

동적모델에 기반한 진공 회로차단기의 설계

권병희*(LG 산전 전력연구소), 안길영(LG 산전 전력연구소)

Design of Vacuum Circuit Breaker Based on Dynamic Model

B. H. Kwon(LGIS), K. Y. Ahn(LGIS)

ABSTRACT

The Vacuum circuit breaker is a kind of power circuit breaker and protect electric devices from over-current. In this paper we built a dynamic model of VCB driving mechanism using ADAMS. The development of the new circuit breaker with less energy and more compactable mechanism is focused. Through the dynamic model, the concept design of the new circuit breaker with less energy and more compactable mechanism is proposed, and then the detailed design is carried out through the design process based on the dynamic model.

Key Words : Vacuum Circuit Breaker (진공차단기), Dynamic model (동적모델), Concept design(개념설계), Closing energy (투입에너지), Opening energy(차단에너지)

1. 서론

고전압과 고전류가 흐르는 송배전 계통에서 과전류, 단락 등에 의한 사고 발생시에 그 파급효과를 최소화하기 위하여 차단기인 고압 회로차단기(power circuit breaker)를 사용한다. 현재 사용되는 고압 회로차단기는 여러 형태로 발전되어 왔으며 회로 접점의 개폐시에 발생되어지는 아크(arc)의 소호매질에 의해 공기, 자기, SF₆ 가스, 진공 차단기 등으로 분류되고 있다. 진공차단기는 이러한 기능을 가진 차단기의 일종으로 차단 매질로 진공을 이용한다.

이러한 진공차단기의 구동메커니즘은 소형 차단기의 개폐 스위치와도 같은 역할을 하는 기구로서 스프링에 미리 충전된 탄성에너지를 링크를 이용한 기구부에서 운동에너زي로 변환시켜 접점을 개폐하는 운동을 생성한다.

진공차단기의 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.

그러나 컴퓨터의 이용과 발전에 따라 진공차단기의 구동메커니즘과 같이 여러 개의 물체로 이루어진 시스템에 대한 다물체 동역학의 연구와 병행하여 여러 상용프로그램들이 개발되었다. 70년대 이후로 개발된 대표적인 상용프로그램으로는 DADS, ADAMS 등이 있다. 이러한 상용프로그램을 사용하여, 실제 진공차단기의 동특성을 모사(simulation)할 수 있는 동적모델을 구성하였고, 구성된 동적모델을 이용하여 진공차단기의 메커니즘을 개발하였다.

2. 설계 절차

Fig. 1은 CAE를 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 가지이다.

2.1 제품 관련 데이터베이스 구축

모든 제품의 생산을 위해서는 제품 구성요소의 기하학적 형상 및 제질 그리고 그들 간의 연결방법 등에 대한 정보를 구축하고 이를 도면으로 나타내야 한다. 그런데 이러한 제품관련 데이터베이스는 제품의 생산뿐만 아니라 그 제품의 설계를 위해서도 필수적 요소이다. 이러한 데이터베이스의 구축

은 보통 3-D CAD Tool을 이용하여 수행하며 본 연구에서는 가장 널리 쓰이는 CAD Tool 중 하나인 Pro/Engineer를 이용하였다. 본 연구와 관련해 구축된 데이터베이스는 좀더 구체적으로는 제품을 구성하는 요소들의 기하학적인 형상 데이터, 관성 데이터, 스프링의 강성, 요소들간 연결정보 및 연결에 사용된 조인트의 종류, 그리고 조인트의 작동방향 등의 내용을 포함하는 것이다.

2.2 해석 모델링 및 관련 데이터 구축

제품 생산을 위해서는 모든 부품의 형상 데이터가 그대로 필요하나 동역학 해석 시에는 통상 질량의 크기, 관성모멘트의 크기 등 많이 사용될 경우가 많다. 이렇게 이상화된 해석을 위해서는 나름대로의 특징을 갖는 제품관련 데이터들이 사용되며 이 데이터들은 생산을 위한 데이터들과는 서로 차이가 난다. 따라서 제품관련 데이터베이스가 구축되었다 하더라도 해석 모델링을 위한 데이터의 확보작업이 필요한 것이다. 제품자체의 데이터와 상관없이 필요한 해석관련 자료로는 또한 제품의 사용환경을 나타내는 것들이 있다. 예를 들어 제품에 가해지는 각종 하중들이 그러한 것이다. 또한 물체와 물체가 접촉하여 작용하는 힘을 계산하기 위한 모델링은 정확한 해석이 어려울 수 있는 내용이며 그 이상화가 중요하다. 이러한 내용 중에는 해석 엔지니어의 많은 경험이 포함된 경우도 있다. 제품의 설계를 위한 해석을 위해서는 따라서 이러한 모델링에 필요한 데이터들을 확보하는 작업이 매우 중요하다.

2.3 S/W 입력자료 작성 및 해석 수행

해석을 위한 모델링 작업이 완료되면 이를 해석하기 위해 S/W의 입력자료를 작성하는 작업이 진행된다. 본 연구에서 해석을 위해 사용하는 S/W는 기구 동역학 해석 프로그램인 ADAMS이다.

2.4 설계인자 선정

시스템의 기능이나 내구성 등에 영향을 미치는 여러 가지 제원들 중에서 설계변경이 가능한 것들을 선정하는 작업을 말한다. 본 연구에서는 링크의 길이, 위치, 에너지 원인 스프링의 특성치등이 설계인자로 선정되어졌다.

2.5 설계인자 적정/최적치 설정

설계인자가 선정되면 해석자는 이를 설계인자들을 변경해 가며 해석을 수행하고 그 결과를 보며 제품의 기능이나 내구성을 향상시킬 수 있는 설계인자의 값을 찾아낸다. 이 때, 해석은 설계인자 하나가 한 번 변할 때마다 수행되므로 많은 반복적인 작업이 필요하다. 대상으로 하는 설계인자가 소수이거나 서로의 연관성이 적고 관찰하려는 제품기능이나 내구성 관련 내용이 소수의 종류이면 이러한 작업은 별 문제없이 이루어질 수 있으나, 서로

연관된 설계인자의 수가 증가하고 설계 목적함수의 종류가 다양해짐에 따라 설계과정은 자동화 및 최적화가 필요하다.

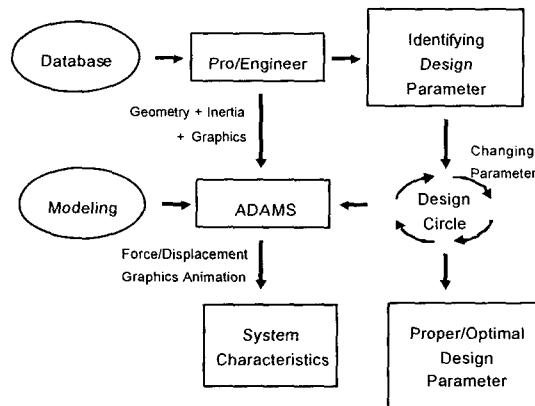


Fig. 1 Block diagram of Design Process

3. 메커니즘의 구성과 동작원리

3.1 메커니즘 구성

Fig. 2는 메커니즘을 나타낸 것이다. 메커니즘을 구성하는 주요 부품의 크게 18개로 구성되어 있고, 스프링은 3개의 스프링으로 구성되어 있다. 3개의 스프링은 각각 투입스프링, 차단스프링, 접압스프링이다. 이 3개의 스프링이 메커니즘의 구동 에너지원이 되고, 주요 설계 인자가 된다.

3.2 동작 원리

메커니즘은 크게 3 가지 동작- 차징 동작, 투입동작, 차단동작-을 수행하게 된다. 첫 번째 차징동작은 접점을 투입시키기 위해서 투입스프링을 인장시키는 동작이다. 이 동작은 모터를 이용해 자동적으로 수행이 되기도하고, 수동으로 수행할 수도 있다. 차징동작이 완료되면 투입스프링의 에너지원을 메커니즘의 운동에너지로 전환하여 접점을 투입시키는 투입동작이 수행된다. 투입동작은 메커니즘을 움직이게 하는 것 외에도 차단스프링을 인장시키고, 접압스프링을 압축시켜 안정된 접압력이 접점사이에 작용하게 만들어 주는 역할도 하게된다. 마지막 차단동작은 과전류 신호에 의해 접점을 분리시키는 동작으로, 투입스프링에 의해 인장된 차단스프링 에너지와 접압스프링 에너지에 의해 이루어지게 된다. 메커니즘을 움직이는 3개의 스프링은 서로 연관관계를 가지고 있어서, 3개의 스프링을 설계 사양을 만족하는 최적의 설계안을 도출하는 것이 중요하다. 스프링의 강성이 큰 것을 사용하면 투입속도나 차단속도를 만족할 수 있겠지만,

부품들의 변형과 파단을 초래하는 결과가 된다. 따라서 최소의 에너지로 메커니즘의 동작을 수행할 수 있는 스프링의 설계가 요구되어진다.

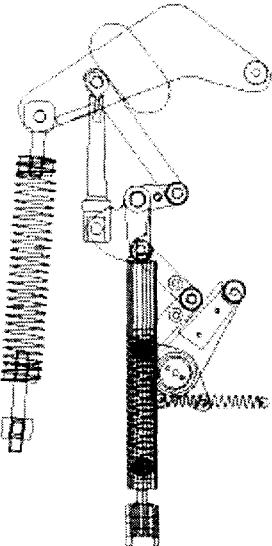


Fig. 2 Mechanism structure

4. 동역학 해석 및 설계

4.1 동적 모델

Fig. 3은 ADAMS를 사용하여 메커니즘의 해석 모델을 나타낸 것이다. 기하학적인 형상과 제품의 물성치(질량, 질량중심의 위치, 관성 모멘트)는 3D 모델링 Tool인 Pro/Engineer를 이용하여 구하였다. 부품사이의 접촉력은 Hertz 접촉 이론을 이용하여 영구변形이 없는 탄성체로 가정하여 모델링을 수행하였다.

4.2 스프링 설계

차단기의 일반적인 스프링 설계 절차는 다음과 같이 진행된다. 먼저 통전 전류치에 의해서 접점간의 반발력을 유지할 수 있도록 하는 접압 스프링을 설계하게 되고, 두 번째 차단 속도를 만족하는 차단 스프링을 설계한다. 마지막으로 투입 속도를 만족하는 투입스프링을 설계하게 된다. Table 2는 동적 모델을 이용하여 설계된 3개의 스프링 특성치를 나타낸다.

	강성	자유길이	초하중
접압	7.8 kgf/mm	50 mm	0 kgf
차단	2.4 kgf/mm	132 mm	28.3 kgf
투입	5.8 kgf/mm	210 mm	158 kgf

Table 1 Properties of three springs

Fig. 4는 시뮬레이션 동안의 투입, 차단, 접압 스프링의 힘을 나타낸 것이다. 0.36초까지 투입스프링을 인장시킨후, 이 투입스프링 에너지를 이용하여 0.6초까지 차단스프링을 인장시키고, 접압 스프링을 압축시키며 투입동작을 완료한다. 마지막으로 0.68초까지 차단스프링과 접압스프링 에너지를 이용하여 차단동작을 완료한다

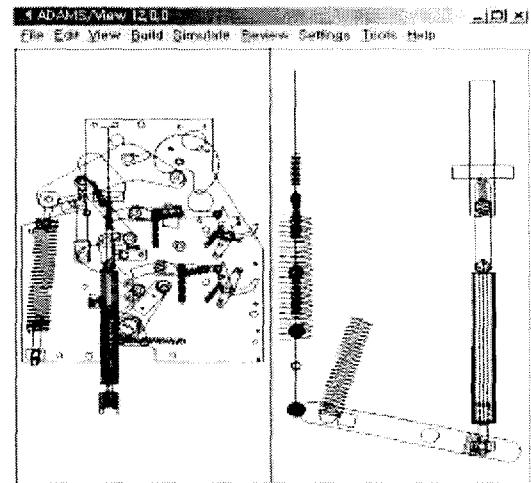


Fig. 3 Dynamic model

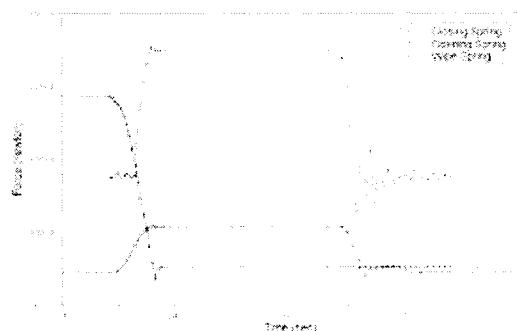


Fig. 4 Spring forces during simulation

4.3 투입, 차단시 속도와 에너지 선도

Fig. 5는 접점의 투입, 차단동안의 변위, 속도를 나타낸 것이다. 앞서 설정한 투입, 차단, 접압 스프링을 이용하여 동역학 해석을 수행할 결과 투입속도와 차단속도를 구할 수 있다. 투입 속도는 1.607 m/s, 차단 속도 2.5 m/s이다. 설계된 스프링들은 접점의 투입속도와 차단속도의 설계사양을 만족한다.

Fig. 6은 주요 부품의 투입, 차단 시뮬레이션동안 운동에너지를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 접점과 메인 샤프트가 전체 운동에너지의 대부분을 차지하고 있다. 따라서 스프링 에너지의 증분없이

투입, 차단 속도를 증가시키기 위해서는 차후에 접점과 메인사프트의 관성항을 줄이는 것이 효과적임을 알 수 있다.

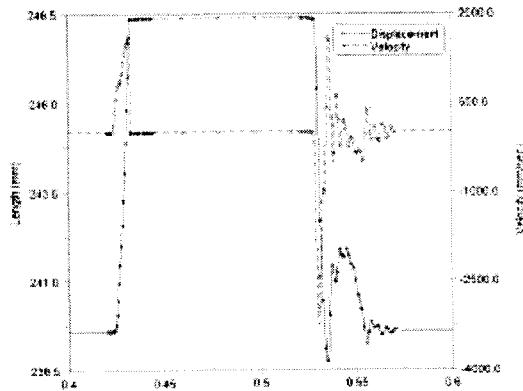


Fig. 5 Displacement and Velocity during simulation

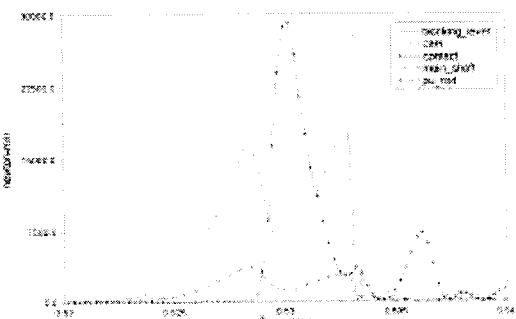


Fig. 6 Kinetic energy flow of main parts

참고문헌

- Flursheim, C. H., *Power Circuit Breaker Theory and Design*, Short Run Press Ltd., 1975.
- Van Sickle, R. C. and Goodman, T. P., "Spring Actuated Linkage Analysis to Increase Speed," *Product Engineering*, Vol. 24, pp. 152-157, July, 1953.
- Barkan, P., "Dynamics of High-Capacity Outdoor Oil Circuit Breaker," *AIEE Transactions*, Vol. 74, Part III, pp. 671-676, 1955.
- Root, R. R., "The Circuit Breaker-A Practical Example in Engineering Optimization," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 18, No. 3, pp. 229-235, 1983.
- 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.
- Walser, H., "Using ADAMS in the Development of High Voltage Switching Gears," *11th European ADAMS User's Conference*, pp. 365-375, Nov. 19-20, 1996.
- Timoshenko, S. P. and Goodier, J. J., *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, 1970.
- 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.

4. 결론

진공차단기의 구동 메커니즘의 동적 모델을 ADAMS 를 이용하여 구성하였고, 차단기의 기계적 성능에 가장 큰 영향을 주는 인자로 투입, 차단, 접합스프링을 설계변수로 선정하였다. 구성된 동적모델의 해석결과로부터 스프링의 특성치를 선정하였고, 선정된 스프링이 차단기의 속도를 만족하는 것을 확인하였다. 시뮬레이션 동안의 주요 부품의 에너지 흐름을 분석하여 스프링 에너지와 관계없이 에너지를 많이 차지하는 부품을 선정하였다. 향후에 운동에너지를 많이 차지하는 부품의 관성항을 줄이는 방향으로 수정을 하면 스프링 에너지의 증가 없이 차단속도를 향상시킬 수 있다.