고속 전환특성을 가진 자동부하전환 개폐기의 구동메커니즘의 동적 해석

정원선† · 권병희* · 안길영* · 오일성*

Dynamic Analysis of Driving Mechanism for ALTS with High-Speed Transfer Characteristics

Won Sun Chung, Byung Hee Kwon, Kil Young Ahn, Il Sung Oh

Key Words : Automatic Load Transfer Switch(자동부하전환 개폐기 ALTS), Dynamic Model (동적 모델), Friction Effect(마찰 영향), Flat Spring (판 스프링)

Abstract

The automatic load transfer switch (ALTS) typically automatically transfers electrical loads from a normal electrical power source to an emergency electrical power source upon reduction or loss of normal power source voltage. It can also automatically re-transfer the load to the normal power source when the normal voltage has been restored within acceptable limits. The transfer operation of ALTS is accomplished by a spring-driven linkage mechanism. In this paper we build a dynamic model of driving mechanism for ALTS using ADAMS and checked the characteristics of the transfer operation. Finally we performed a detailed design of the driving mechanism through results of analysis and confirmed it to satisfy design requirements.

1. 서 론

일반적으로, 자동 부하 전환 개폐기(automatic load transfer switch; ALTS)는 22.9㎸-Y 계통의 수용가 수전선로에 사용되며, 정전시에 큰 피해를 입는 수용가인 병원, 전산 센터, 펌프장, 오피스텔, 공공 시설, 항만, 공항 등에 이중 전원을 확보하므로써 주전원 정전시 또는 주전원이 기준 전압 이하로 떨어질 경우에 예비 전원으로 자동 전환시켜 수용가가 항상 안정된 전원 공급을 받을 수 있도록 하는 육불화황(SF6) 가스 절연 방식의 3 상 단일 조작 개폐기를 지칭한다[(1)].

이러한 자동 부하 전환 개폐기는 주전원의 전압 상태를 감시하여 주전원의 정전이나, 저전압이 감지될 때 주전원을 개방시키고, 예비 전원으로 신속하게 전환시킬 수 있는 구동메커니즘이 필요하며, 주전원이 정상 상태로 복구되면 다시 예비 전원에서 주전원으로의 신속한 전환이 필요하다. 즉, 아주 짧은 시간에 전환시키지 못하면 수용가측은 정전 상태가 되어 큰 피해를 입게 된다.

따라서 본 논문에서 연구되는 자동 부하 전환 개폐기의 구동메커니즘은 1 개의 구동력으로 2 개 선로의 스위치를 동시에 조작하게 할 수 있는 링크구조와 동작원리를 가지고 있으며, 크게 스프링을 인장시키는 구동부(driving part), 구동부의 에너지를 전환스위치부(transfer switching part)로 전달하는 전달부(transmission part)로 구성된다. 그리고 전환스위치부는 구동부와 전달부에 의한 전환시에 주전원 선로측과 부하측을 개방시키는 진공 인터럽터(vacuum interrupter; VI)와 절연시키는 블레이드 접점(blade contact)으로 이루어져 있다. 여기에서 ALTS 의 구동메커니즘의 동작으로 인하여 주전원의 개방시에는 먼저 진공 인터럽터의 가동접점이 열리면서 개방시 발생하는 아크를 소호한 다음, 기계적인 링크연결을 통하여 블레이드 접점이 열리면서 부하측이 주전원측과 완전히 절연된다. 또한 동시에 예비전원 선로측과 부하측의 진공 인터

† LG 산전 전력연구소
E-mail : wschung@lgis.com
TEL : (043)261-6521 FAX : (043)261-6629
* LG 산전 전력연구소

럽터와 블레이드 접점은 주전원측과 반대로 투입이 된다. 따라서 주전원 및 예비 전원으로의 신속한 전환이 가능하므로 인해 효율적으로 편리하게 사용할 수 있고, 크기를 콤팩트화할 수 있어서 설치 공간을 축소시킬 수 있으며, 설치 비용을 대폭 절감시킬 수 있게 된다.

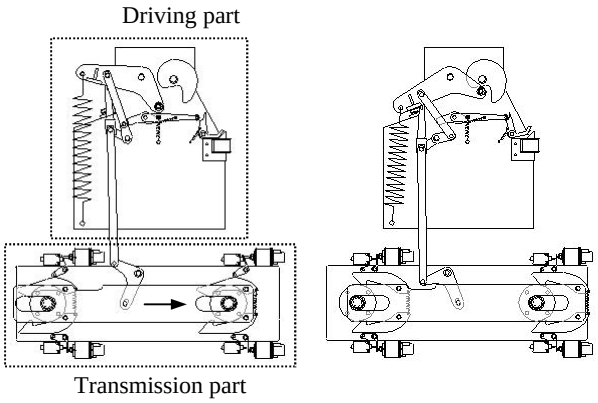
ALTS 구동메커니즘은 기본적으로 스프링에 미리 충전된 탄성에너지를 링크를 이용한 기구부에서 운동에너지로 변환시켜 접점을 개폐하는 운동을 생성한다. 이러한 구동메커니즘에는 조인트들과 링크들로 구성된 기구학적 체인, 동작시 발생하는 부품들 사이의 충격, 회전조인트에서의 마찰 등과 같은 많은 동적 현상이 존재한다. 이러한 현상은 구동메커니즘의 동특성을 묘사하는 동적 모델의 수립 및 검증을 어렵게 만들고 있다. 과거에는 이에 대한 체계적 해석과 설계 방법보다는 간단한 이론과 함께 설계자의 경험 및 시행착오(trial and error)에 의해 보다 많이 설계되어 왔다[2, 3].

그러나 컴퓨터의 이용과 발전에 따라 차단기와 개폐기의 구동메커니즘과 같이 여러 개의 물체로 이루어진 시스템에 대한 다물체 동역학(multibody dynamics)의 연구와 병행하여 여러 상용프로그램들이 개발되었다. 70 년대 이후로 개발된 대표적인 상용프로그램으로는 DADS, ADAMS 등이 있다[4, 5]. 따라서 본 논문에서는 이러한 상용프로그램을 사용하여, 실제 ALTS 의 동특성을 모사(simulation)할 수 있는 동적모델을 구성한다. 그리고 ALTS 의 스위치 전환시간에 영향을 크게 미치는 블레이드 접점에서의 마찰 영향, 블레이드 접점과 접촉하여 전환시간 지연시키는 판 스프링(flat spring)에 의한 영향이 고려된다. 마지막으로 구성된 동적모델을 바탕으로 실제 ALTS 의 메커니즘을 개발하였다.

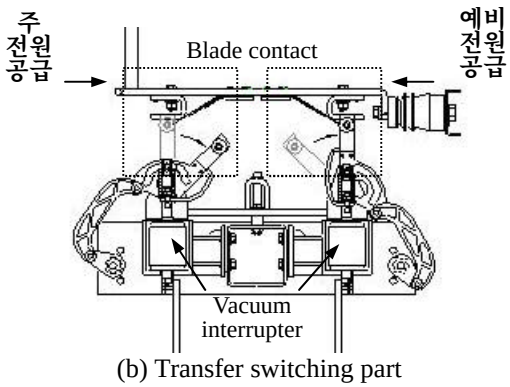
2. ALTS 구동메커니즘의 구조 및 원리

ALTS 를 위한 1 구동 2 회로 전환방식의 구동메커니즘(driving mechanism)은 Fig.1(a)와 같이 크게 스프링을 인장 및 활성화시키는 구동부(driving part)와 구동부의 에너지 및 운동을 전환스위치부(transfer switching part)로 전달하는 전달부(transmission part)로 구성된다. Fig.1(b)의 전환스위치부는 구동부와 전달부에 의한 전환시에 주전원 선로측과 부하측을 개방시키는 진공인터럽터(vacuum interrupter; VI)와 절연시키는 블레이드 접점(blade contact)으로 이루어져 있다. 여기에서 ALTS 의 구동메커니즘의 동작으로 인하여 주전원의 개방시에는 먼저 진공인터럽터의 가동접점이 열리면서 개방시 발생하는 아크를 소호한 다음, 기계적인 링크연결을 통하여 블레이드 접점이 열리면서 부하측이 주전원측과 완전히 절연된다. 또한 예비전원 선로측과 부하측에 대해서도 같은 요소들이 구성되고, 주전원의 개방과는 반대로 진공인터럽터와 블레이드 접점은 투입이 된다.

따라서 구동메커니즘은 1 개의 구동력으로 2 개 선로의 스위치를 동시에 조작하게 할 수 있는 링크구조와 동작원리를 가지고 있으며, 기존의 메커니즘에 비해 보다 신속한 전환 시간을 가능하게 한다. 먼저 구동부의 스프링이 인장이 되고, 이것이 풀리면서 링크에 의해 전달부의 패널이 왼쪽방향으로 이송된다. 이 때 주전원에 이상이 발생하여 예비전원으로 전환시켜야 한다면, 전자석의 여자에 의해 레버를 눌러서 구동고리를 회전판에 삽입되어 있는 구동핀에 걸친다. 이때 구동고리가 구동핀에 걸려 있기 때문에 주전원 및 예비전원 동작 축과 일치되어 있는 회전판이 시계방향으로 회전하여 주전원 선로는 개방동작을 예비전원 선로는 투입동작을 동시에 진행한다. 이는 주전원 선로가 보수되어 예비전원 선로에서 주전원 선로로 전환하고자 할 때에도 동일한 절차를 따른다.



(a) Driving and transmission parts of driving mechanism



(b) Transfer switching part

Fig. 1 Structure and operation of ALTS

3. 모델링 및 해석

3.1 모델링

Fig. 2 은 CAE 및 CAD 를 이용한 해석과 관련된 제품설계 절차를 보여준다. 이 설계 절차에 나타난 주요 과정은 제품 관련 Database 구축, 해석 모델링 및 관련 데이터 구축, S/W 입력자료 작성 및 해석 수행, 설계인자 선정, 설계인자 적정/최적치 결정의 5 가지 이다. 여기에서 CAD 는 3 차원 형상모델링 프로그램인 Pro/Engineer 가 사용된다. 그리고 이들 설계 프로세서를 통하여 제품은 최종 설계되고, 제품에 대한 동적 모델도 완성된다. Fig. 3 은 본 연구를 통하여 설계된 ALTS 의 실제 형상을 나타낸다.

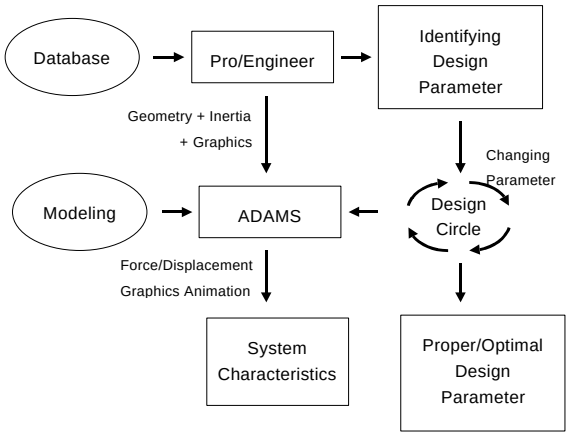


Fig. 2 Design Procedure based CAE/CAD

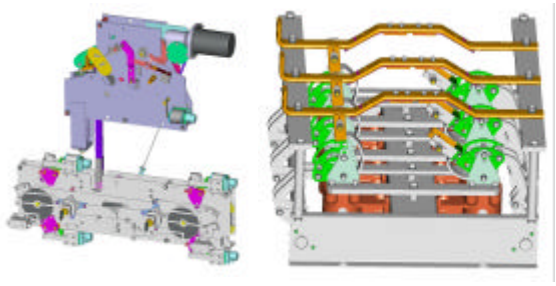


Fig. 3 Detailed design of ALTS using Pro/Engineer

Fig. 4 은 ADAMS 를 사용하여 구성된 구동메커니즘의 동적모델(dynamic model)을 나타낸다. 기하학적인 형상과 제품의 물성치는 Pro/Engineer 를 이용하여 구성된 Fig. 3 와 같은 설계데이타로부터 구하였다. 부품사이의 접촉력은 Hertz 접촉 이론을 이용하여 모델링하였다. 그리고 ALTS 의 모델링에서 스위치의 전환시간에 영향을 크게 미치는 다음과 같은 두가지 요소를 고려하였다. 첫번째는 블레이드 접점과 고정된 모선(busbar)측에서 발생하는 마찰에 의한 영향(friction effect)이고, 두번째는 모선측에 고정되어 블레이드 접점과 접촉하여 전환시간 지연시키는 판 스프링(flat spring)에 의한 영향이다.

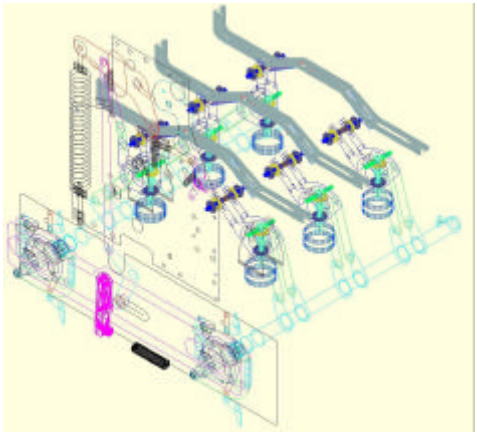
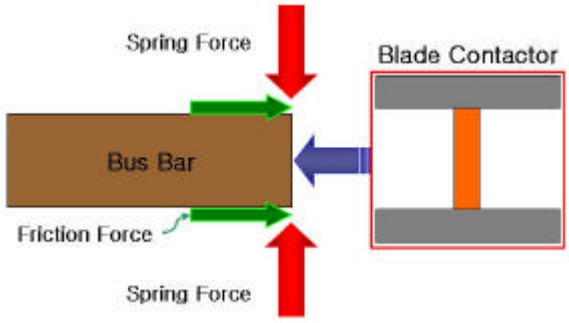


Fig. 4 Dynamic model of ALTS

(a) Moving blade contactor



(b) Friction model

Fig. 5 Friction effect by contact spring in blade contact of switch mechanism

3.1.1 접압력에 의한 마찰영향

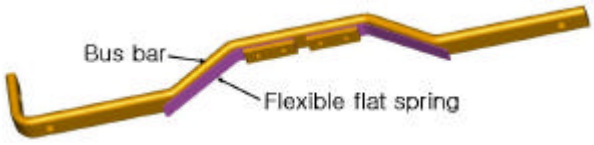
블레이드 접점(blade contactor)과 모선(busbar)사이의 전류 통전시에 전자반발력에 의해서 접점들 사이의 접촉이 떨어지지 않도록 Fig. 5(a)와 같이 블레이드의 양단에 스프링을 설치하여 모선에 밀착시킨다. 따라서 개방 또는 투입시 블레이드 접점이 모선에 접속 또는 분리될 때에는 스프링력에

의하여 접점과 모선사이에는 다소 큰 마찰력을 발생된다. 이러한 마찰력은 블레이드 접점의 회전운동에 커다란 저항력으로 작용한다. 이러한 영향을 모델링에서 Fig. 5(b)와 같이 스프링에 의한 힘과 블레이드의 자체의 굽힘에 의한 힘을 접촉면의 수직력으로 계산하여 회전축의 마찰력으로 고려하였다.

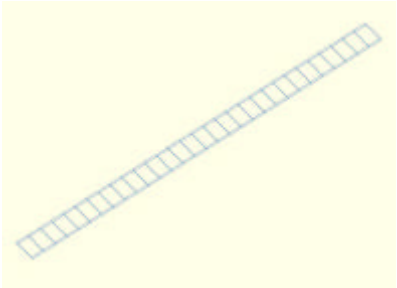
3.1.2 판 스프링의 모델링

ALTS 는 주전원 선로에 이상이 발생 했을 시에 예비전원 선로로 신속히 전환 시켜주는데 그 목적이 있다. 하지만 신속함만을 고려하여 거의 동시에 주전원 선로를 끊고 예비전원 선로로 전환한다면 전환시에 발생하는 아크에 의해 단락 현상을 일어날 수도 있다. 이를 위해 최소 24ms 의 전환 시간 확보가 필수적이다. 전환 시간을 늦추기 위해 판 스프링을 사용된다. 즉, 블레이드 접점은 모선을 이탈 할 때 판 스프링의 저항력으로 수 ms 정도 지연된다.

Fig. 6(a)는 모선에 고정된 판 스프링을 나타내며, Fig. 6(b)는 판 스프링의 유연한(flexible) 효과를 고려하기 위해서 ADAMS 의 빔요소(beam element)를 사용한 모델을 나타낸다. 빔은 0.6mm 의 두께와 20mm 의 폭을 갖으며, 재질은 스프링강을 사용하였다.



(a) Flexible flat spring



(b) Modeling using beam elements

Fig. 6 Modeling of flexible flat spring in blade contact of switch mechanism

3.2 해석결과

블레이드 접점 마찰력과 판스프링이 전환시간과 VI 속도에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 4 가지 모델을 각기 해석해 보았다. 먼저 마찰력과 빔 요소를 고려치 않은 모델을 해석했고, 마찰력만 고려한 모델, 빔 요소만 고려한 모델, 마찰력과 빔 요소 둘 다 고려한 모델을 비교하였다. Fig. 7 은 각각의 결과를 나타낸다.

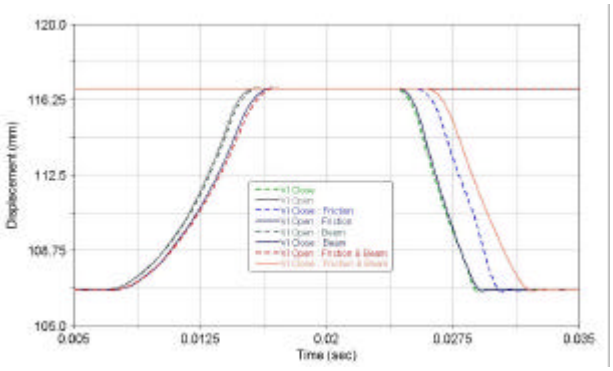


Fig. 7 Simulation results according to friction and beam effects

해석 결과로부터 블레이드 접점 마찰력에 의한 영향이 상당히 크다는 것을 알 수 있으며, 빔 요소에 의해서 목표했던 전환 시간을 늦출 수 있었다. Table 1에 동작특성을 나타내었다.

Table 1 Opening and closing velocity of VI moving contactor and transfer switching time in simulation

	Opening Velocity	Closing Velocity	Switching Time
No friction & beam effects	1.21 m/s	2.01 m/s	21.1 ms
Friction effect	1.11 m/s	1.85 m/s	22.8 ms
Beam effect	1.17 m/s	1.92 m/s	21.8 ms
Friction & Beam effect	1.05 m/s	1.52 m/s	25.1 ms

4. 실험 및 결과

제시된 모델의 타당성을 검증하기 위해서 ALTS 시작품으로 VI 의 투입과 개방시의 가동접점의 변위 특성을 측정하였다. 또한 블레이드 접점과 VI 에 24V 의 직류전원을 연결하여 ALTS 의 전환 시간을 측정하였다.

Fig. 8 은 설계 원안대로 제작된 ALTS 시작품의 구동메커니즘과 전환 스위치부를 나타낸다. VI 의 투입과 개방을 고속카메라로 촬영을 한 후, Fig. 9

와 같은 Motion Analyzer 라는 프로그램을 사용하여 가동접점의 변위 특성들을 추출하였다.

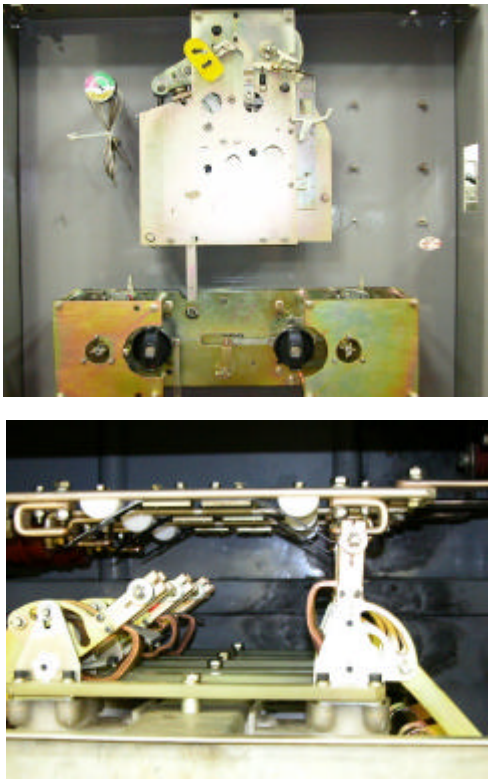


Fig. 8 Prototype of driving and switch mechanism parts of ALTS

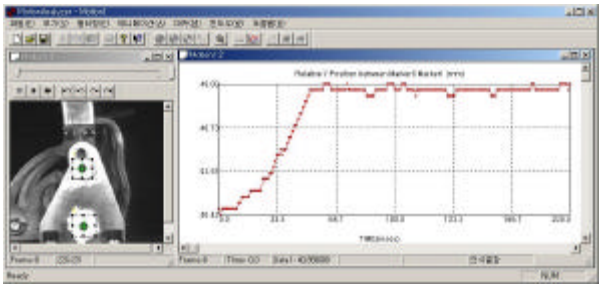
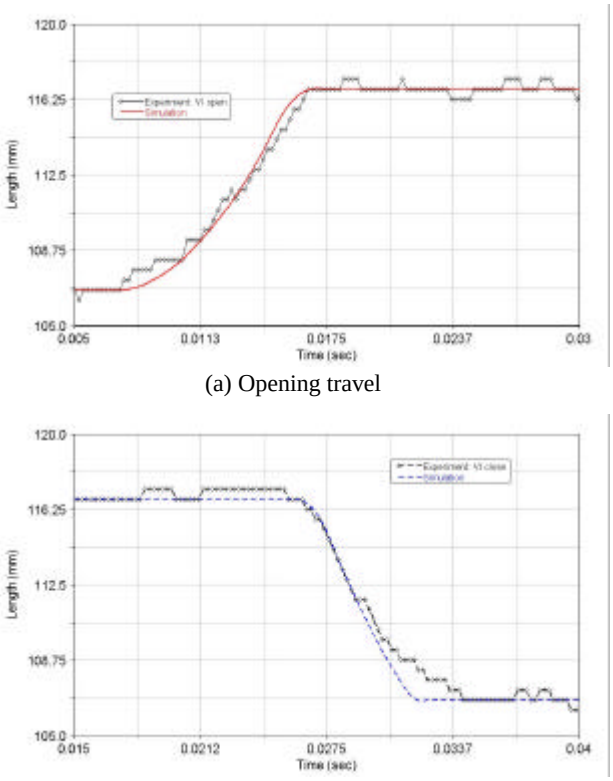


Fig. 9 Measurement of opening and closing travels of moving contactor of VI using high-speed camera

Fig. 9 로부터 추출된 변위를 제안된 동역학 모델의 결과와 비교하였다. Fig. 10 (a)는 차단시의 결과이며, Fig. 10(b)는 투입시의 결과이다. 전환 시간 측정은 주전원 선로와 예비전원 선로 각각에 직류 전원을 넣어 ALTS 전환 동작을 하여 오실로스코프로 측정하였다. Fig. 11 는 측정된 전환 시간이며 Table 2 는 해석과 비교된 결과를 나타낸다. 이 결과로부터 동적모델에 의한 해석이 실제 제품의 결과를 반영함을 알 수 있다.



(a) Opening travel

(b) Closing travel

Fig. 10 Opening and closing travels of moving contactor of VI in experiment and simulation

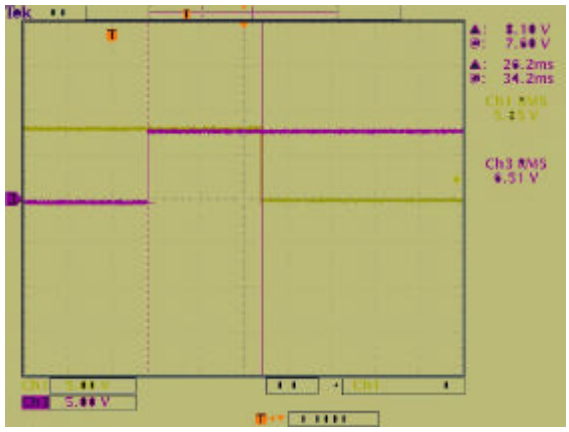


Fig. 11 Transfer switching time of ALTS (experiment)

Table 2 Comparison of ALTS characteristics between simulation and experiment

	Open Velocity	Close Velocity	Switching Time
Experiment	1.01 m/s	1.25 m/s	27.4 ms
Simulation	1.05 m/s	1.52 m/s	25.1 ms

5. 결 론

기존의 제품보다 신속한 주전원 선로로부터 예비전원 선로로의 전환을 위해서 1 구동 2 회로 전환방식의 자동부하전환 개폐기의 개발하기 위하여 구동메커니즘을 동적 모델링하고 설계를 수행하였다. 실제 제품의 스위치의 전환시간에 영향을 줄 수 있는 주된 요소인 블레이드 접점에서의 마찰과 판 스프링에 의한 영향들을 고려함으로써 동적모델의 신뢰성을 확보하였다. 그리고 시제품의 실험분석을 통하여 동적모델을 검증하였다.

참고문헌

(1) Willis, H. L., 1997, *Power Distribution Planning Reference Book*, Marcel Dekker, Inc.
(2) Van Sickle, R. C. and Goodman, T. P., 1953, “Spring Actuated Linkage Analysis to Increase Speed,” Product Engineering, Vol. 24, pp. 152-157, July.
(3) Bush, R. R. and Carter, G. K., 1953, “The Application of Analytical Methods in Power Circuit Breaker Mechanism Design,” AIEE Pacific General Meeting, Vancouver, B. C. Canada, Sept. 1-4.
(4) DADS(Dynamic Analysis and Design System) Reference Manual., Computer Aided Design Software Incorporated, Iowa, U.S.A.
(5) ADAMS(Automated Dynamic Analysis of Mechanical System) Reference Manual., Mechanical Dynamics Incorporated, U.S.A.