "C"영역의 파형(5)을 식(1)따라 적분하는 경우에 비로소 아크-후 전류가 얻어진다.



(a) 거시적 관점에서의 전류영점 영역

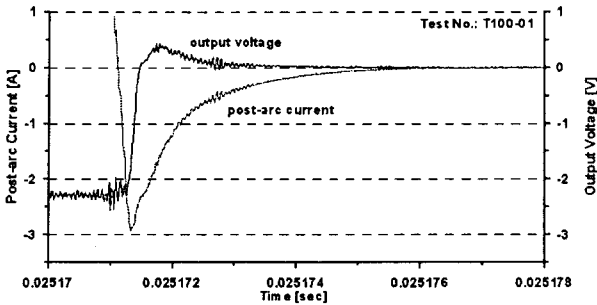


(b) 미시적 관점에서의 전류영점 영역

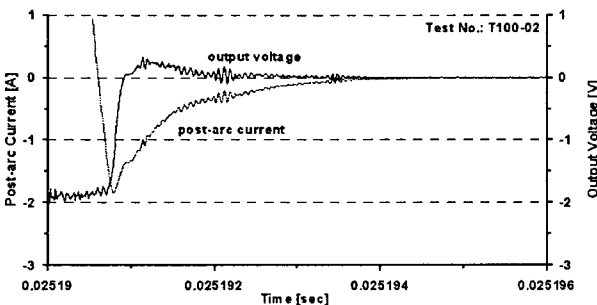
그림 11 전류영점 영역의 관측 Fig. 11 Window of current zero region.

4. 결과 및 검토

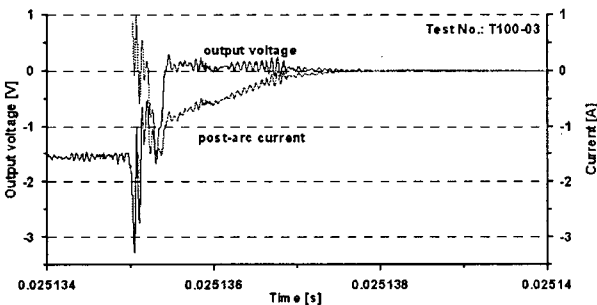
이상의 복잡한 과정을 거쳐 얻어진 아크-후 전류의 파형을 그림 12와 13에 나타내었고, 각 시험번호에 따른 아크-후 전류의 크기를 표 3에 정리하였다.



(a)  $\tau=100\text{ns}$ , 시험번호 T100-01



(b)  $\tau=100\text{ns}$ , 시험번호 T100-02



(c)  $\tau=100\text{ns}$ , 시험번호 T100-03

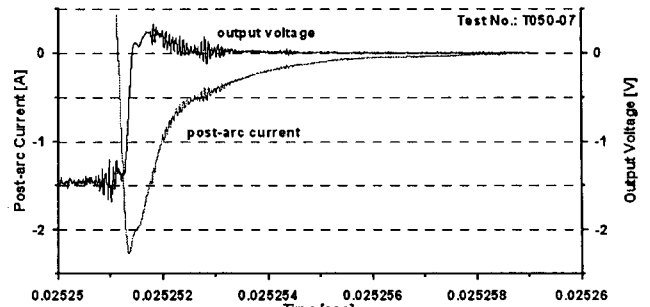
그림 12 아크-후 전류(시정수 = 100ns)

Fig. 12 Post-arc current(time constant = 100ns).

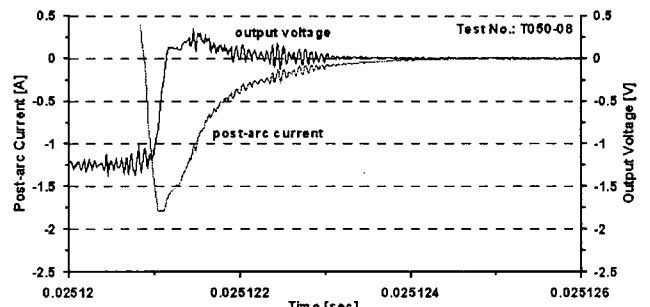
그림 12, 13의 결과에서 동일한 로고우스키 코일에서는 아크-후 전류의 크기가  $di/dt$ (주입전류의 크기)에 따라 비례한다는 것을 알 수 있으며, 아크-후 전류가 0으로 감소하는 시간도 크기에 비례하여 증가한다는 것도 알 수 있다. 아크-후 전류의 크기는 극간의 아크 영역(arc column)에 있어서 에너지 주입과 냉각사이의 경쟁에 따라 결정되므로  $di/dt$ 가 증가하는 만큼 에너지 주입이 늘어났기 때문이다.

한편, 그림 3에 의하면 시정수가 작을수록 출력전압이 증가하여 결과적으로 아크-후 전류의 크기가 동일한 조건에서는 크게 나타나야 하는 데, 표 3의 결과에서는 오히려 더 작아진 결과를 얻었다. 이것은 시정수 50ns의 경우에는 아크 시간이 상대적으로 짧아서 아크 영역으로의 에너지의 주입

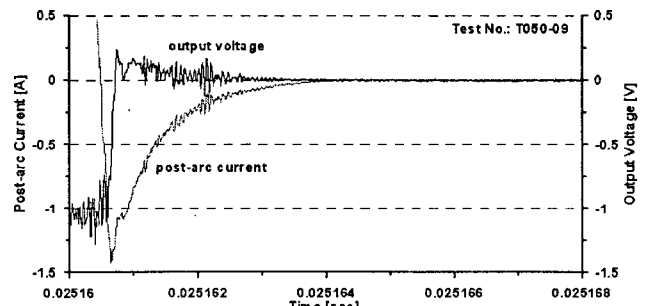
이 작았기 때문인 것으로 판단되며, 정밀한 비교를 위해서는 DAS 시스템의 구성이 보다 복잡해지고 비용이 증가하더라도 직렬로 연결하는 것이 필요하다.



(a)  $\tau=50\text{ns}$ , 시험번호 T050-07



(b)  $\tau=50\text{ns}$ , 시험번호 T050-08



(c)  $\tau=50\text{ns}$ , 시험번호 T050-09

그림 13 아크-후 전류(시정수 = 50ns)

Fig. 13 Post-arc current(time constant = 50ns).

표 3 아크-후 전류 측정결과

Table 3. Measured post-arc current.

| ● 피시콤 차단기 : 38kV 40kA VCB             |            |
|---------------------------------------|------------|
| Rogowski Coil 시정수 $\tau=100\text{ns}$ |            |
| 시험번호                                  | 아크-후 전류[A] |
| T100-01                               | 2.93       |
| T100-02                               | 1.85       |
| T100-03                               | 1.53       |
| Rogowski Coil 시정수 $\tau= 50\text{ns}$ |            |
| 시험번호                                  | 아크-후 전류[A] |
| T050-07                               | 2.28       |
| T050-08                               | 1.79       |
| T050-09                               | 1.41       |

## 5. 결 론

국내에서 아직까지 시도하지도, 확보하지도 못했던 아크-후 전류 측정용, 여러 가지 측정방법과 시스템을 검토하여 전류영점 영역 측정용 로고우스키 코일을 설계/제작하여 아크-후 전류를 측정하였다. 측정방법과 측정시스템을 구축하는 것보다 측정된 결과에서 아크-후 전류를 산출하는 과정에 더욱 더 세심한 주의가 필요하다. 구축된 시스템과 측정방법으로 38kV 40kA 진공 차단기에 적용하여 아크-후 전류를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 설계/제작된 로고우스키 코일의 특성이 아크-후 전류와 같은 전류영점 영역의 아크 파라미터를 측정하는 데 매우 우수하며 유용하다 것을 확인하였다.
2. 아크-후 전류의 크기와 영으로 감소하는 시간이 전류의 기울기(di/dt)에 따라 비례함을 실험적으로 검증하였고, 그 크기는 차단전류 20kA ~ 30kA에서 각각 1 ~ 3[A]정도인 것으로 확인되었다.

시정수에 따른 보다 엄밀한 비교를 위해서는 추가적인 시스템 구성과 함께 로고우스키 코일을 직렬로 결선하는 것을 고려해야 하며, 아크-후 전류의 크기를 결정하는 또 다른 요소는 전압의 기울기(dV/dt)이므로 전압의 상승율의 변화에 대한 추후연구가 필요하며, 또한 진공차단기뿐만 아니라 표류 정전용량에 때문에 처리과정이 좀 더 복잡하고 까다로운 가스차단기(GCB)에서의 측정도 요구되고 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] K.D.Song, B.Y.Lee and K.Y.Park, "Calculation of the post-arc current in a supersonic nozzle by using the k-ε turbulence model", J. Korean Physical Society, Vol. 45, No. 6, pp. 1537~1543, 2004.

- [2] M.Barrault, G.Bernard, J.Maftoul and S.Rowe, "Post-arc current measurement down to ten milliamperes range", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, pp. 1782~1788, 1993.
- [3] R.Mikx, R.P.P. Smeets, KEMA's CZM system technical report.2003.
- [4] 이우영, 박경엽, 송기동 외, 간이차단성능 평가기술 및 시스템 개발, 1997-EL02-E-41, 산업자원부, 2000.
- [5] K.D.Song, B.Y.Lee and K.Y.Park, "Analysis of thermal recovery for SF6 gas-blast arc within Laval nozzle", Jpn. J. Appl. Phys. 42(2003) part1, No. 11, pp. 7073~7079, 2003.

## 저 자 소 개

송 기 동 (宋基東) : Trans. KIEE. Vol. 53B, No.12, pp731, Dec. 2004 참조

정 진 교 (鄭鎭敎) : Trans. KIEE. Vol. 53B, No.12, pp731, Dec. 2004 참조

오 연 호 (吳年浩) : Trans. KIEE. Vol. 54B, No.12, pp32, Jan. 2005 참조

이 우 영 (李佑暎) : Trans. KIEE. Vol. 51B, No.12, pp669, Dec. 2002 참조