

차단기와 모선과의 연결시 가터스프링에 의한 접촉력의 측정 및 설계 고찰

조상순*(LG 산전 전력연구소), 안길영*, 박우진*, 오일성*

Measurement and Design Review of Contact Force by Garter Spring in Connection between Circuit Breaker and Bus Bar

S. S. Cho*(ElectroTechnology R & D Center, LGIS), K. Y. Ahn*, W. J. Park*, I. S. Oh*

ABSTRACT

A garter spring, which is a long, special, close-coiled extension spring with its ends joined to form a ring, is used in connection between vacuum circuit breaker and bus bar in switchgear. To carry short-time current and resist welding at the contact surface in the connection, the garter spring must transmit a uniform contact force to the contact surface through the contact chips arranged in the circumference of bus bar. In this paper, the system for measurement of the contact force by the garter spring is developed. Using the developed measurement system, the design of the connection structure including the garter spring is reviewed to obtain the uniform contact forces in all of contact chips.

Key Words : Switchgear (배전반), Vacuum Circuit Breaker (진공 회로차단기), Bus Bar (모선), Garter Spring (가터 스프링), Flexural Rigidity (휨 강성), Load Cell (로드셀)

1. 서론

최근 고도의 산업발달과 전력장비의 사용증가로 인하여 전력소모량이 많아지면서 보다 효율적이고 안정적인 배전선로의 구분 및 보호 등을 위한 다양한 전력기기 제품의 중요성이 부각되고 있다. 특히 변전소에서 중추 신경의 역할을 하는 배전반 (switchgear, switchboard)은 진공 회로차단기(vacuum circuit breaker), 3 점 스위치(three position switch)와 조작 제어반(control panel) 등의 전력기기들을 갖춘 시스템으로서, 운전원이 계통과 기기의 상태를 감시하고 필요에 따라서 기기의 조작 및 전압, 전류 전력 등의 계측을 할 수 있다. 그리고 사고 시에는 보호계전기로 자동적으로 이상을 검출하고, 과전류와 단락사고 시에 선로를 차단할 수 있는 고압차단기를 동작시키는 지령을 내린다. 이러한 배전반은 12~36kV의 배전선로에 사용되는 것으로, 점차 대형화되어가는 전력설비 용량과 더불어 선로 안전성을 위하여 고신뢰성의 제품이 요구되고 있다.

Fig. 1(a)와 같이 진공 회로차단기, 저압차단기와

계전기들을 사용하여 배전반을 구성할 때, 기계적 과 전기적으로 고려되어야 하는 중요한 요소는 배전반에서 선로의 역할을 수행하는 모선(bus bar)과 진공 회로차단기를 연결하고 전기를 통하게 하는 구조이다. 일반적으로 Fig. 1(b)와 같이 진공 회로차단기는 배전반의 모선과 단단한 고정으로 연결되지 않고 분리가 가능할 수 있는 탈부착 구조를 가지고 있다.

모선과 차단기 사이의 연결구조는 실제 접촉점에서 단시간의 높은 전류에 대한 전자반발력을 견디며 접촉점이 용융되지 않을 정도로 접촉점을 가압할 수 있어야 한다^(1, 2). 그러나 통상적으로 많이 사용되고 있는 구조는 Fig. 2와 같이 모선과 차단기 사이의 전류는 접촉 칩(contact chip)을 통하여 흐르게 하고 접촉 칩과 모선 사이의 일정한 접촉력을 위하여 인장스프링을 환형으로 만든 가터스프링(garter spring)을 사용한다. 이러한 접촉력이 약하면 전자반발력에 의하여 접촉상태를 유지하기 힘들어 전기 사고로 이어질 수도 있으며, 접촉점이 용융되는 문제를 일으키기도 한다. 그리고 접촉력이 강하

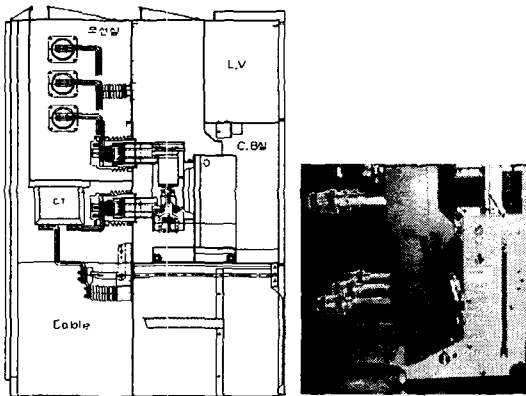
면 실제 차단기와 모선과의 연결시 탈부착을 어렵게 만든다. 그리고 가터스프링이 환형으로 배열된 접촉 칩에 가하는 힘은 동일하게 분포해야 전기적 과 기계적으로 문제를 일으키지 않는다.

미국 ASME/ANSI 의 Mechanical spring representation 에 설명된 가터스프링의 정의는 다음과 같다 (3).

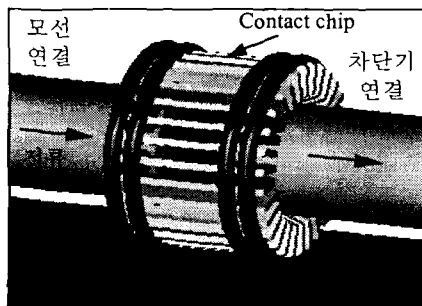
--A garter spring is a long, special, close-coiled extension spring with its ends joined to form a ring. Garter springs are used principally in mechanical seals on shafting, to hold round segments together, as a belt, and as a holding device.

그리고 가터스프링 설계에 요구되는 데이터와 인장 스프링을 사용하여 환형으로 만들 때 사용될 수 있는 스프링 끝부분의 연결방식은 Fig. 3 과 같다.

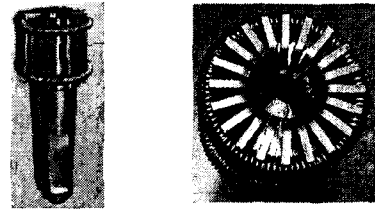
본 논문에서는 배전반에서 모선과 차단기 사이의 연결구조에 사용되는 가터스프링이 접촉 칩에 전달하는 접촉력을 알기 위한 측정시스템을 개발한다. 그리고 개발된 측정장비를 이용하여 가터스프링과 그 연결구조가 접촉 칩에 보다 균일한 접촉력을 주기 위한 설계 방안에 대해서 고찰하고자 한다.



(a) Switchgear (b) Vacuum Circuit Breaker
Fig. 1 Structure of switchgear and vacuum circuit breaker

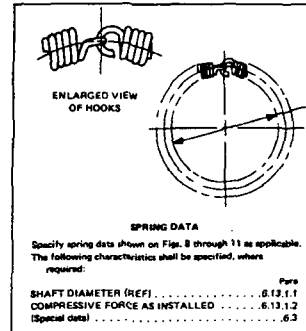


(a) Schematic representation

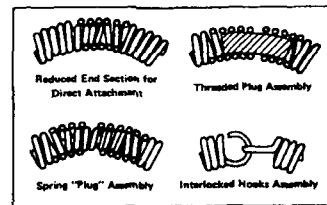


(b) Real structure

Fig. 2 Connection between circuit breaker and bus bar



(a) Drawing requirement for garter spring



(b) Typical end connections for garter springs
Fig. 3 Garter spring in ASME/ANSI Standard

2. 가터스프링에 의한 접촉력

2.1 접촉력의 계산

가터스프링에 의한 접촉력은 Fig. 4 에서와 같이 스프링의 인장력 F 에 의한 수직력 P_s 으로 표현되며 아래 식과 같다.

$$\frac{P_s}{2} = F \sin \frac{\theta}{2} = F \sin \frac{1}{2} \frac{2\pi}{n} \quad (1)$$

여기에서 n 은 사용되는 칩의 개수를 나타내며, 식 (1)을 정리하면 다음과 같다.

$$P_s = 2F \sin \frac{\pi}{n} \quad (2)$$

또한 접촉력 P_s 에 의해 접촉 칩의 접촉면 길이에 작용하는 접촉압력 p 는 아래 식과 같이 표현된다.

$$p = \frac{P_s}{(\pi D_1 - ne)/n} = \frac{2nF}{\pi D_1 - ne} \sin \frac{\pi}{n} \quad (3)$$

여기에서 스프링의 인장력 F 는 다음과 같은 일반적인 스프링 설계식을 사용한다.

$$F = \frac{Gd^4\delta}{8ND^3} \quad (4)$$

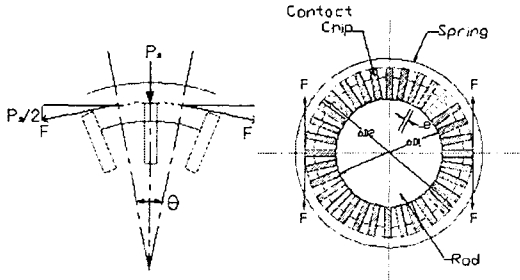


Fig. 4 Contact force by garter spring

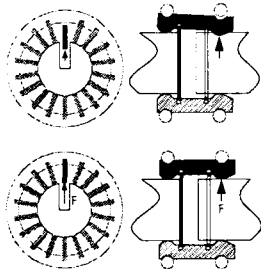


Fig. 5 Principle of measurement of contact force



Fig. 6 Measurement system of contact force

2.2 접촉력의 측정방법

Fig. 5 는 가터스프링에 의한 접촉력을 측정하는 원리를 나타낸다. 접촉력 측정 원리는 Fig. 5 와 같이 모선에 칩 두께 정도의 슬릿 가공하여 가터스프링을 가진 연결구조를 모선에 삽입하면 상부 한 개의 칩은 자유로운 상태가 된다. 그리고 이 상부 칩을 모선의 직경까지 밀어 올릴 수 있는 구조와 로드셀(load cell)을 이용하여 한 개의 칩에 작용하는 접촉력을 측정한다. Fig. 6 는 이와 같은 원리를 이용하여 가터스프링에 의한 접촉력을 측정할 수 있는 시스템을 나타낸다.

Fig. 7 는 본 논문을 통하여 개발된 측정장비를 이용하여 20 개의 접촉 칩으로 이루어진 연결구조에서의 가터스프링에 의해 각 칩에 작용하는 접촉

력을 측정한 결과이다. 그림에서와 같이 스프링에 의한 접촉력이 균일하지 않은 결과를 볼 수 있다. 한편, 1 번 칩의 위치는 코일 또는 후크를 사용하여 인장스프링을 원형으로 연결할 때 발생하는 부위로서 접촉력이 가장 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 모든 칩에 작용하는 접촉력이 균일하도록, 가터스프링과 그 연결구조에 대한 설계방법이 연구되어야 한다.

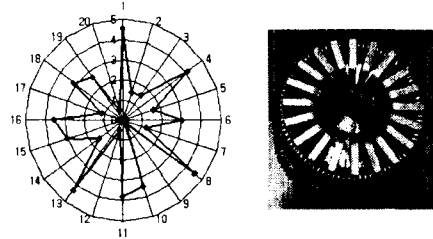


Fig. 7 Results of measurement of contact force

3. 일정한 접촉력을 위한 설계 고찰

3.1 가터스프링의 휨 강성(flexural rigidity)

Fig. 8 과 같이 스프링은 고유의 휨 강성을 가지며 다음 식과 같다⁽⁴⁾.

$$k_B = \frac{4l_0 EIG}{N\pi d(2G + E)} \quad (5)$$



Fig. 8 Flexural rigidity of helical coil spring

본 논문에서 휨 강성의 영향을 관찰하기 위하여 Fig. 9 와 같이 현재의 가터스프링과 비교될 정도로 휨 강성이 아주 작은 고무줄을 이용하여 접촉 칩에 접촉력을 주도록 하였다. 이 경우에 측정된 접촉력으로부터 휨 강성이 작으면 접촉력의 분포가 균일하게 됨을 알 수 있었다.

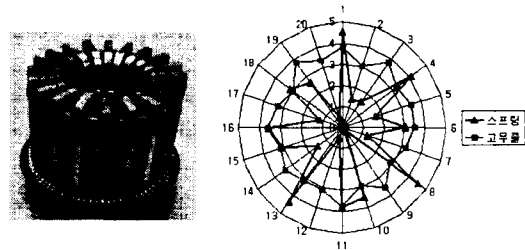


Fig. 9 Comparisons of contact force between garter spring and rubber spring

3.2 가터스프링의 배열

Fig. 3(b)와 같이 일반적인 인장스프링을 이용하여 가터스프링으로 제작할 때 환형으로 만들기 위해 스프링의 양 끝단에서 후크 또는 코일을 사용한다. 따라서 Fig. 10 과 같이 연결 부에서의 휨 강성 때문에 가터스프링이 정확한 원형이 되지 않는 것을 볼 수 있다. 이 원인으로 인하여 Fig. 7 과 같이 1 번 접촉 칩에서의 접촉력이 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 1 번 칩의 접촉력이 크기 때문에 전체적인 접촉력 결과가 시계방향으로 지그재그 형태로 측정되는 것이다. 이런 지그재그 형태의 접촉력을 균일하게 하려면 Fig. 11 과 같이 스프링을 겹으로 사용하고 후크나 코일의 위치를 180° 회전시켜 장착해야 한다. 이를 경우 Fig. 12 와 같이 가터스프링의 연결부에 의한 접촉력이 상쇄되어 균일한 접촉력을 얻을 수 있다.

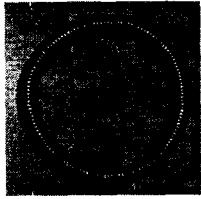


Fig. 10 Non-circular shape of garter spring

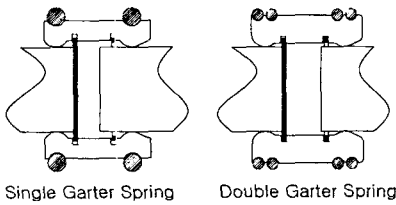


Fig. 11 Schematic diagram of single and double garter springs

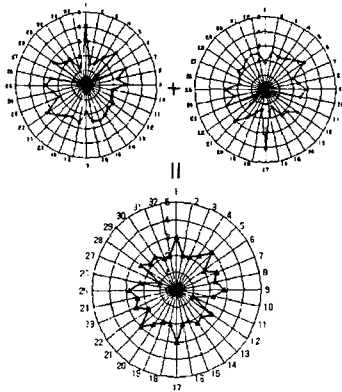


Fig. 12 Distribution of contact force in double garter springs

3.3 접촉 칩의 두께

휨 강성이 큰 스프링인 경우 그리고 Fig. 13 의 왼쪽 그림과 같이 칩의 두께가 얇은 경우, 접촉력이 큰 두 칩 사이의 칩에 공차가 있거나 기울어졌을 때 두 칩과 같은 접촉력을 얻기가 어렵다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법은 칩의 두께를 통전능력 범위 안에서 칩의 개수를 결정하고 두께를 크게 하면 균일한 접촉력을 얻을 수 있다.

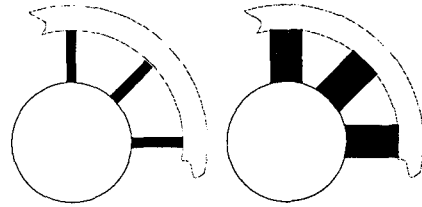


Fig. 13 Effect of thickness of contact chip

4. 결론

본 논문에서는 배전반에서 모선과 차단기 사이의 연결구조에 사용되는 가터스프링이 접촉 칩에 전달하는 접촉력을 측정하기 위한 시스템을 개발하였다. 그리고 개발된 측정장비를 이용하여 가터스프링과 그 연결구조가 접촉 칩에 보다 균일한 접촉력을 주기 위한 설계방안에 대해서 고찰하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

- 1) 가터스프링의 휨 강성이 작은 경우에 보다 균일한 접촉력을 얻을 수 있음을 고무줄을 사용하여 확인하였다.
- 2) 두 개의 가터스프링을 180° 회전하여 사용할 경우, 각각의 스프링에 측정된 지그재그 형태의 접촉력은 서로 상쇄되기 때문에 보다 균일한 접촉력을 얻을 수 있었다.
- 3) 접촉 칩을 두껍게 하여 가공 오차나 조립오차에 의해 발생할 수 있는 불 균일한 접촉력을 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

1. Flurscheim, C. H., "Power Circuit Breaker Theory and Design," Short Run Press Ltd., 1975.
2. Slade, P. G., "Electrical Contacts: Principles and Applications," Marcel Dekker, Inc., New York, 1999.
3. ASME/ANSI Y14.13M-1981, "Mechanical Spring Representation," The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1982.
4. Wahl, A. M., "Mechanical Springs," McGraw-Hill, 1963.