

부스바 접점 가동시 접촉면에서의 압점력 해석

오연호^{*}, 송기동^{*}, 김귀식^{**}, 김진기^{**}
·한국전기연구원, “진광E&C(주)”

Analysis for Force Distribution on Surface Between Busbar Contacts

Y.H.Oh, K.D.Song, K.S.Kim, J.K.Kim
KERI, Chinkwang E&C

Abstract - In case contact between point of contacts is not achieved well, contact resistance is grown, and by current concentration at current conducting contacts can weld. In order to decrease contact resistance between contacts in case of busbar, installing spring between fixed contact and moving contact, and then force on faying surface of contacts increase and contact resistance decrease.

But, in case increase force of spring to widen contact area, operating force moving contact can grow, on the contrary force of spring is small, contact resistance becomes low. Therefore, need to optimize force and number of spring, position, and also need to examine force change on contact surface at point of contact moving.

In this paper, dynamic kinetics analysis for force on faying surface of contacts is performed at unsteady state. It is showed to not uniform force on surface between contacts, and we can get more uniform force by means of change spring position.

1. 서 론

개폐기의 일종인 단로기는 크게 개폐부와 조작기의 두 가지 주요 구성성분으로 이루어진다. 이 중 접점은 개폐부의 필수 요소로서 대개 부스바(busbar) 형태의 고정접점과 가동접점으로 이뤄지며, 가동접점에는 조작기와의 연결을 위해 링크(link)가 설치되어 있다.

접점은 전류 통전시, 허용된 온도 이상의 열량을 발생시키지 말아야 하며, 빈번한 개폐동작에도 손상없이 작동하여야 한다.

접점에서 발생하는 열량은 주로 도체의 저항에 의한 주울열(Joule heating)이며, 단락시 과도한 전류가 흐를 경우 도체에 직접적인 손상을 입힐 수 있다. 이 경우 접점 자체의 저항보다 접점과 접점이 맞닿아 있는 접촉면에서의 저항으로 인해 도체가 손상을 받게 된다.

두 접점간 접촉면에서의 저항을 접촉저항이라고 부르며, 접점간의 실제 접촉 면적이 작을수록 그 값은 커진다.

접촉저항을 줄이기 위한 방법으로 접촉면의 압력을 높이는 방법이 있다[1]. 배전급 단로기의 경우 대개 접점의 압점력을 높이기 위해 스프링을 설치하게 된다.

그러나 접촉저항을 최소화하기 위해 무리하게 스프링의 힘을 증가시키거나 개수를 늘릴 경우 개폐동작시 큰 조작력이 요구되며, 접촉면이 쉽게 손상될 수 있다. 반대로 힘이 작은 경우 압점력이 낮아져 접촉면적이 작아지게 된다.

따라서, 스프링의 힘과 개수, 위치 등을 최적화할 필요가 있으며, 또한 접점 가동시에 접촉면에서의 압점력 변화를 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 단로기의 핵심요소인 접점의 압점력 계산을 수행하였다. 이를 위해 상용 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn을 이용하였으며 동적인 상태에서 접점간의 압점력 계산을 수행하였다. 해석 결과 압점력이 접촉면에 불균일하게 작용하였으며, 동작시 가동접점이 쉽게 마모되거나 손상될 수 있음을 확인하였다. 또한 좀 더 균일한 압점력 분포를 위해 스프링의 위치를 변경하여 해석을 수행하였으며, 그 해석결과를 본 논문에 제시하였다.

2. 본 론

2.1 해석모델

그림 1은 본 연구에 사용된 해석모델을 나타내고 있다. 상부 및 하부에는 고정접점이 위치하고 있으며, 가동접점은 하부의 고정접점에 고정된 상태로 가동하게 된다. 가동접점은 실제 링크의 회전운동을 통하여 개폐동작을 수행하며 (그림 3. 참조), 접점간의 압점력을 높이기 위하여 스프링이 설치되어 있다. 가동접점은 4개의 블레이드(blade)로 나뉘어 지며, 실제 고정접점과의 접촉은 이 부분을 통해 이뤄진다. 따라서 각 블레이드에 작용하는 압점력을 따로 검토할 필요가 있다. 접점의 재질은 구리(Cu)이며, 표면에는 전기전도도를 높이기 위해 은으로 코팅(coating)되어 있다. 링크는 빈번한 개폐동작을 견디기 위해 높은 강도로 설계된 애피시 절연물을 이용하였다.

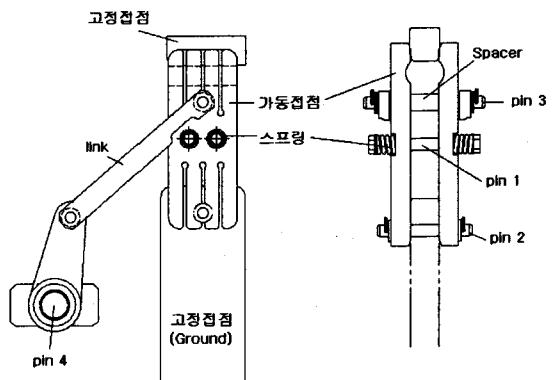


그림 1. 해석모델

동역학 해석을 위해 시스템을 모델링 할 때 먼저 시스템 구성요소의 각 부품들을 모델링한 후 그 부품들 간의 운동에 대한 연결상태를 구속조건(Constraint)으로 정의하여야 한다.

pin 1은 가동접점과 스프링, pin 2는 가동접점과 하부의 고정접점, 그리고 pin 3는 가동접점과 링크를 연결하며 회전운동을 하게 된다. pin 4는 링크의 회전축에 대한 함수를 정의할 수 있으며, 이를 통해 가동접점의 회전각속도를 입력할 수 있다. 가동접점의 회전각속도는 $\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{13}$ [rad/sec] 이다.

압점력을 높이기 위해 설치된 스프링의 힘은 각각 40 [kg·f]이며 탄성계수는 6.6으로서, 가동접점에 총 160 [kg·f]의 힘이 가해진다.

본 연구에서는 동역학적인 관점만을 검토하기 위해 접점은 모두 강체(rigid body)로 가정하여 해석을 수행하였으며, 해석시간의 절약을 위해 가동시 및 압점력에 따른 응력해석은 이번 연구에 포함되지 않았다.

실제 가동접점이 고정접점에 접촉되는 부위를 그림 2에 나타내었으며, 이 때 각 블레이드의 압점력을 F_a , F_b , F_c 그리고 F_d 로 표기하였다.

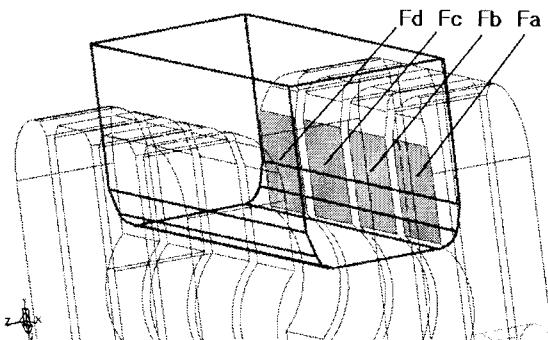


그림 2. 고정접점과 가동접점의 접촉면 사이의 힘 : F_a , F_b , F_c , F_d

2.2 해석결과

그림 3은 접점의 시간에 따른 가동 동작을 보여주고 있으며 가동접점이 $\pi/2$ 이동하는데 소요되는 시간은 13초이다.

표 1은 정지 및 가동시 각 압점력의 최대값을 나타내고 있다. 가동접점이 정지한 경우에는 F_a 와 F_d 가 각각 304[N], 357[N]으로 비슷한 값을 나타내고 있으며, F_b 와 F_c 는 102[N]으로서 F_a 와 F_d 보다 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 가동접점에 설치된 링크의 무게로 인해 F_b 와 F_c 의 압점력이 떨어지는 것으로 판단되며, 스프링의 위치를 변경하여 각 부위의 힘을 균일하게 할 필요가 있다. 그림 4는 시간에 따른 압점력 F_a , F_b , F_c , F_d 의 분포를 보여주고 있다. 여기서 가동접점은 $\pi/2$ 이동한 후 2초간 정지한 상태에서 다시 ES에서 DS로 동작한다. 그림 4에서 가동접점이 고정접점을 이탈 및 접촉하는 시간은 대략 4[s] 및 24[s]이며, 그 순간에 힘 F_a 는 867[N]으로서 매우 큰 값을 나타내고 있다. 이 경우에도 F_b 와 F_c 는 F_a 와 F_d 보다 낮은 값을 나타내고 있다. 가동시 F_a 가 크다는 것은 빈번한 개폐동작시 이 부분이 빨리 마모되거나 손상될 수 있다는 것을 나타낸

다. 그러므로, 이 부분의 형상 변경 및 압점력의 최적화를 통해 손상을 최소화해야 한다.

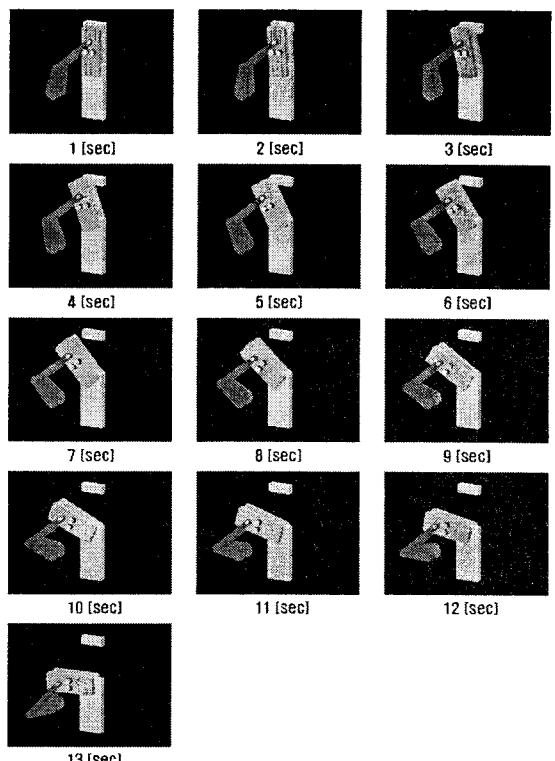


그림 3. 시간에 따른 가동접점의 동작 모습

표 1 정지 및 가동시 압점력의 최대값

구분	F_a [N]	F_b [N]	F_c [N]	F_d [N]
정지시	304	102	102	357
가동시	867	188	158	337

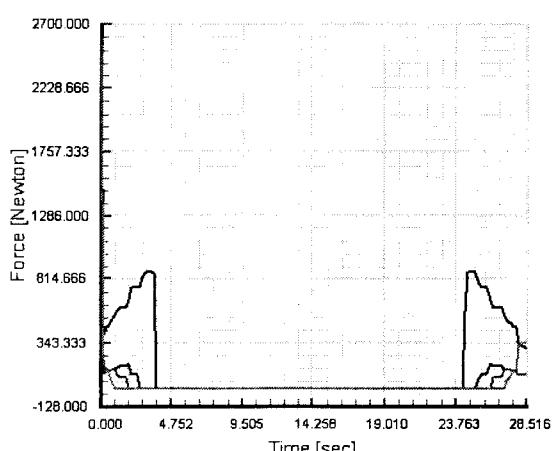


그림 4. 시간에 따른 압점력 분포

가동접점의 각 블레이드에 균일한 압점력을 얻기 위해 그림 5와 같이 스프링의 위치를 변경하였다. 먼저 Type A 는 x 축 방향으로 스프링을 각각 +3, -3 [mm] 이동시킨 경우이며, Type B 는 Type A에서 y 축 방향으로 +5 [mm] 이동시킨 경우이다. 이 경우의 각 블레이드의 최대 압점력을 표 2에 나타내었다.

먼저 Type A 는 정지시 Fa, Fb, Fc 가 104, 95, 97[N] 으로 비슷한 값을 나타내고 있으며 Fd 가 323[N]으로 큰 값을 나타내고 있다. 가동시 최대 압점력은 Fa 에서 발생하지만 원 모델에 비해 다소 낮은 값을 나타내고 있어 개폐 동작시 충격을 덜 받을 것으로 예상된다. Type B 는 정지시 원 모델에 비해 Fa 의 값은 다소 낮지만 다른 부분은 거의 동일하다. 가동시 Type B 는 원 모델에 비해 대체적으로 모두 낮은 값을 나타내고 있다. Type A 에 비해 Type B 는 원 모델과 거의 흡사한 분포를 나타내고 있으며, 이는 압점력 분포를 변화시키기 위해 y 축 방향으로 스프링의 위치를 변경하는 것이 압점력 분포에 큰 영향을 주지 않음을 의미한다.

따라서, x 축 방향으로 스프링의 위치를 변경하면서 스프링의 강도를 조정하는 것이 좀 더 균일한 압점력 분포를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

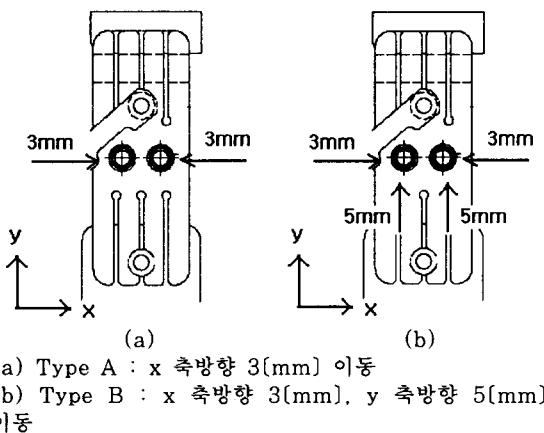


그림 5. 균일한 압점력 분포를 위한 스프링 위치 변경

표 2 스프링의 위치 변경시 압점력의 최대값

구분	Fa [N]	Fb [N]	Fc [N]	Fd [N]
정지시	A	104	95	97
	B	274	107	102
가동시	A	689	145	122
	B	822	174	143

3. 결 론

본 연구에서는 단로기의 핵심요소인 접점의 압점력 계산을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동적 상태에서 접점의 압점력 변화를 해석하였으며, 개폐동작시 접점이 받는 힘을 계산하였다.

2) 해석을 통하여 접촉면에서의 압점력이 불균일하게 작용하였으며, 스프링의 위치 변경을 통하여 좀 더 균일한 압점력 분포를 얻을 수 있었다.

향후 본 연구결과를 바탕으로 접점의 압점력과 접촉저항, 그리고 주울열의 관계를 정량화하여 실제 접점의 용융현상을 모의하고자 한다.

이를 위해서는 먼저 접점에 작용하는 압점력과 접점간 접촉저항의 관계를 확립하여야 하며, 접촉저항에 의한 열이 접점에 미치는 영향을 계산하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프린티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] R. Holm and E. Holm, "Electric Contacts : Theory and Application", Springer-Verlag, New York, 1967
- [2] 高木 相, "電氣接點のアーキ放電現象", コロナ, 1995,
- [3] Thomas E. Browne, Jr., "Circuit Interruption : Theroy and Techniques", Dekker, p565-604, 1984
- [4] J. A. Greenwood and J. B. P. Williamson, "Contact of nominally flat surfaces", Proc. R. Soc. Lond. 295A : p300-319, 1966
- [5] J. A. Greenwood, "Constriction Resistance and The Real Area of Contact", Brt. J. Appl. Phys. 17 : 1621-1632, 1966
- [6] P. Silvester, "Skin effect in multiple and polyphase conductors", IEEE Trans. Power Appar. Syst. PAS-88(3):231-237, 1969
- [7] Z. Feng, S. S. Babu, M. L. Santella, "An Incrementally Coupled Electrical-Thermal-Mechanical Model for Resistance Spot Welding", 5th International Conference on Trends in Welding Research, 1998
- [8] T. Takagi, "Relationship between Contact Operating Conditions and Contact Phenomena in Ag and Pd Breaking Contacts", ICEC-IEEE Holm'90, Montreal, 1990