

가스회로차단기의 성능 개선을 위한 윤곽 최적설계

최규석* · 차현경* · 손정현*** · 유완석***

* 부경대학교 대학원 메카트로닉스공학과, ** 부경대학교 기계자동차공학과, *** 부산대학교 기계공학부

Optimum Latch Contour Design for Improving Gas Circuit Breaker Performance

Gyu Seok Choi*, Hyun Kyung Cha*, Jeong Hyun Sohn***† and Wan Suk Yoo***

* Graduate school of Mechatronics Engineering, Pukyong Nat'l Univ.,

** Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Pukyong Nat'l Univ.,

*** Dept. of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

(Received May 15, 2012 ; Revised November 10, 2013 ; Accepted November 12, 2013)

Key Words: Gas Circuit Breaker(가스회로차단기), Multi-Body Dynamics(다물체 동역학), Optimum Design(최적설계), Operating Mechanism(작동기구)

초록: 가스회로차단기의 거동특성은 스프링 래치 시스템을 가진 고속 작동메커니즘에 좌우된다. 고속회로차단기의 차단시간을 줄이기 위해서 연구가 많이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 고속회로차단기의 차단시간을 단축하기 위하여 래치의 윤곽최적설계에 관한 연구가 수행된다. 회로차단기의 거동특성을 분석하기 위해서 상용 다물체 동역학 해석프로그램인 MSC/ADAMS 를 이용하였으며, 시뮬레이션 결과는 시험을 통하여 매칭하였다. VisualDOC 를 도입하여 래치의 최적윤곽을 구하였다. 최적설계 수행결과 가스회로차단기의 차단시간을 약 8.6% 개선하였다.

Abstract: The dynamic characteristics of a gas circuit breaker depend on the underlying high-speed operating mechanism with a spring-actuated latch system. Many studies have been carried out to reduce the breaking time of circuit breakers. In this study, the optimum latch contour design is determined for reducing the breaking time of a circuit breaker. A multi-body dynamic model of the latch is established for analyzing the dynamic behaviors of the circuit breaker by using the MSC/ADAMS program. Simulation results are matched against experimental data. VisualDoc is employed for determining the optimal latch contour. From the optimum design, the breaking time of a gas circuit breaker is improved by about 8.6%.

1. 서 론

전기회로에 사용되는 개폐장치인 차단기는 고전압과 전류가 흐르는 송배전 계통에서 과전류, 단락 등에 의한 피해를 줄이기 위해 신속히 자동 차단하도록 고안된 장치이다. 차단기의 종류에는 여러 가지가 있지만 그 중에서 가스차단기는 소호 방법으로 불활성기체를 이용하며, 높은 절연내력과 보수점검이 용이하고 높은 내구성 등의 우수한 장점을 가지고 있다. 가스차단기는 인터럽터(Interrupter)부와 이를 구동시킬 수 있는 구동 메커니즘

(Mechanism)부로 구성된다. 인터럽터는 점점의 개폐(Closing, opening)시에 발생하는 아크(Arc)을 소호시키는 역할을 하며, 구동 메커니즘부는 스프링(Spring)과 래치(Latch) 등 간단한 형태로 이루어져 있지만 모양과 위치에 따라 그 특성이 달라지기 때문에 설계가 아주 중요하다.

회로차단기의 구동 메커니즘부의 성능을 향상시키기 위해서 연구가 활발히 이루어지고 있으며, N. Tsujiuchi⁽¹⁾는 진공차단기의 동적 특성에 대한 최적화에 대한 연구를 수행하였으며, 안길영 등⁽²⁾은 스프링구동 링크와 캠 기구를 가진 진공회로 차단기의 동적 거동 및 설계에 관한 연구를 수행하였고, A.P. Pisano 등⁽³⁾은 시험을 통해 고속 Cam-follower 시스템의 동적 응답에 대한 시험적인 평가에 대해 연구하였으며, 장진석 등⁽⁴⁾은 캠 윤곽

† Corresponding Author, jhsohn@pknu.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

최적설계를 통하여 동적 특성을 향상시키기 위한 연구를 하였다.

이전에 연구된 회로차단기의 메커니즘부는 링크와 스프링으로 구성되어 있으며, 각 링크(Link)가 연결되어져 링크의 길이가 거동에 많은 영향을 미쳤다. 하지만 본 연구에 사용된 회로차단기는 각 래치가 접촉으로 이루어져 있기 때문에 접촉이 이루어지는 윤곽이 차단시간에 많은 영향을 미친다.

본 연구에서는 시험을 통하여 시뮬레이션과 매칭함으로써 시험을 정확성을 높였으며, 래치의 윤곽최적설계를 통하여 차단시간을 단축하기 위해 다물체 동역학과 최적설계 프로그램을 연동하였다. 2 장에서는 회로차단기의 동역학 모델링을 기술하였고, 3 장은 시험과 시뮬레이션 매칭(Matching)에 대해서 기술하였다. 4 장에서 윤곽 최적설계를 수행하였으며, 5 장에 결론을 정리하였다.

2. 회로차단기의 동역학모델링

2.1 회로차단기의 모델링

Fig. 1 은 회로차단기의 조작부의 동역학적 모델링을 나타내었다. 본 연구에 사용된 가스회로차단기의 조작 부는 거동이 이루어지는 래치들과 과전류가 발생했을 때 거동을 발생시키는 솔레노이드(Solenoid) 그리고 캠(Can)으로 구성돼 있다. Fig. 2 는 가스회로차단기 모델의 기구학적 연결도를 도시한 것이다. 상용 다물체 동역학 해석프로그램인 MSC 사의 ADAMS 를 이용하여 모델링 하였으며, 구속조인트는 각 부분의 운동특성에 맞는 조인트를 선택하여 연결하였다. 21 개의 물체와 10 개의 회전조인트(Revolute joint), 4 개의 원통형조인트(Cylindrical joint), 3 개의 구면조인트(Spherical joint), 3 개의 병진조인트(Translational joint), 4 개의 고정조인트(Fixed joint)로 연결되어 있으며, 전체적으로 open lever 를 기준으로 3 개의 슬라이더-크랭크기구(Slider-crank mechanism)으로 구성된 구조이다. 각 래치는 스프링이 연결되어져 있으며, 차단(Closing)시 래치의 위치를 유지시키는 역할을 한다. 오픈 스프링(Opening spring)은 압축된 상태로 큰 탄성에너지를 저장하고 있다. Table 1 은 회로차단기의 자유도 계산식을 나타내었으며, 회로차단기는 총 12 자유도를 가지고 있다.

2.2 회로차단기의 Opening 거동

차단(Opening) 거동은 회로차단기의 조작부의 운동에 의해서 전기를 차단하는 운동을 나타낸다.

Table 1 The degrees of freedom of a circuit breaker

요소	수	자유도	
Body	22	6	132
Ground	1	-6	-6
Revolute joint	10	-5	-50
Cylindrical joint	4	-4	-16
Spherical joint	3	-3	-9
Translational joint	3	-5	-15
Fixed joint	4	-6	-24
			총 12 자유도

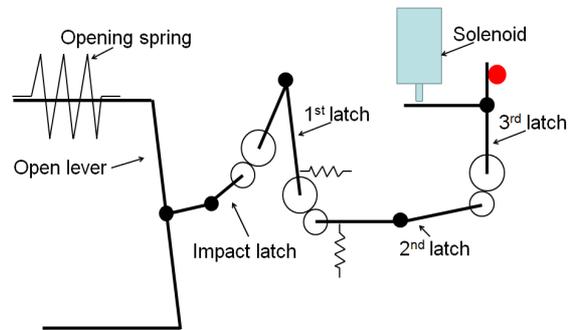


Fig. 1 Operating mechanism of the circuit breaker

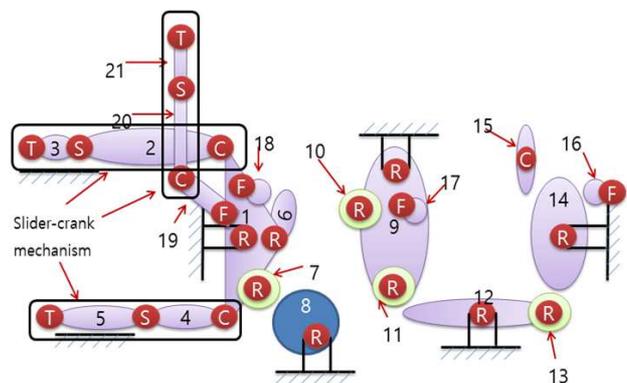


Fig. 2 Operating mechanism of the circuit breaker

오픈 스프링 에 저장된 탄성에너지에 의해 조작부는 정적평형을 유지하고 있으며, 임팩트 래치(Impact latch) → 3 번 래치(3rd latch) → 2 번 래치(2nd latch) → 1 번 래치(1st latch) 순으로 밀어주고 있다. Fig. 3 은 각 래치가 밀어주고 있는 힘의 방향을 나타내었다.

과전류, 단락 등에 의한 사고가 발생하면 솔레노이드(Solenoid)는 병진방향으로 거동을 하며, 3 번 래치는 솔레노이드와 접촉이 발생한 후 그 힘에 의해 3 번 래치는 반 시계방향으로 회전이 발생하게 된다. 3 번 래치의 회전에 의해 밀어주고 있는 힘을 평형상태가 무너지면서 각 래치는 회전이 발

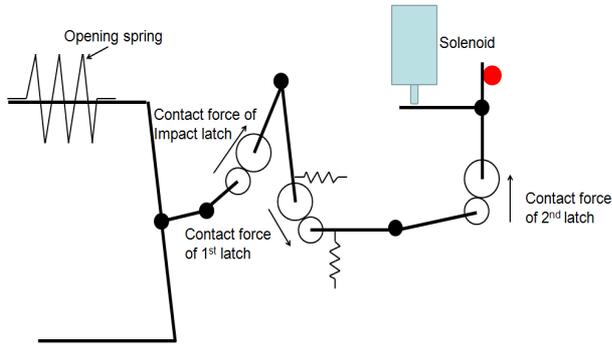


Fig. 3 Direction of the contact force

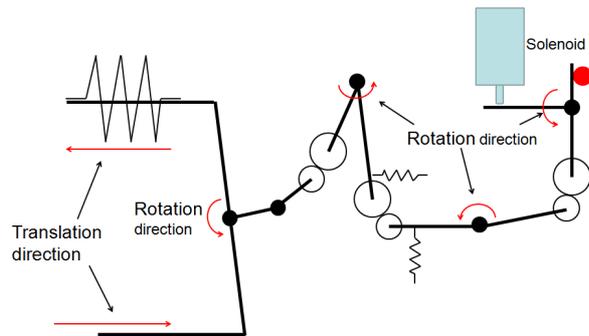


Fig. 4 Direction of the latch motion

생하게 된다 Fig. 4 는 각 래치의 회전 방향에 대해서 나타내었다. 2 번 래치와 1 번 래치는 반 시계 방향으로 회전이 발생하게 된다. 오픈 래버(Open lever)는 오픈 스프링에 의해서 반 시계방향으로 고속의 회전이 발생하며, 연결된 링크(link)는 슬라이더-크랭크기구(Slider-crank mechanism) 거동에 의해서 병진 운동이 발생하게 된다.

3. 시험과 시뮬레이션의 매칭

3.1 고속카메라 시험

회로차단기의 거동은 ms(Millisecond)단위로 거동이 발생하기 때문에 고속카메라를 이용하여 측정하였다. 각 래치는 솔레노이드 거동 시점으로부터 각 래치의 움직이는 시점을 측정하였으며, 측정은 초당 1000 프레임으로 측정하였다. Fig. 5 는 각 래치를 측정한 영상을 나타내었다. 고속카메라는 고정트래킹 포인트(Fixed tracking point)와 거동트래킹 포인트(Moveable tracking point)가 필요하다. 각 점의 위치를 나타내었으며, 각 래치에 트래킹 포인트를 표시하여 측정하였다.

Fig. 6 ~ 7 은 각 래치의 거동시간에 대한 그래프를 나타내었다.

3.2 시험과 시뮬레이션 비교

Fig. 8 ~ 10 은 시뮬레이션을 통한 각 래치의 거

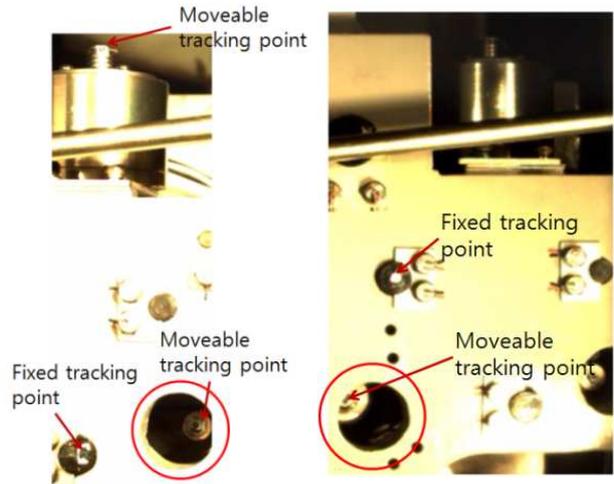


Fig. 5 Measurement point

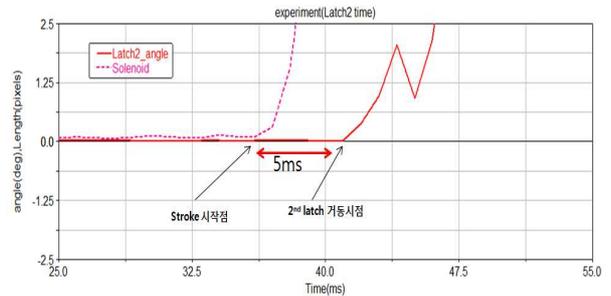


Fig. 6 Behavior time of 2nd latch

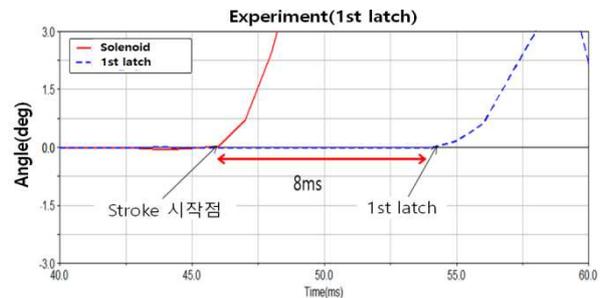


Fig. 7 Behavior time of 1st latch

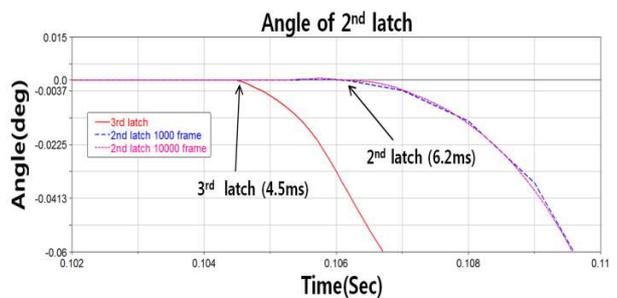


Fig. 8 Rotation angle of the 2nd latch

동시점을 나타내었다. 2 번 래치는 3 번 래치 거동 시점으로부터 약 1.7ms 에 거동이 발생하였으며, 1

번 래치는 약 4.5ms 에 거동이 발생하였고, 오픈 레버(Open lever)는 1 번 래치와 동일하였다.

3.3 매 칭(Matching)

Table 2 는 시험과 시뮬레이션의 거동시점을 비교한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션이 시험보다 약 1ms 정도 빠른 거동을 보였으며, 각 래치 사이의 거동시점은 동일하였다. 동역학적 모델링은 회로차단기의 전체모델링이 아닌 조작기부분만을 모델링 하였기 때문에 거동에 영향을 미치는 힘을 추가적으로 모델링 하였다. 솔레노이드 거동은 조작부의 거동이 시작되는 부분이기 때문에 차단 시간에 많은 영향을 미치며, 정확한 모델링이 필요하다. AMESim 프로그램을 이용하여 솔레노이드의 힘을 구하였으며, Fig. 11 에 나타내었다. 전체적인 모델링이 아닌 메카니즘부분만을 모델링 하였기 때문에 거동 시 발생하는 저항은 힘으로 모델링 하였으며, Fig. 12 은 링크에 걸리는 마찰력을 나타내었다. 최대정지 마찰력은 약 1,000N 이며, 운동 마찰력은 약 700N 이다.

Table 2 Comparison of opening time between experiment and simulation

	거동시점 차이
2 nd latch	+0.9
1 st latch	+1.1
Open lever	+1.1

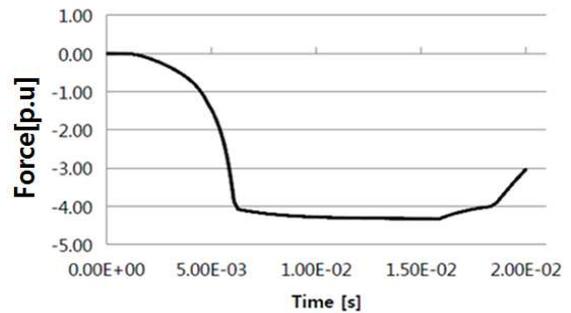


Fig. 11 Solenoid force data

4. 윤곽 최적설계

4.1 ADAMS 와 VisualDOC 연동

동역학적 프로그램인 ADAMS 와 최적설계 프로그램인 VisualDOC 를 연동하여 최적설계를 수행하

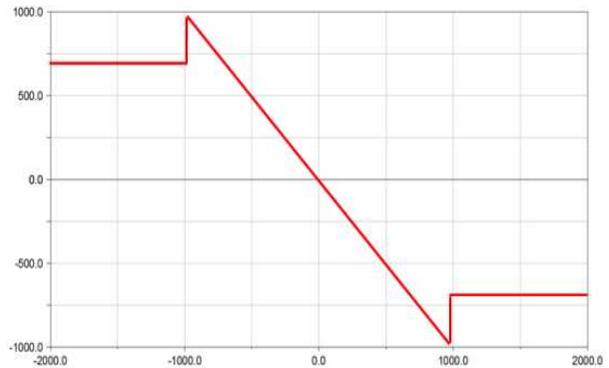


Fig. 12 Friction force of link

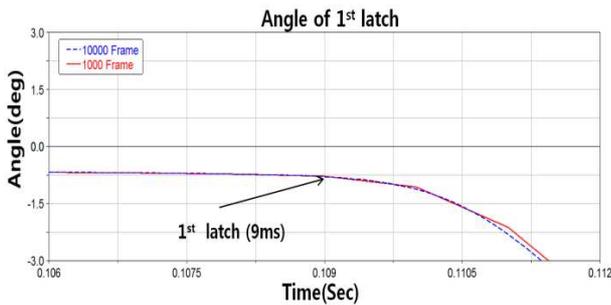


Fig. 9 Rotation angle of the 1st latch

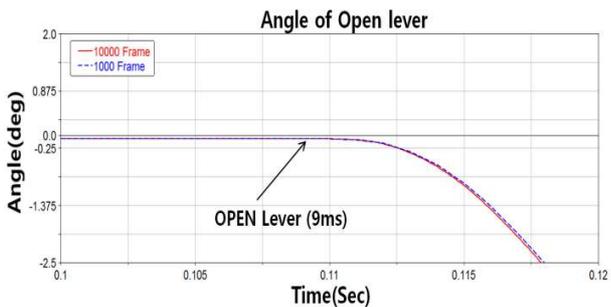


Fig. 10 Rotation angle of the open lever

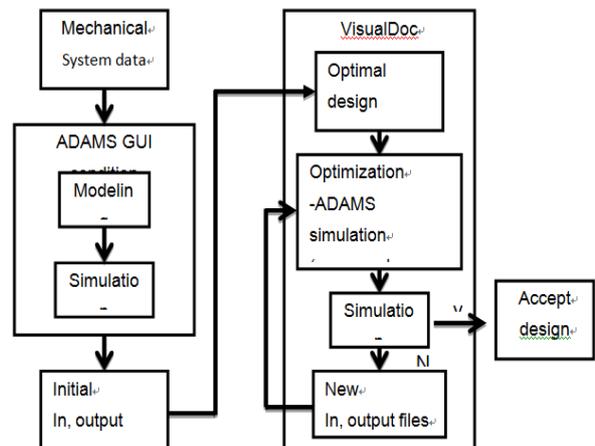


Fig. 13 Flow chart of optimum design

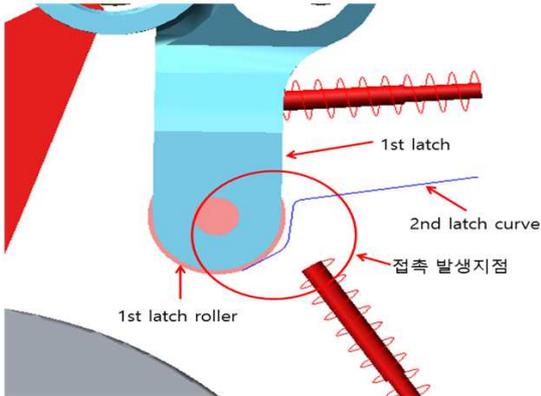


Fig. 14 Curve modeling of 2nd latch

였다. VisualDOC 에서 설계정보를 변경하여 반복적으로 해석이 가능하도록 하기 위해서 ADAMS 는 운영체계의 명령입력창(Command window)에서 실행되어야 하며, ADAMS 의 입력데이터를 이용하여 설계변수를 정의할 수 있다. 사용되는 파일은 *.cmd 파일이나 *.sub 파일과 같은 ASCII 코드로 작성된 파일을 사용할 수 있다. 결과파일은 *.out, *.txt 파일을 이용한다. Fig. 13 은 최적설계 Flow chart 를 나타내었다.

4.2 Curve 모델링

본 연구에 사용된 회로차단기는 각 래치는 접촉으로 이루어져 있으며, 접촉이 되는 부분의 윤곽에 의해 차단시간에 많은 영향을 미친다. 2 번 래치와 1 번 래치 롤러(Roller)의 접촉이 이루어지는 부분은 윤곽의 모양에 따라 접촉 힘의 방향에 변화가 발생하며 래치의 속도에 많은 영향을 미친다. 그러므로 윤곽에 대한 최적설계가 필요하다. Fig. 13 은 접촉이 발생하는 부분과 커브로 모델링한 모습을 나타내었다. 접촉이 이루어지는 부분은 B spline 곡선을 이용하여 모델링 하였다.

4.3 최적설계

본 연구에서는 최적설계 알고리즘은 GA(Genetic algorithms)를 사용하였다. 목적함수는 차단시간이 최소시간이 되기 위한 목적으로 최적설계를 수행하였으며, 식 (1)과 같이 나타내었다. 파라미터 집단 크기는 100, 돌연변이율은 0.1, 교배율은 1 로 최적설계를 수행하였다. 차단시간은 Fig. 15 와 같이 솔레노이드의 거동이 발생한 시점으로부터 a 지점이 65mm 아래에 있는 b 지점까지 도달하는 시간이다.

Maximize

$$\text{Objective function} = \text{Min [Time]} \quad (1)$$

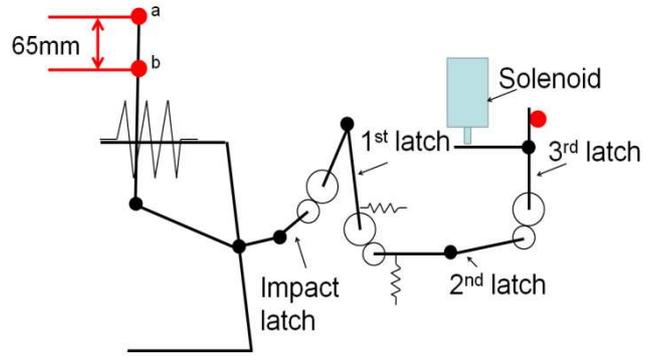


Fig. 15 Objective function of optimum design

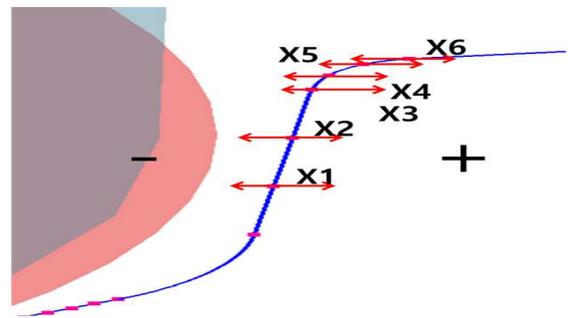


Fig. 16 Point of design variable

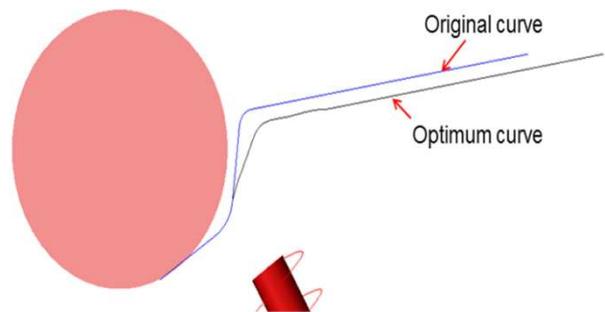


Fig. 17 Modified curve modeling of the 2nd latch

Constraint Function

$$-2100 < \text{contact force} < -300 \quad (2)$$

Subject to

$$-2 < X1 \sim X6 < 11$$

설계변수는 커브를 구성하고 있는 포인트 6 개를 사용하였으며, X 축에 대해서만 변화가 이루어질 수 있도록 하였다. Fig. 16 은 선정된 6 개의 포인트를 나타내었다.

Opening 시 솔레노이드와 3 번 래치의 접촉이 이루어지지 않으면 Opening 과정이 이루어지면 안 된다. 하지만 여러 가지 조건에 의해서 접촉 없이

과정이 이루어지는 덤핑(Dumping)현상이 발생하기 때문에 덤핑을 맞기 위해서 솔레노이드와 3 번 래치 사이에 접촉 힘이 발생할 때만 이루어지도록 조건함수를 선정하였다. 식 (2)는 조건함수의 변위를 나타내었다.

4.4 최적설계 결과

최적설계 결과 솔레노이드의 거동이 발생 후 a 지점이 b 지점까지 도달하여 차단시간은 기존의 차단시간에 비해 약 2.67ms 정도 시간이 단축되었으며, 약 8.6% 을 단축효과를 거두었다. 제한조건인 솔레노이드와 3rd latch 사이의 접촉력은 약 -1,200N 로 조건에 만족하였다. X1 은 약 0.69mm 이 동하였으며, X2 는 약 1.64mm, X3 는 약 2.94mm, X4 는 약 5.64mm, X5 는 약 8.25mm, X6 은 약 10.41mm 를 이동하였다. Fig. 17 은 기존의 커브와 최적설계를 통하여 나온 커브를 비교하였다. 약 16°정도 기울어진 형태로 최적설계가 이루어졌다.

5. 결 론

본 연구에서는 가스회로 차단기의 차단시간의 단축하기 위해서 가스회로차단기의 다물체동역학 시뮬레이션을 수행하였다. 동역학 모델링 검증을 위해서 고속카메라를 이용하여 시험을 수행하였으며, 시험과 시뮬레이션의 매칭을 하였다. 접촉이 이루어지는 래치윤곽 최적설계를 위하여 6 개의 포인트를 선정하여 최적설계를 수행하였다. 최적설계 결과 기존보다 약 2.67ms 정도 차단시간이 단축되었으며, 이 결과는 차단시간에서 약 8.6%정도 향상된 결과이다.

후 기

이 논문은 2011 학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음(C-D-2011-0303).

참고문헌

- (1) Tsujiuchi, N., 1995, "Optimum Design for Dynamic Characteristic of VCB" *Asua-Pacific Vib, Conf.*, pp.810~815.
- (2) Ahn, K. Y. and Jeong, K. Y., 2004, "Optimization of The Spring Design Parameters of a Circuit Breaker for Satisfying Specified Dynamic Characteristics," *Journal of the KSPE*, Vol.21, No.3, PP.132~138.
- (3) Pisano, A.P. and Freudenstein, F., 1983, "An Experimental Analytical Investigation of the Dynamic Response of High-Speed Cam-Follower System Part:2 A Combined, Lumped/Distributed Parameter Dynamic Model," *Transaction, ASME-Journal of Mechanisms, Transmission, and Automation in Design*, Vol. 105, pp. 699~704.
- (4) Jang, J. S. and Sohn, J. H., 2011, "Optimization of the Cam Profile of a Vacuum Circuit Breaker by using Multibody Dynamics Techniques," *Journal of the KSPE*, Vol.35, No.7, PP.723~728.
- (5) MSD/ADAMS User's Guide, 2008, MSC Software Corporation, USA.
- (6) VisualDOC user Manual.
- (7) Ok, J. k., 2005, "Optimum Design of A Torsion-Beam Suspension Mechanism Using ADAMS and VisualDOC" Pukyong National University, master, Thesis.