

고속 전환 부하 개폐기 구동부의 동 특성 해석

정원선, 정해진, 안길영, 오일성, 홍두영
LG산전 전력연구소

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

Won Sun Chung, Hea Jin Jung, Kil Young Ahn, Il Sung Oh, Doo Young Hong
ELECTROTECHNOLOGY R&D CENTER, LG Industrial Systems

Abstract - 자동 부하 전환 개폐기는 일반적으로 주 전원의 전압 상태를 감시하여 주 전원의 정전이나, 저 전압이 감지될 때 주 전원을 개방시키고, 예비 전원으로 신속하게 전환시킬 수 있는 구동 메커니즘이 필요하며, 주 전원이 정상 상태로 복구되면 다시 예비 전원에서 주 전원으로의 신속한 전환이 요구되어진다.

본 논문에서 연구되는 자동 부하 전환 개폐기의 구동부는 1개의 구동력으로 2개 선로의 스위치를 동시에 조작하게 할 수 있는 링크 구조와 동작 원리를 가지고 있으며, 이 동작을 안정적이고 신뢰도 높게 조작하기 위해서 개폐기 구동부의 동특성을 구현할 수 있는 동적 모델로 검증하여 제작하였다.

보다 정확한 모델 수립을 위하여 기구 동작 시에 발생하는 부품들 사이의 충돌, 마찰, 유연성 등의 많은 동적 특성들을 정밀하게 모사 할 수 있는 유연 다물체 동역학을 적용하였으며, 검증하였다.

1. 서 론

일반적으로, 자동 부하 전환 개폐기(automatic load transfer switch ALTS)는 22.9kV-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 3상 단일조작 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.

본 논문에서 연구되는 자동 부하 전환 개폐기의 구동 메커니즘은 1개의 구동력으로 2개 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 ALTS의 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 인터럽터와 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 운동을생성한다. 이러한 구동메커니즘에는 조인트들과 링크들로 구성된 기구학적 체인, 동작시 발생하는 부품들사이의 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. 70년대 이후로 개발된 대표적인 상용프로그램으로는 DADS, ADAMS등이 있다(4, 5). 따라서 본 논문에서는 이러한 상용프로그램을 사용하여, 실제 ALTS의 동특성을 모사(simulation)할 수 있는 동적모델을 구성한다. 그리고 ALTS의 스위치 전환시각에 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 ALTS의 메커니즘을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 ALTS 구동메커니즘의 구조 및 원리

ALTS를 위한 1구동 2회로 전환방식의 구동메커니즘(driving mechanism)은 그림 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. 그림 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 ALTS의 구동메커니즘의 동작으로 인하여 주전원의 개방시에는 먼저 진공인터럽터의 가동접점이 열리면서 개방시 발생하는 아크를 소호한 다음, 기계적인 링크연결을 통하여 블레이드접점이 열리면서 부하측이 주전원측과 완전히 절연된다. 또한 예비전원 선로측과 부하측에 대해서도 같

은 요소들이 구성되고, 주전원의 개방과는 반대로진공인 터널터와 블레이드 접점은 투입이 된다.

따라서 구동메커니즘은 1개의 구동력으로 2개 선로의 스위치를 동시에 조작하게 할 수 있는 링크구조와 동작 원리를 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 구동편에 걸친다. 이때 구동고리가 구동편에 걸려 있기 때문에 주전원 및 예비전원 동작 축과 일치되어 있는 회전판이 시계방향으로 회전하여 주전원 선로는 개방 동작을 예비전원 선로는 투입동작을 동시에 진행한다. 이는 주전원 선로가 보수되어 예비전원 선로에서 주전원 선로로 전환하고자 할 때에도 동일한 절차를 따른다.

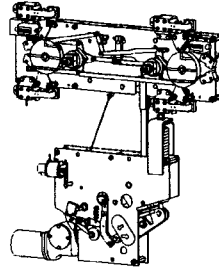
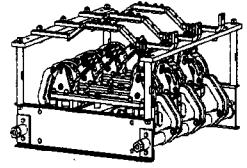
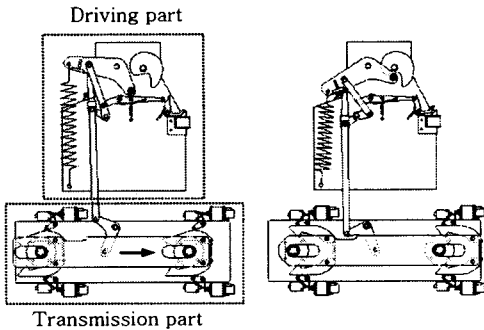
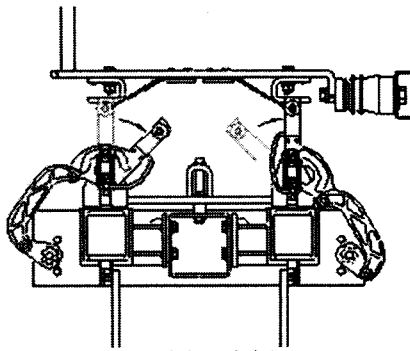


그림 2. ALTS의 세부 설계

그림 3은 동역학 상용 해석 툴인 ADAMS를 사용하여 구성된 구동메커니즘의 동적모델(dynamic model)을 나타낸다. 기하학적인 형상과 제품의 물성치는 Pro/Engineer를 이용하여 구성된 그림 2의 설계 데이터로부터 구하였다. 부품사이의 접촉력은 그림 3과 같이 Hertz 접촉 이론을 이용하여 충격력을 예측 하였으며, 그림 4와 같은 동적 모델을 구성하였다.



(a) 구동메커니즘 (구동부와 전달부)



(b) 전환 스위치부
그림 1. ALTS의 구성과 조작

$$F = kx + D\dot{x}$$

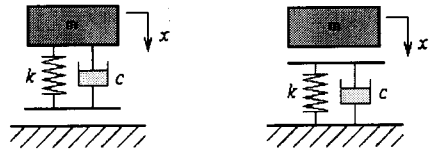


그림 3. 충격력 예측 모델

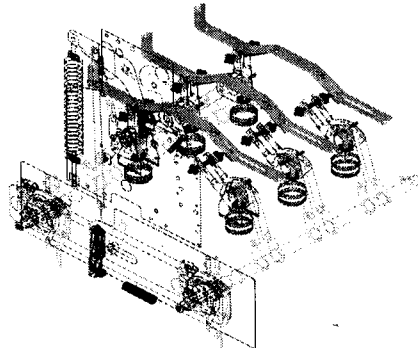


그림 4. ALTS 동 해석 모델

2.2 모델링 및 해석

2.2.1 모델링

이 설계 절차에서 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 5가지이다. 이들 설계 프로세서를 통하여 제품은 최종 설계되고, 제품에 대한 동적 모델도 완성된다. 그림 2는 본 연구를 통하여 설계된 ALTS의 실제 형상을 나타낸다.

또한 ALTS의 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 전환

시간 지연시키는 판 스프링(flat spring)에 의한 영향이다.

2.2.2 접압력에 의한 마찰 영향

블레이드 접점(blade contactor)과 모선(busbar)사이의 전류 통전시 전자반발력에 의해서 접점들 사이의 접촉이 떨어지지 않도록 블레이드의 양단에 스프링을 설치하여 모선에 밀착시킨다.

따라서 개방 또는 투입시 블레이드 접점이 모선에 접촉 또는 분리될 때에는 스프링력에 의하여 접점과 모선 사이에는 다소 큰 마찰력이 발생된다. 이러한 마찰력은 블레이드 접점의 회전운동에 커다란 저항력으로 작용한다. 이러한 영향을 모델링에서 그림 5와 같이 스프링에 의한 힘과 블레이드의 자체의 굽힘에 의한 힘을 접촉면의 수직력으로 계산하여 회전축의 마찰력으로 고려하였고, 이를 적용하기 위해서 그림 6과 같은 Stick-Slip 모델을 이용하였다.

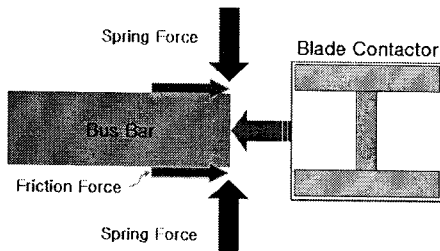


그림 5. 블레이드 접점과 모선 사이의 마찰에 의한 영향

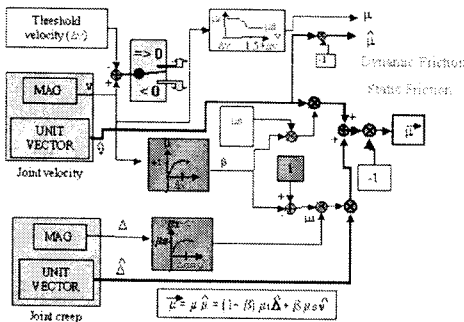
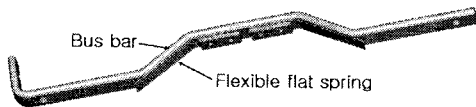


그림 6. Stick-Slip 마찰 모델

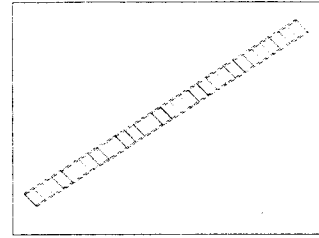
2.2.3 유연성을 가진 판 스프링 영향

ALTS는 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. 이와 같은 현상을 방지하기 위해 최소 24msec의 전환 시간 확보가 필요하며, 전환 시간을 늦추기 위해 통상적으로 판 스프링을 사용한다. 즉, 블레이드 접점은 모선을 이탈 할 때 판 스프링의 저항력으로 수 msec 정도 지연된다.



(a) 판 스프링



(b) 빔 요소를 사용한 판 스프링
그림 7. 유연성을 고려한 판 스프링 모델

이를 동적 모델에 적용하기 위해서는 판 스프링이 갖고 있는 유연성(flexibility)을 모사해야 한다. 그림 7 (a)는 모선에 고정된 판 스프링의 형상을 나타내며, 그림 7 (b)는 판 스프링의 유연한 효과를 고려하기 위해서 ADAMS의 빔요소(Beam element)를 사용한 모델을 나타낸다. 빔은 0.6mm의 두께와 20mm의 폭을 갖고, 재질은 스프링강을 사용하였다.

2.2.3 해석 결과

블레이드 접점 마찰력과 판스프링이 전환시간과 VI 속도에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 4가지 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. 그림 8은 각각의 결과를 나타낸다.

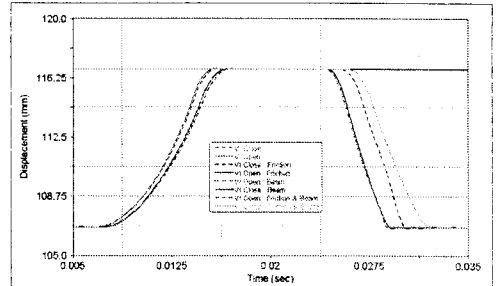


그림 8. 유연성과 마찰을 고려한 해석 결과

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

표 1. VI 가동접점의 투입, 차단, 전환 시간

	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

3. 결 론

제시된 모델의 타당성을 검증하기 위해서 ALTS 시작품으로 VI의 투입과 개방시의 가동점점의 변위 특성을 측정하였다. 또한 블레이드 점점과 VI에 24V의 직류전원을 연결하여 ALTS의 전환 시간을 측정하였다.

그림 9는 설계 원안대로 제작된 ALTS 시작품의 구동 메커니즘과 전환 스위치부를 나타낸다. VI의 투입과 개방을 고속카메라로 촬영을 한 후, 그림 10과 같은 Motion Analyzer라는 프로그램을 사용하여 가동점점의 변위 특성을 추출하였다.

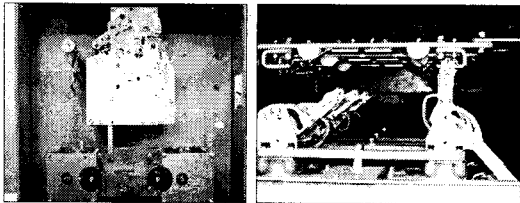


그림 9. ALTS 시작품의 구동부와 전환부

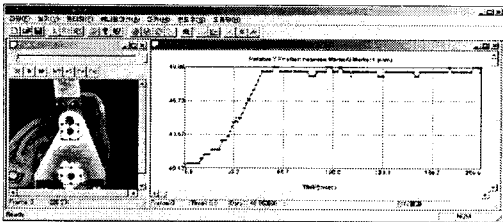
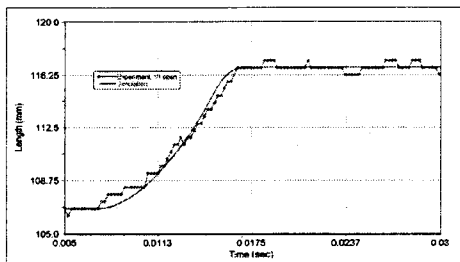


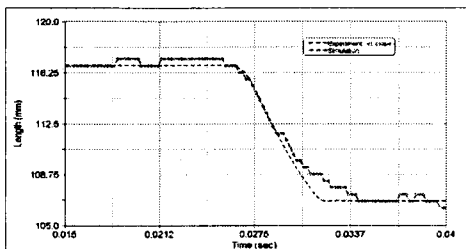
그림 10. 고속 촬영을 통한 VI 점점의 투입, 차단 경로 측정

그림 10으로부터 추출된 변위를 제안된 동역학 모델의 결과와 비교하였다. 그림 11 (a)는 차단시의 결과이며, 그림 11 (b)는 투입시의 결과이다.

전환 시간 측정은 주전원 선로와 예비전원 선로 각각에 직류 전원을 넣어 ALTS 전환 동작을 하여 오실로스코프로 측정하였다.



(a) 투입 경로 비교



(b) 차단 경로 비교

그림 11. VI 점점의 투입, 차단 경로의 실험과 해석치의 비교

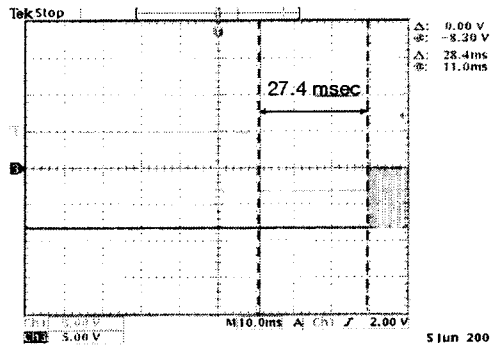


그림 12. 측정된 전환 시간

그림 12는 측정된 전환 시간이며 표 2는 해석과 비교된 결과를 나타낸다. 이 결과로부터 동적모델에 의한 해석이 실제 제품의 결과를 잘 반영함을 알 수 있다.

표 2. ALTS 전환 시간 비교

	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

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

[참 고 문 헌]

- [1] Willis, H. L., "Power Distribution Planning Reference Book", Marcel Dekker, Inc., 1997
- [2] Van Sickle, R. C., Goodman, T. P., "Spring Actuated Linkage Analysis to Increase Speed", Product Engineering, Vol. 24, pp. 152-157, 1953
- [3] Bush, R. R., Carter, G. K., "The Application of Analytical Methods in Power Circuit Breaker Mechanism Design", AIEE Pacific General Meeting, Vancouver, B. C. Canada, Sept. 1-4, 1953
- [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