

## 스프링구동 링크를 가진 기중 회로차단기의 동적 분석

안길영\*(LG 산전 전력연구소), 권병희\*, 오일성\*, 윤영관\*\*(LG 산전 청주공장), 최종웅\*

### Dynamic Analysis of Air Circuit Breaker with Spring-Actuated Linkage

K. Y. Ahn\*(ElectroTechnology R & D Center, LGIS), B. H. Kwon\*, I. S. Oh\*,  
Y. K. Yoon\*\* (Cheong-Ju Plant, LGIS), J. W. Choe\*

#### ABSTRACT

A dynamic model of air circuit breaker with a spring-actuated linkage is derived, and its validation for analysis and design, particularly appropriateness for an analysis of high-speed motion behavior are checked through experiments. The dynamic model is developed through the modeling process based on ADAMS and Pro/Engineer. The simulation results of derived dynamic models for the rapid closing and opening operations are compared with actual responses using a high-speed camera and investigated to validate their usefulness.

**Key Words :** Air circuit breaker (기중 회로차단기), Spring-Actuated Linkage (스프링구동 링크), Dynamic Model (동적 모델), High-speed camera (고속카메라)

#### 1. 서론

기중 회로차단기(air circuit breaker: ACB)는 배전 선로의 과전류와 단락 및 지락사고 등 선로의 이상 발생시 기중 소화방식으로 전류를 차단하여 선로 및 부하기기를 보호하는 전기기기이다. 일반적으로 가정이나 건물에서 볼 수 있는 배선용 차단기에 비해서 차단용량이 크고, 과전류 트립 장치가 부착되고, 게다가 조정이 가능하는 등의 특징이 있다. 현재 ACB 는 정격전압이 500 V, 정격전류가 630 ~ 3200 A, 차단전류는 65 kA 인 범위에 널리 사용되고 있다. 그러나 근래에는 차단 전류가 100 kA 까지 될 수 있도록 ACB 의 차단용량이 점점 대용량화되고 있는 추세이다.

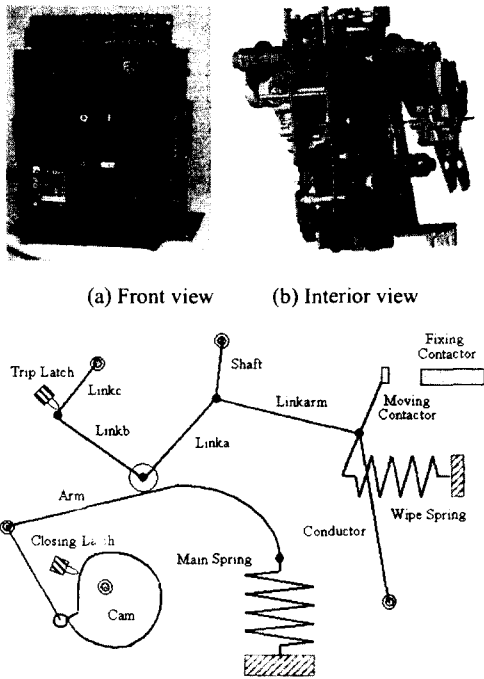
ACB 는 전기 접점들을 수십 ms 내에 개폐하기 위하여, 미리 인장 또는 압축되어진 스프링에 의해 링크기구를 구동시키는 메커니즘을 사용한다<sup>(1)</sup>. 이러한 스프링구동(spring-actuated) 링크는 구조가 간단하면서도 큰 질량을 가진 접점들을 수십 ms 동안에 높은 가속도와 속도로 움직이게 할 수 있으며, 접점의 운동특성은 간단히 스프링과 링크의 변경으로 제어될 수 있다는 장점이 있다. Fig. 1 는 스프링구동 링크를 가진 ACB 의 구조를

나타내며, 접점의 개폐동작은 다음과 같이 순차적으로 진행 된다. 먼저, 모티에 의한 캠의 회전으로 메인 스프링(main spring)이 압축되면서 링크들을 가동 시킬 수 있는 초기 상태가 된다. 다음, 투입 래치(closing latch)를 해제하면 압축된 메인 스프링의 힘은 암(arm)을 상부로 운동시켜, 암에 접촉하고 있는 홀러에 연결된 링크 a 와 b 를 일직선이 되도록 한다. 이때, 가동접점(moving contactor)는 고정접점(fixing contactor)에 붙게 되고, 와이프 스프링(wipe spring)이 압축되어 접점을 가압하게 됨으로써 투입동작(closing operation)은 완성된다. 이러한 접점이 붙은 상태에서 차단 래치(trip latch)를 해제하면, 링크 c 가 회전 하면서 이걸에 압축된 와이프 스프링이 링크들을 운동시킨다. 따라서 가동접점이 고정접점으로부터 분리되어 차단동작(opening operation)이 완성된다.

이러한 ACB 의 구동 메커니즘(operating mechanism)에는 조인트들과 링크들로 구성된 복잡한 기구학적 체인, 동작시 발생하는 부품들 사이의 충격 등과 같은 많은 동적 현상이 존재한다. 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, 여러 개의 물체로 이루어진 시스템에 대한 다물체 동역학(multibody dynamics)의 연구와 병행하여 여러 상용프로그램들(DADS, ADAMS 등)이 개발되었다. 이러한 프로그램의 도움으로 회로 차단기들의 구동 메커니즘에 존재하는 여러 동적 현상을 모델링하고 설계의 개선 및 최적화에 이용하려는 연구가 수행되어져 왔다. Root<sup>(4)</sup>은 Westinghouse Type R의 진공(vacuum) 회로차단기의 동적 응답을 최적화하기 위하여 IMP (intergrated mechanisms program) 프로그램을 사용하여 모델링하였다. Jobes<sup>(5)</sup> 저압(low voltage) 회로차단기에 대하여 링크와 스프링들로 이루어진 메커니즘의 동특성을 분석하기 위해, Walsler<sup>(6)</sup>는 SF6 가스(gas) 회로차단기의 개발을 위해 ADAMS 프로그램을 사용 하였다.



(c) Schematic diagram of operating mechanism  
Fig. 1 Structure of air circuit breaker

본 논문에서는 먼저 ACB의 투입과 차단동작을 분석하기 위하여, 회로접점과 스프링구동 링크를 가진 구동메커니즘의 동적모델이 ADAMS를 이용하여 유도되어진다. 그리고 링크들의 동적 물성치인 질량과 관성은 3차원 형상 모델링 프로그램인 Pro/Engineer를 사용하여 계산되어진다. 개발된 동적모델의 타당성을 검증하기 위하여, 고속카메라

(high-speed camera)를 이용하여 측정된 접점의 변위들과 비교되어진다. 그리고 본 연구의 대상이 되는 ACB는 정격전류가 5000 A, 차단전류가 100 kA이다.

## 2. 모델링

ACB의 기구 동역학적 특성을 분석하기 위한 동적모델은 ADAMS와 Pro/Engineer를 기반으로 한 Fig. 2와 같은 프로세서에 의해 개발되어진다. 즉 모델링에 필요한 링크들의 형상 및 위치 정보와 관성에 대한 물성치들은 Pro/Engineer를 통해 계산되어진다. 이러한 정보들은 ADAMS를 사용한 동적모델의 개발에 기초가 된다. 그리고 실험에 의해 동적모델의 타당성이 비교되어진 후, 제품의 신뢰성 향상 및 개선안 도출에 동적모델이 이용되어진다. 이러한 정립된 프로세서에 의한 메커니즘 개발은 개발기간을 단축시킬 뿐만 아니라 최적화된 메커니즘을 설계하도록 한다.

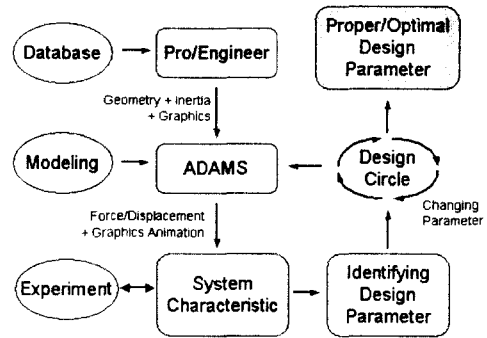
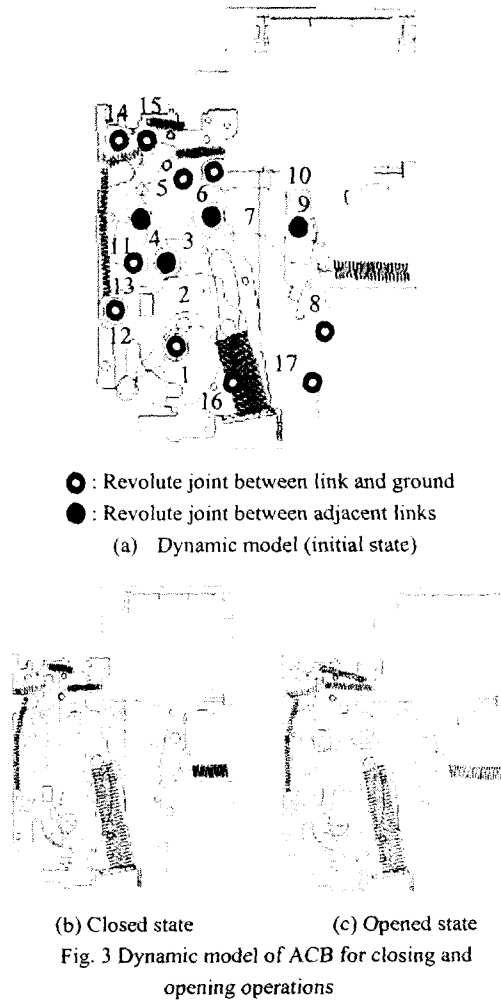


Fig. 2 Development process of dynamic model based on ADAMS and Pro/Engineer

먼저, 회로접점과 구동메커니즘을 포함한 ACB 접점의 투입특성을 분석하기 위한 동적모델은 ADAMS를 사용하여 Fig. 3(a)와 같이 기본적인 강체로서 지면(ground), 래치링크와 가동접점을 포함한 18개의 링크들로 구성되어 있다. 실제 ACB 메커니즘의 링크들은 핀이나 베어링을 이용하여 회전조인트로 서로 연결되어져 있다. 따라서 평면에서 움직이는 것으로 가정할 수 있으므로 동적모델을 2차원으로 구성하였다. 여기서 ACB의 외형틀(outer case)을 지면으로 고려하였다. 구동메커니즘에서 투입 및 차단에 에너지를 제공하는 메인 스프링과 와이프 스프링들은 선형적인 스프링과 댐핑을 가진 요소로 모델링 하였다.

그리고 회로접점의 투입시 발생하는 가동접점과 고정접점 사이의 충돌, 압과 롤러의 접촉 등과 같

이 두 강체들 사이에 작용하는 힘은 헤르쯔 접촉이론(hertz theory)에 근거한 비선형 스프링과 댐퍼로 동가 모델링 하였다<sup>(7)</sup>. 차단특성을 분석하기 위한 동적모델의 초기형상은 Fig. 3(b)와 같으며, Fig. 3(a)의 모델을 해석한 후, ADAMS의 애니메이션(animation)기능을 이용하면 쉽게 얻어진다. 이는 상용프로그램을 이용한 모델에서 얻어지는 하나의 장점이다.

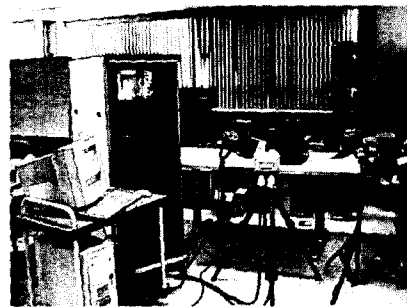


### 3. 실험

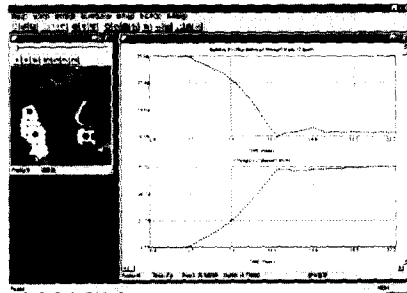
ACB와 같이 링크들과 스프링들이 복잡하게 결합되어 수십 ms로 움직이는 경우, 메커니즘의 동특성을 분석하기 위한 실험장치로서 고속카메라(high speed camera)가 아주 많이 사용되어 진다<sup>(8)</sup>. 본 논문에서 수십 ms로 움직이는 ACB의 구동메커니즘

의 동특성을 분석하기 위한 실험장치로서, 1초당 최대 12000장까지 촬영할 수 있는 고속카메라(high speed camera)가 사용되어 진다. 즉 ACB의 동적모델에서 추정될 수 있는 가동접점의 변위특성은 고속카메라로 분석되고 비교되어 진다. 또한 강체들 사이에서 발생하는 충돌현상을 관측(observation)하기 위해서도 사용될 수 있다.

고속카메라의 장치는 Fig. 4(a)와 같이 고속카메라, 영상을 고속으로 처리하는 콘트롤러, 광원, 모니터 등으로 구성되어 있다. 그리고 촬영된 영상으로부터 변위특성들은 Fig. 4(b)와 같은 영상처리프로그램(image-processing program)을 이용하여 분석되었다. 여기에서 관심있는 링크의 부분이 추적되며, Fig. 4(b)는 투입과 차단시 가동접점의 운동을 추적한 결과이다.



(a) Experimental setup



(b) Image-processing program

Fig. 4 Experiment using high-speed motion

### 4. 실험과 해석결과의 비교

Fig. 5는 ACB의 투입 동작시에 가동접점의 변위를 나타낸다. 여기에서 점선은 Fig. 4와 같이 고속카메라로 촬영된 영상으로부터 측정된 가동접점의 변위를 나타낸다. 이 결과는 동적모델과 실제 ACB의 투입 동작시 가동접점 변위는 거의 유사함을 보여준다. Fig. 6은 차단 동작시에 가동접점의 변위를 나타낸다. 여기에서 가동접점이 완전히 차

단될 때의 충격과 스프링의 힘에 의해 다시 고정점 쪽으로 되튀는 부분을 제외하면, 동적모델은 실제 ACB의 차단특성과 유사함을 알 수 있다. 즉, 이 결과들은 동적모델이 실제 ACB의 투입과 차단특성을 잘 반영함을 입증한다.

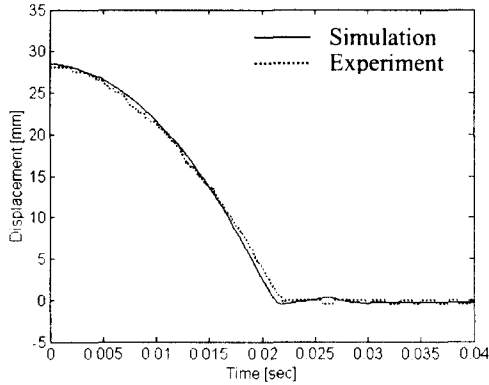


Fig. 5 Displacement of moving contact during closing operation

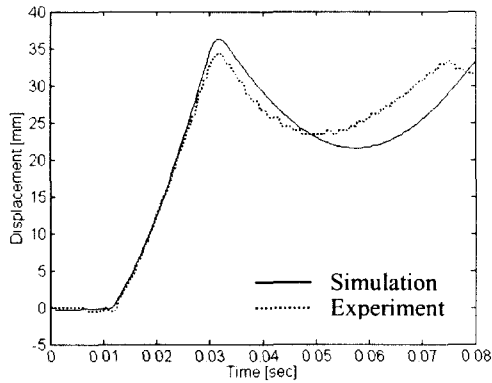


Fig. 6 Displacement of moving contact during opening operation

#### 4. 결론

스프링구동 링크를 가진 기중 회로차단기의 접점의 투입 및 차단특성과 링크들의 동적현상을 규명하기 위한 동적모델이 유도되었다. 이러한 동적모델은 ADAMS와 Pro/Engineer을 기반으로 정립된 프로세서를 통하여 개발되었다. 회로차단기의 동특성의 예측을 어렵게 만드는 복잡한 기구학적 체인, 링크들 사이에서 아주 짧은 순간에 발생하는 충격이 동적모델에 쉽게 반영되어 졌다. 고속카메라에 의한 실험 결과와 동적모델에 의한 결과가 거의 유사함을 보였다. 이로부터 실제 회로차단기의 투입 및 차단특성은 모델에 의해 분석될 수 있음이 입증

되었다.

이러한 검증된 동적모델은 메커니즘의 성능을 개선시키는데 대한 방향을 제시하고, 차단용량이 다른 회로차단기의 분석에 쉽게 적용되어질 수 있다.

#### 참고문헌

1. Flurscheim, C. H., *Power Circuit Breaker Theory and Design*, Short Run Press Ltd., 1975.
2. Van Sickle, R. C. and Goodman, T. P., "Spring Actuated Linkage Analysis to Increase Speed," *Product Engineering*, Vol. 24, pp. 152-157, July, 1953.
3. Barkan, P., "Dynamics of High-Capacity Outdoor Oil Circuit Breaker," *AIEE Transactions*, Vol. 74, Part III, pp. 671-676, 1955.
4. Root, R. R., "The Circuit Breaker-A Practical Example in Engineering Optimization," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 18, No. 3, pp. 229-235, 1983.
5. Jobes, C. C., Palmer, G. M. and Means, K. H. "Synthesis of a Controllable Circuit Breaker Mechanism," *Transaction ASME-Journal of Mechanical Design*, Vol. 112, pp. 324-330, Sept., 1990.
6. Walser, H., "Using ADAMS in the Development of High Voltage Switching Gears," 11<sup>th</sup> European ADAMS User's Conference, pp. 365-375, Nov. 19-20, 1996.
7. Timoshenko, S. P. and Goodier, J. J., *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, 1970.
8. Han, I. and Gilmore, B. J., "Multi-body Impact Motion with Friction - Analysis, Simulation, and Experimental Validation," *ASME J. of Mechanical Design*, Vol. 115, pp. 412 ~ 422, 1993.