

< 논문 >

영구자석형 조작기를 갖는 진공차단기의 동적거동

유 련* · 김영근* · 이성호* · 조해용*
(2006년 12월 1일 접수, 2007년 4월 25일 심사완료)

Dynamic Behavior of Vacuum Circuit Breaker with Permanent Magnetic Actuator

Lyun Yu, Young Geun Kim, Sung Ho Lee and Hae Yong Cho

Key Words: Vacuum Circuit Breaker(진공차단기), Permanent Magnetic(영구자석), Adams(아담스)

Abstract

A vacuum circuit breaker (VCB) with permanent magnet actuator (PMA) has been studied in this study. Electromagnetic field analysis and dynamic simulations have been carried out for optimal design of VCB by using commercial software Maxwell and ADAMS. This simulation model can be an effective method for the VCB, which has non-linear output force of PMA, friction, and impact for operations. An experiment has been conducted to evaluate correctness of the simulated model. By using this evaluated model, the displacement and velocity characteristics of the VCB have been simulated with following conditions : (1) The different output forces of PMA have been applied, (2) The friction conditions in follow lever shaft and moving part have been changed, (3) The mass conditions of moving part have been changed. The simulated results shows that the velocity characteristics are mainly determined by the output force of PMA. The effects due to the changes of friction conditions against the dynamic characteristics was small, and the mass conditions of the moving parts affect the velocity and a bouncing phenomenon of VCB. From these results, the optimal design conditions for the VCB have been derived.

1. 서 론

전기회로에 사용되는 개폐장치인 차단기는 정상전류는 물론 비정상적인 큰 전류의 개폐에도 사용할 수 있도록 고안된 장치이다. 차단기의 종류중 하나인 진공차단기는(Vacuum Circuit Breaker, VCB) 진공 중의 높은 절연내력과 차단 매체로서의 아크 확산능력, 그리고 환경 오염물의 배출이 적은 장점을 가지고 있다.

진공차단기는 진공 인터럽터(VI)부와 이를 구동시킬 수 있는 구동 메커니즘부로 구성된다.

진공인터럽터는 접점의 개폐(closing, opening) 시에 발생하는 아크를 소호시키는 역할을 하며, 구동 메커니즘부는 인터럽터 가동부에 요구되는 동역학적특성을 구현할 수 있도록 한다. 이러한 구동 메커니즘의 기능은 상당히 단순하지만, 개폐 운동과 접점이 폐로 상태로 지속 유지되도록 하는 과정에 많은 특성들이 연관되어 있기 때문에 이를 결정하는데 많은 어려움이 있다.

최근 차단기 구동 메커니즘의 신뢰성을 높이기 위하여 많은 연구가 진행 중이다. Heising⁽¹⁾은 진공차단기의 기계적인 문제점에 대하여 연구하였고, Mckean 등⁽²⁾은 영구자석형 메커니즘에 대하여 진공인터럽터의 개폐 동작과 관련된 자력 분포 특성에 관한 연구를 하였다. You 등⁽³⁾은 영구자석형 조작기의 동역학적 운동에 대한 방정식을 유도하였고, Xin 등⁽⁴⁾은 영구자석형 조작기의 이동자운동이 진행되는 동안의 자력 분포에 대하여

† 책임저자, 회원, 충북대학교 기계공학부
E-mail : hycho@chungbuk.ac.kr
TEL : (043)261-2464 FAX : (043)263-2448
* LS산전(주)

해석하였으며 Shaohua 등⁽⁵⁾은 적층 코어의 형상을 재구성하여 자력 분포의 특성과 영구자석형 조작기 가동부의 속도 특성에 대한 연구를 하였다. Liu 등⁽⁶⁾은 유한요소법을 이용하여 영구자석형 조작기의 반발력에 대한 특성 곡선을 구하고, 이를 이용하여 가동부의 속도를 계산하였다.

본 연구에서는 다물체 동역학 해석기법을 이용한 영구자석형 진공차단기의 설계에 대하여 영구자석형 조작기와 연결 기구부 및 진공 인터럽터의 영향을 고찰하고자 하였다.

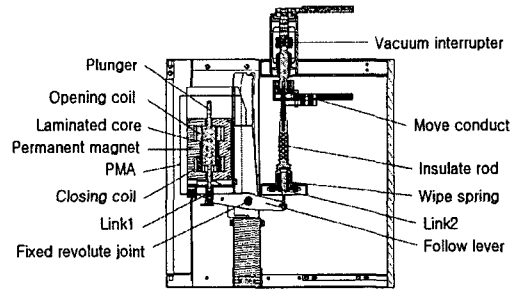


Fig. 1 Structure of PMA vacuum circuit breaker

2. 동역학 해석 및 실험

본 연구는 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 영구자석형 진공차단기의 운동 특성을 분석하기 위한 해석 모델을 수립하였고 특히 영구자석형 조작기의 출력 값은 상용 전자계 해석 프로그램인 Maxwell을 이용하여 출력 데이터를 구하였으며, 여기서 확보한 데이터를 ADAMS 해석 모델에 연계 적용하여 진공차단기의 전체적인 동역학적 거동을 해석하였다. 또한 레이저센서를 이용하여 실제품의 변위 선도를 구하고 상기의 해석 모델의 결과와 비교하였으며, 영구자석형 조작기의 출력 조건, 기구 구성부품간의 마찰 조건, 가동부의 질량을 변화시킨 모델을 실험하였다.

2.1 해석 모델링

Fig. 1은 영구자석형 진공차단기의 구조를 나타낸 것이다. 그리고 진공차단기의 개폐동작 중 투입(closing) 운동에 대한 모델을 동역학적 특징과 관련이 있는 부품만으로 구성하여 단순화된 해석 모델의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 해석 모델에서 영구자석형 조작기 적층코어는 대지에 고정시키고, 병진조인트를 이용하여 이동자가 코일과 영구자석의 자계 분포에 따라서 상하 운동이 되도록 하였다. 그림에서 영구자석형 조작기의 이동자는 연결링크를 이용하여 개폐레버에 연결되며, 개폐레버 양단은 핀 조인트로 구속된다. 가동부 도체와 절연 로드는 하나의 몸체로 구성하되 진공 인터럽터 하단에 왕복운동을 위한 병진조인트가 부착된다. 모델링 과정은 다음과 같다.

첫째로, 진공차단기의 동작 특성에 영향을 미치는 요소인 각 부품의 조인트와 마찰에 대하여 동적 구속 조건을 설정 하였다. 둘째로, 상용 전자계 해석 프로그램인 Maxwell을 이용하여 조작

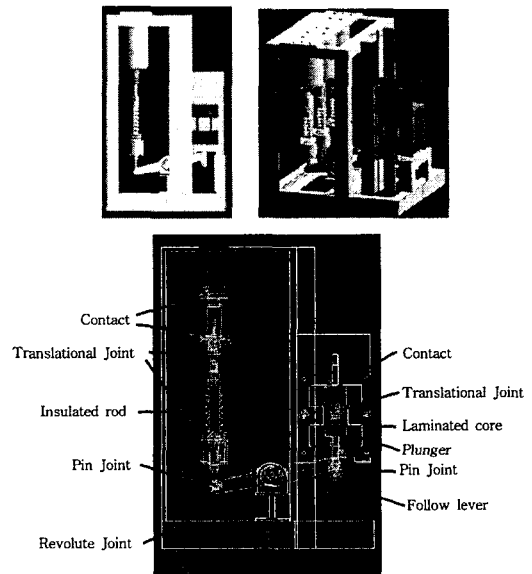


Fig. 2 Simulation model using ADAMS

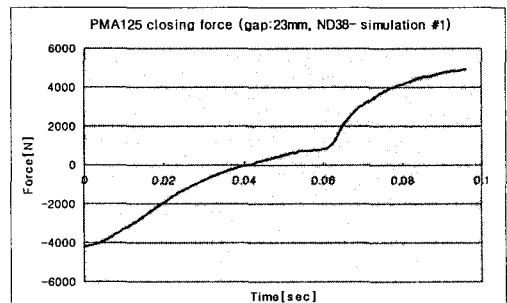


Fig. 3 Simulation output force data of PMA using Maxwell

기의 출력 결과를 Fig. 3과 같이 구하였으며, 이 결과를 가동 이동자 출력 조건으로 입력하였다. 다음으로, 가압스프링 상수(stiffness), 초기 하중,

Table 1 Parameters of rigid bodies in PMA vacuum circuit breaker

	Mass (kg)	Moment of inertia (kg·mm ²)					
		Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Iyz	Izx
Plunger	6.97	2.25 × 10 ⁴	1.52 × 10 ⁴	1.02 × 10 ⁴	-	-	-
Follow lever	5.58	8.04 × 10 ⁴	1.51 × 10 ⁴	6.61 × 10 ⁴	-	-	-
Link2	0.2	223.63	8.14	223.74	-	-	-
Move part	4.02	3.13 × 10 ⁴	442.6	3.1 × 10 ⁴	-5.34 × 10 ²	7.67	8.0 × 10 ⁶

자유장 길이 등의 설계 데이터를 적용하여 모델을 구성하였다. Table 1은 해석 모델에 적용된 구성요소들의 파라미터 값들을 정리하여 나타낸 것이다.

이동자의 출력 조건으로 입력한 Maxwell의 해석 결과에 대하여 살펴보면, Fig. 1과 같이 2개의 코일, 영구자석, 적층 코아 및 이동자(plunger)로서 구성된 조작기에 페로 동작을 위해 전류를 페로 코일에 인가하면 적층 코아의 하단부에 자계가 형성되어 이동자를 하부로 끌어당기는 힘이 작용한다. 이 힘은 전류가 증가함에 따라 커지며, 영구자석에 의해 이동자가 고정되는 힘을 초과하는 순간 운동이 시작된다. 운동의 초기에는 영구자석에 의한 자력의 영향으로 인하여 이동자가 하부로 이동하고자하는 출력이 서서히 증가하다가, 이동거리가 차츰 증가하여 영구자석의 영향에서 벗어남에 따라 이동자의 출력은 급격하게 증가하게 되어 Fig. 3과 같은 출력 형태를 나타내게 된다.

2.2 동역학 실험

2.2.1 동특성 실험의 구성

메커니즘의 변위 특성을 측정하기 위한 실험 모델을 구성하였다. Fig. 4는 영구자석형 진공차단기 가동부의 변위 및 속도를 측정하기 위한 실험 장치이다. DC110V전원으로 영구자석형 조작기의 코일을 여자시켜 조작기를 구동하도록 되어 있다. 진공차단기 가동부의 변위 및 속도 측정을 위해서 레이저센서를 이용하여 출력신호를 감지하도록 하고, 오실로스코프를 이용하여 출력값을 측정하도록 하였다.

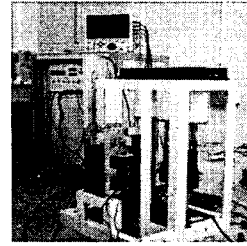


Fig. 4 Experimental equipment for the measurement of displacement and velocity of moving part

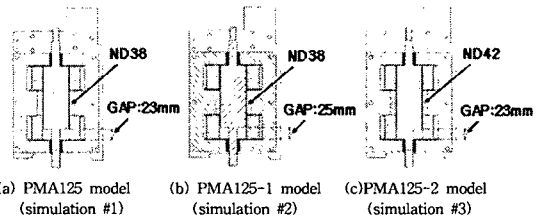


Fig. 5 Structural comparison of different types of PMA

Table 2 Comparison of specification of permanent magnet

	Magnetic Properties			
	Max Energy product BH _{max} (kJ/m ³)	Residual Induction B _r (mT)	Coercivity H _c (kA/m)	Intrinsic Coercivity H _{ci} (kA/m)
ND38	300	1250	950	1190
ND42	340	1310	1010	1190

2.2.2 PMA 출력 변화

Fig. 5는 영구자석형 조작기의 출력에 대한 해석결과의 비교를 위해서 기존 해석모델과 이동거리 및 영구자석의 종류를 변경시킨 2가지의 조작기 해석 모델을 나타내며, Table 2는 적용된 영구자석의 사양을 비교하여 나타내었다. 기존 해석 모델에 적용된 조작기가 Fig. 5의 (a)로, 영구자석 ND38을 적용하고 이동자의 이동거리는 23mm를 갖는 구조이다. 이에 비하여 (b)모델은 영구자석을 그대로 유지하고 이동자의 길이를 2mm 줄여서 이동거리를 25mm가 되도록 구조 변경하였다. (c)모델은 자기력의 선속밀도가 ND38에 비하여 약 5% 증가한 값을 갖는 ND42로 영구자석을 적용하고, 이동자의 이동거리는 23mm를 갖도록 하였다. (a)와 (b)모델의 비교를 통하여 이동자의 이동거리에 대한 영향을 분석하고, (a)와 (c)모델의 비교를 통하여 영구자석의 자속밀도에 관한 영향

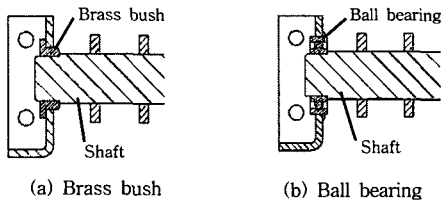


Fig. 6 Comparison of friction conditions in follow lever shaft

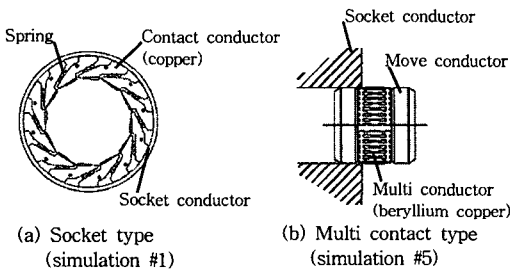


Fig. 7 Comparison of friction models in moving conductor part

을 살펴보았다.

2.2.3 마찰 조건 변경

진공차단기의 운동 특성에 대한 마찰 요소의 영향을 살펴보기 위하여 다음과 같이 마찰 조건을 변경하였다. Fig. 6은 마찰을 줄이기 위하여 황동부시를 대신하여 볼베어링을 적용한 그림이다. Fig. 7은 가동부 도체의 마찰을 줄이기 위하여 변경된 접점 방식을 나타내고 있는 것으로, Fig. 7의 (a)는 구리 접점과 스프링의 가압력을 이용한 방식이고 (b)는 탄성이 강한 베릴륨동 재질을 이용한 멀티 접점을 나타내고 있다. 그리고 Table 3은 각각의 해석모델에서 적용한 마찰계수를 나타내고 있다. 해석 모델에 Fig. 6의 (a)와 Fig. 7의 (a)의 조건을 설정하고(simulation #1), Fig. 6의 (b)와 같이 개폐레버 회전축에서 볼베어링을 설정하였으며(simulation #4) Fig. 7의 (b)와 같이 마찰계수가 낮은 멀티접점을 설정하여 해석하였다(simulation #5).

2.2.4 가동부 질량 변경

Fig. 8은 영구자석형 진공 인터럽터의 가동부의 구성품과 질량을 나타낸다. 가동부 질량은 각 부품의 질량을 모두 합한 값을 적용하였다. 상기의 가동

Table 3 Friction coefficient in the follow lever shaft and move contact

	Friction coefficient of follow lever shaft		Friction coefficient of move contact	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
simulation #1	0.5	0.4	0.7	0.57
simulation #4	0.01	0.003	0.7	0.57
simulation #5	0.5	0.4	0.34	0.16

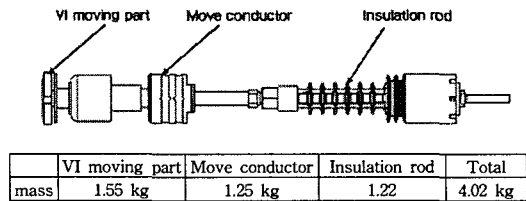


Fig. 8 Structure and mass properties of moving part of PMA circuit breaker

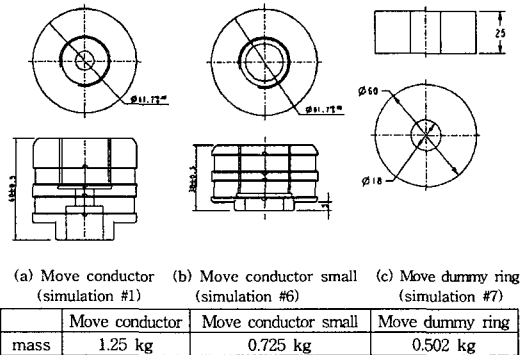


Fig. 9 Comparison of design and mass properties for simulation of mass effect

부 구성품 중 진공인터럽터의 가동부와 절연로드의 질량을 변화시키지 않는 범위에서 가동 도체의 질량을 감소시킨 후 해석을 진행하고, 또 가동부에 질량 추를 고정시키는 방법으로 증가시켜서 해석을 진행하여 결과를 비교하고자 하였다.

Fig. 9에서는 기존 해석모델에 적용된 가동 도체와 질량을 감소시키고자 설계 변경된 가동 도체, 그리고 질량 증가를 위한 질량 추를 나타내었다. 질량 감소와 증가는 약 500g을 기준으로 하였다. 기존의 해석 모델에 적용된 가동 도체의 질량을 약 500g 감소시키면서 기존 가동 도체의 설계 형상을 유지하기 위하여 도체의 지름을 유지하고 높이를 감소시켰다. 또한 유사한 질량을 갖도록 설계된 질량 추는 절연로

드 하부에 추가로 고정시켜 해석하였다. 기존 해석 모델(simulation #1)에 적용된 가동부 전체의 질량은 4.02kg으로 Fig. 8에 나타내었고 Fig. 9의 (b)와 같은 도체를 적용할 경우 가동부 질량은 3.52kg, (c)의 질량 추를 추가할 경우 가동부 질량은 4.52kg으로 설정하여 속도 및 변위의 특성 변화를 고찰 하였다.

3 결과 및 고찰

3.1 조작기 초기 모델의 변위에 대한 해석과 실험 결과 비교

Fig. 10은 해석모델과 실험을 통하여 얻은 영구자석형 진공차단기의 가동부 변위결과를 나타낸 것이며, Table 4는 가동부의 해석 및 실험 결과이다. 그래프에서 전체 이동거리를 비교해 보면, 변위의 해석결과와 실험결과가 각각 17.1mm, 17.4 mm로 약 1.8%의 오차로 근접한 결과를 나타내고 있으며, 진공인터럽터 접점의 속도를 비교해보면 해석상의 결과는 약 0.52m/s이고 실제 실험 결과는 0.55m/s로서 약 5.8%의 오차를 볼 수 있다. 즉 가동부가 이동하기 시작하여 약 50ms까지는 일치하는 운동 특성이며, 이후부터 가압 스프링의 반발력이 커지기 시작하는 15mm 이동까지의 해석결과는 실험결과에 비해 약 4.4%의 시간지연 현상이 발생하는 것을 볼 수가 있다. 실험 결과에서는 가압 스프링의 반발력이 크게 작용하는 시점(length=15mm)에서 속도가 순간 감소되었다. 그리고 진공인터럽터의 접점이 접촉한 이후 충격 반발력에 의해 접점이 분리되는 개리 현상이 실험에

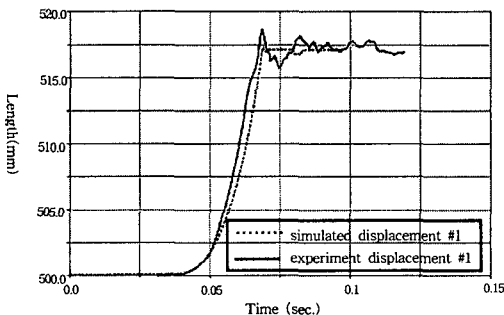


Fig. 10 Comparison of simulated and experimental displacement of moving part

Table 4 Comparison of mechanical specification of simulated and experimental result

	Experimental result #1	Simulated result #1
Displacement (mm)	17.4	17.1
Close speed (m/s)	0.55	0.52

서는 10ms동안 1.7mm정도였으나 해석 결과는 4ms동안 0.4mm 정도가 발생했다. 이와 같이 해석과 실험결과 사이에는 다소 차이가 발생하고 있지만 운동 변위, 속도, 개리 현상 특성 등을 통해서 해석모델의 결과가 상당히 양호한 것으로 판단된다.

3.2 영구자석형 조작기의 출력 증가에 따른 특성 변화

영구자석형 조작기는 종래 스프링 메커니즘과 달리 비선형적인 출력곡선을 갖는데, 이런 비선형적 출력특성의 변화가 차단기의 동적특성에는 어떠한 영향을 미치는지 해석을 통하여 고찰하였다.

Fig. 12는 Fig. 5와 Fig. 11의 구성 및 출력조건을 갖는 영구자석형 조작기를 각각 적용하여 얻은 진공차단기의 투입 변위 및 속도의 해석 결과이다. 이동자의 크기를 줄여 이동거리를 25mm가

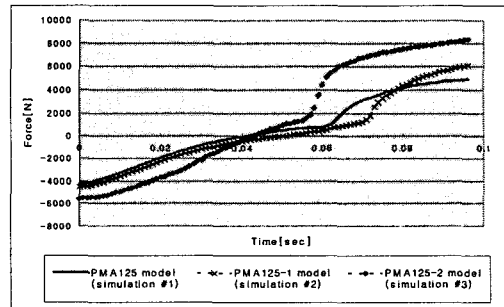
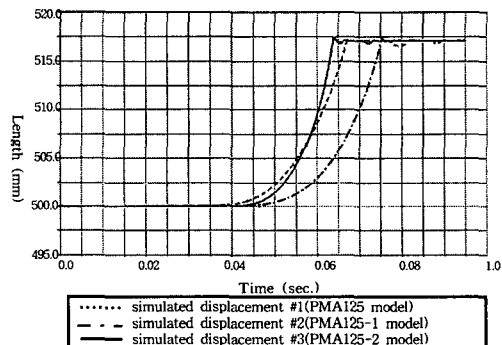


Fig. 11 Comparison of closing force using 3 different models of PMA



	(a)Simulation #1	(b)Simulation #2	(c)Simulation #3
Move conduct velocity (m/s)	0.52	0.5	0.7

Fig. 12 Comparison of simulation results of displacement and velocity by different PMA output force

되도록 변경한 Fig. 11의 (b)모델의 경우, 가동부의 운동에 영향을 미치는 유효 출력 범위가 지연되어 Fig. 11의 (a)모델에 비하여 5ms 지연됨을 알 수 있다. 전체적인 투입 속도는 0.5m/s로 기존 (a)모델에 비하여 4% 정도 줄어들었다. Fig. 11에서 보면 80ms 이후에 (b)모델의 출력이 (a)모델의 출력을 추월하지만 차단기의 운동이 완료되는 시점 이후에 출력이 증가하므로 동적 특성에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. (c)모델의 경우는 (a)모델에 비하여 가동부의 이동 시작 시점이 4ms정도 지연되었지만, 투입 속도가 약 35% 정도 상승한 결과를 나타내었다. 초기 위치에서의 자력에 의한 유지력이 강하기 때문에 운동의 시작이 조금 지연되었을 것으로 판단된다.

해석 결과를 분석해보면 영구자석형 진공차단기의 투입 속도 특성은 영구자석형 조작기 이동자의 출력 특성에 영향을 받아 운동 초반부의 속도가 상대적으로 느리게 진행되고, 출력이 약 900N 이상으로 발휘되는 시점에서부터 속도가 빠르게 상승하는 것으로 판단된다. 이동자의 이동거리를 증가시키고, 자속 밀도 값이 높은 영구자석을 적용하여 조작기의 출력을 증가시키는 것보다는 유효 출력 범위를 요구 시간동안 출력할 수 있는 영구자석을 설계하는 기술이 필요하다.

3.2 차단기 투입 특성에 대한 마찰요소의 영향

영구자석형 진공차단기 투입 특성에 대한 마찰요소의 영향을 살펴보기 위하여 Table 3에 나타난 마찰계수 조건을 각각 적용해가며 가동부의 변위와 속도에 대하여 해석하였으며 그 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 마찰 조건을 달리한 상태

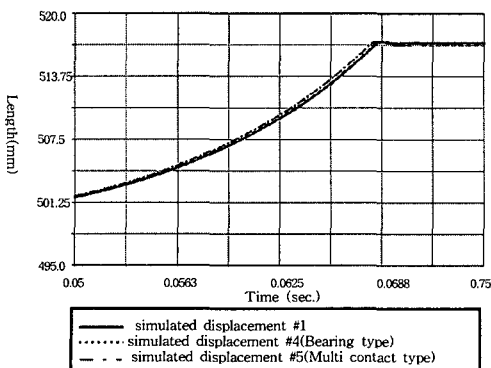


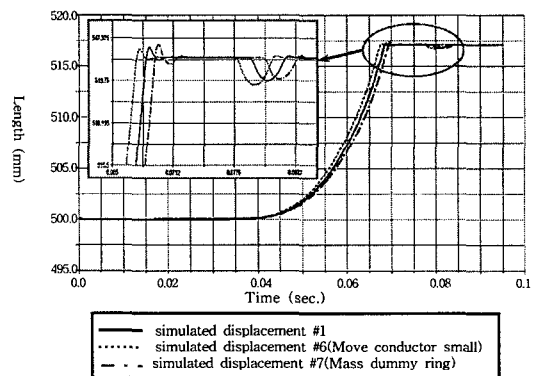
Fig. 13 Comparison of simulation result with different friction conditions

에서 투입 속도의 변화는 상당히 미미한 것을 볼 수 있다. 특히 Table 3의 해석 모델 4에서와 같이 개폐레버의 고정회전축 지지 부분을 볼베어링으로 적용한 경우 진공차단기의 변위 및 투입 속도 변화가 미미하였다. 해석 모델 5와 같이 마찰계수가 낮은 멀티접점을 가동부 도체에 적용한 경우에도 투입 속도의 증가량이 약 1.1%였다. 영구자석형 조작기의 출력이 클수록 마찰에 의한 투입속도의 변화량은 줄어들 것으로 판단되며, 개폐레버 회전축에서의 마찰 영향보다 가동부 도체에서의 마찰을 줄이는 것이 투입 속도에 향상에 더 효과적일 것으로 생각된다.

3.3 가동부 질량 변화에 대한 영향

본 논문에서는 영구자석형 진공차단기 가동부의 질량 변화가 운동 특성 변화에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 해석 결과를 Fig. 14에 나타내었으며, 가동부의 질량이 약 500g 감소했을 경우 투입 속도가 약 3.8% 증가하고, 반대로 질량이 약 500g 증가했을 경우에는 약 2%정도 투입 속도가 감소하는 것을 알 수 있다. 영구자석형 조작기의 출력이 일정한 경우 질량만 변화시킨 경우에는 가동부의 초기 운동 형태는 비교적 유사하게 진행되며, 운동이 점차 진행함에 따라 속도 차이가 증가하는 현상을 나타내고 있다.

Fig. 14의 좌측 상단의 확대된 선도를 살펴보면, 질량이 증가할수록 접점이 접촉한 이후 반발이 크게 발생하여 점점 개리 현상이 다른 해석 모델과 비교하여 개리 시간 간격 및 거리가 비교



	(a)Simulation #1	(b)Simulation #6	(c)Simulation #7
Move conduct velocity (m/s)	0.52	0.54	0.51

Fig. 14 Comparison of simulation results with different mass conditions

적 크다는 것을 볼 수 있다. 그리고 약 10ms 이후 세 가지 모델에서 유사한 형태의 비교적 큰 접점 개리 현상을 볼 수 있다. 진공인터럽터의 접점이 실제 사용 상태에 적용된 경우라고 가정한다면 접점 개리 현상이 발생하는 시간에는 높은 열과 아크가 발생하는 시간이라 예상된다. 이와 같은 접점 개리 현상을 최소화하기 위해서는 가동부가 차단기의 주어진 온도 상승 범위를 초과하지 않으면서 정격 전류를 통전할 수 있고, 사고 전류로 인한 급격한 에너지 증가 시에도 기계적, 열적 강도를 보증할 수 있는 범위에서 질량을 최소화시키는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

또한 Fig. 12에서의 영구자석형 조작기의 변위 선도를 해석한 결과들을 살펴보면, 해석모델 #2의 경우에서 접점 개리 현상이 최소화되었음을 볼 수 있으며, 여기서 해석모델 #2의 경우에 접점이 접촉하는 순간의 조작기의 출력이 약 3500N ~ 4000N의 범위임을 알 수가 있다. 가동부 질량을 줄이는 것과 함께 조작기 출력 범위를 조절한다면 가장 효과적인 차단기를 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

3.4 영구자석형 차단기의 설계 조건 설정

영구자석형 진공차단기의 투입속도 특성과 관련하여 영구자석형 조작기의 출력, 기구 구성부품간의 마찰, 가동부의 질량변화 등의 영향에 대하여 해석하였다. 지금까지의 해석 결과를 바탕으로 각각의 조건에서 설계안을 다음과 같이 결정하였다.

첫째, 해석 결과를 통해서 영구자석형 조작기의 이동거리는 그대로 유지하고 자속 밀도가 높은 사양을 선택하는 것이 좋으며, 이동거리 23mm, ND42 영구자석을 적용한 출력 값을 조작기 이동자의 입력 값으로 설정하였고 둘째, 영구자석형 진공차단기에서는 개폐레버 회전축에서의 마찰 영향보다 가동부 도체에서의 마찰을 줄이는 것이 투입 속도에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며, 가동부 도체에 멀티 접점을 이용하여 마찰 조건을 변경하였다. 마지막으로, 질량이 증가하면 투입 속도가 감소하고, 접점이 접촉하는 순간의 접점 개리 현상이 커지므로, 가동부 질량을 속도 향상과 접점 개리현상을 고려하여 3.52kg으로 변경하였다.

상기의 설정 조건을 바탕으로 해석 모델을 재구성하여 투입 운동에 대하여 해석하였다. 그리고 Fig. 15와 같은 조건을 갖는 실험 모델을 통하여 차단기 가동부 변위에 대하여 측정하였다.



Fig. 15 Experimental equipment for the measurement of displacement of moving part

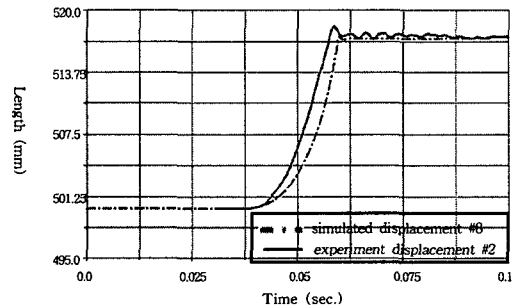


Fig. 16 Comparison of simulated and experimental displacement of moving part

Table 5 Comparison of mechanical properties of simulated and experimental result

	Simulated result #1	Experimental result #1	Simulated result #8	Experimental result #2
Displacement	17.1mm	17.4mm	17.1mm	17.3
Close speed	0.52m/s	0.55m/s	0.77m/s	0.85m/s

상기의 설정 조건을 갖는 진공차단기의 투입 운동에 대한 해석결과와 실험결과를 비교하여 Fig. 16에 나타내었으며, Table 5에 Fig. 16의 결과와 초기 차단기 모델의 해석 및 실험 결과를 나타냈다. 그래프를 통하여 전체 변위를 비교하면, 17.3mm로 약 1.2%의 오차가 발생했으며, 진공인터럽터 접점의 속도는 0.85m/s의 약 10.4%의 오차로써 약 40ms이후 이동속도가 급격하게 상승하여 오차가 발생했다고 판단된다. 해석 및 실험결과에서도 접점 개리 현상이 많이 줄어들었는데, 이는 영구자석형 조작기의 해석상 출력 값이 접점 접촉 시점에서 기존 해석 모델에 비하여 약 60% 높은 출력을 지니고 있고 가동부의 질량

을 감소시켰기 때문이라 생각된다.

4. 결 론

본 논문에서는 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 영구자석형 진공차단기의 해석 모델을 수립하였으며, 영구자석형 조작기의 출력 변화, 마찰 조건의 변경 및 가동부의 질량을 변경시켜가면서 진공차단기의 운동 특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 영구자석형 조작기의 최종 출력은 영구자석의 자속 밀도, 이동자의 이동거리, 코일에 의해 발생하는 힘의 크기에 의해서 크게 영향을 받게 된다. 여기서 코일에 의해 발생하는 힘이 일정하게 유지되도록 조작기를 구성한 경우, 영구자석의 자속 밀도는 이동자 운동의 초기 특성에 영향을 미치게 되며, 이동자의 이동거리의 증가는 영구자석 조작기의 후반부 운동에 있어서의 출력을 증가시키는 효과를 나타내었다. 영구자석형 조작기의 투입 운동 특성은 이동자 초기 운동의 속도 특성과 가압 스프링력이 작용하기 시작하기까지의 조작기 출력 형태에 의해 결정됨을 알 수 있었으며, 조작기의 최종 출력 값을 조절하여 차단기의 접점에서의 충격에 의한 반발을 최소화될 수 있도록 조작기를 설계하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

(2) 영구자석형 진공차단기의 투입 속도 향상을 위해서는 가동부 도체에서의 마찰을 줄이는 것이 더 효과적임을 알 수 있었다. 가동부 도체의 접촉 방식을 먼 접촉 방식보다는 선 또는 점 접촉 구조로 변경하면 접촉 개소가 증가하더라도 마찰 계수가 줄어들게 되며, 보다 작은 마찰 계수를 확보할수록 영구자석형 조작기의 출력에 대한 마찰의 영향은 더욱 줄어들 것으로 판단된다.

(3) 영구자석형 진공차단기 가동부의 질량이 증가하면 투입 속도가 감소하고, 접점이 접촉하는 순간의 반발력에 의한 접점 개리 현상이 증가함을 알 수 있었다. 접점의 개리 현상을 최소화하기 위해서는 가동부가 차단기의 주어진 온도 상승 범위를 초과하지 않으면서 정격 전류를 통전할 수 있고, 사고 전류로 인한 급격한 에너지 증가 시에도 기계적, 열적 강도를 보증할 수 있는 범위에서 질량을 최소화시키는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

(4) 영구자석형 진공차단기의 변위 및 속도 특성은 영구자석형 조작기의 출력 형태 의해 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었으며, 조작기의 출력을 정밀하게 제어할 수 있는 기술을 확보하는 것이 가장 중요한 요소가 될 것으로 판단된다. 또한 조작기의 출력을 제어하는 기술이 가동부 질량을 가능한 범위 내에서 최소화하는 방안과 함께 적용된다면, 진공차단기의 운동 특성과 접점 개리 현상을 동시에 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Heising, C. R., 1991, "High Voltage Circuit Breaker Reliability Data for Use in System Reliability Studies," *CIGRE SC13 Publication*.
- (2) Mckean, B. A. R. and Reuber, C., 1988, "Magnets & Vacuum the Perfect Match," *Proc. of IEE Trends in Distribution Switchgear*, pp. 73~79.
- (3) You, Y. M., Chen, D. G., Shun, Z. Q., Zheng J., Zhang, J. S. and Luo, W. K., 2002, "The Optimal Design Parameters Selection of Permanent Actuator for Vacuum Circuit Breaker Based on Dynamic Characteristic Analysis," *IEEE 20th Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum*, pp. 584~587.
- (4) Lin, X., Gao, H. J. and Cai, Z. Y., 2000, "Magnetic Field Calculation and Dynamic Behavior Analyses of the Permanent Magnetic Actuator," *ISDEIV. XIXth International Symposium*, Vol. 2, pp. 532~535.
- (5) Ma, S. H. and Wang, J. M., 2002, "Research and Design of Permanent Magnetic Actuator for High Voltage Vacuum Circuit Breaker," *ISDEIV. 20th International Symposium*, pp. 487~490.
- (6) Liu, F. G., Guo, H. Y., Yang, Q. X., Zhang, L. and Yan, W. L., 2004, "An Improved Approach to Calculate the Dynamic Characteristics of Permanent Magnetic Actuator of Vacuum Circuit Breaker," *IEEE Transactions*, Vol. 14, pp. 1918~1921.