韓國精密工學會 2005 年度 春季學術大會論文集

전력 개폐기의 중첩 판 스프링의 충격 피로 해석

박우진(LS 산전 전력연구소), 안길영*(LS 산전 전력연구소), 정광영(공주대학교 기계공학부)

Impact and Fatigue Analysis of Superposed Leaf Spring in Electric Power Switch

W. J. Park(ElectroTechnology R & D Center, LSIS), K. Y. Ahn(ElectroTechnology R & D Center, LSIS),
K. Y. Jeong(Mechanical Eng. Dept., Kongju National University)

ABSTRACT

The automatic load transfer switch (ALTS), a kind of electric power switch, 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 order to control or delay the transfer switching time, the ALTS studied in this paper uses the superposed leaf springs, which are subjected to impact loadings in contacting with electrical contacts. Therefore, to confirm whether the springs has enough mechanical endurance in ALTS, we build a finite element model of the superposed leaf springs using LS-DYNA and perform the impact and fatigue analysis.

Key Words : Automatic load transfer switch (자동 부하 전환 개폐기: ALTS), Leaf spring (판 스프링), F. E. Model (유한요소 모델)

1. 서론

일반적으로, 전력 개폐기의 한 종류로서 자동 부하 전환 개폐기(automatic load transfer switch; ALTS)는 22.9 ㎸-Y 계통의 수용가 수전선로에 사용되며, 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 ALTS 는 정전시에 큰 피해를 입는 수용가인 병원, 전산 센터, 펌프장, 오피스텔, 공공 시설, 항만, 공항 등에 설치된다. Fig. 1 은 자동 부하 전환 개폐기의 전면모습과 주전환부 메카니즘을 보여주고 있다.

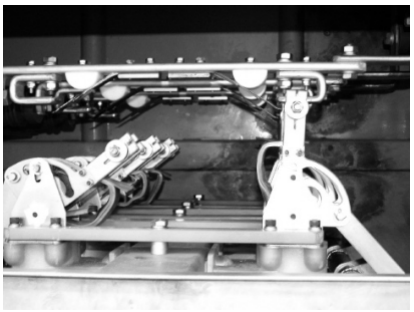
ALTS 는 주전원 선로에 이상이 발생 했을 시에 예비전원 선로로 신속히 전환 시켜주는데 그 목적이 있다. 하지만 신속함만을 고려하여 거의 동시에 주전원 선로를 끊고 예비전원 선로로 전환한다면 전환시에 발생하는 아크에 의해 단락 현상이 일어날 수도 있다. 이를 위해 최소 24 ms 의 전환 시간 확보가 필수적이다. 이러한 전환 시간을 늦추기 위해 판 스프링을 중첩하여 사용한다. 즉, 블레이드 접점이 접촉상태에서 분리될 때 판 스프링의 저항력으로 블레이드의 운동은 수 ms 정도 지연된다.

이러한 블레이드 접점과 접촉하여 전환시간을 지연시키는 판 스프링들이 중첩되어 있으므로, 탄성체인 판 스프링들 사이의 충돌, 블레이드와 판 스프링 사이의 충돌, 충돌 후 판 스프링의 자유진동과 같은 복잡한 비선형 동적 현상이 존재한다. 따라서 전력 개폐기인 ALTS 의 지연시간의 신뢰성과 판 스프링의 내구성을 확보하기 위해서는 중첩된 판 스프링의 거동과 동적 응력을 분석할 필요가

있다. 이와 같은 탄성체의 동적 현상을 분석할 수 있는 대표적인 상용프로그램으로는 LS-DYNA, PAM-CRASH 등이 있다[2,3].

본 논문에서는 이러한 상용프로그램을 사용하여, ALTS 의 스위치 전환시간에 영향을 크게 미치는 블레이드 접점과 접촉하여 전환시간을 지연시키는 판 스프링(leaf spring)에서 발생하는 충돌현상에 대한 해석을 수행한다. 또한 충돌해석결과를 바탕으로 VPG 의 피로해석 모듈을 이용한 피로해석을 수행하여 내구수명을 예측한다[4].

(a) Front panel

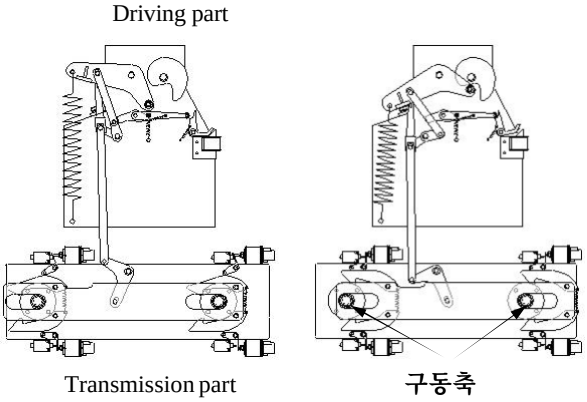


(b) Switch mechanism part

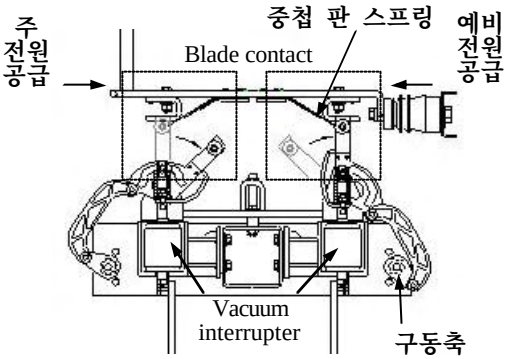
Fig. 1 ALTS(Automatic Load Transfer Switch)

2. ALTS 구동메커니즘의 구조 및 원리

ALTS 를 위한 1 구동 2 회로 전환방식의 구동메커니즘(driving mechanism)은 Fig. 2 (a)와 같이 크게 스프링을 인장 및 활성화시키는 구동부(driving part)와 구동부의 에너지 및 운동을 전환 스위치부(transfer switching part)로 전달하는 전달부(transmission part)로 구성된다. Fig. 2 (b)의 전환 스위치부는 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 구동축의 회전으로 주전원의 개방 시에는 먼저 진공인터럽터의 가동접점이 열리면서 개방 시 발생하는 아크를 소호한 다음, 기계적인 링크연결을 통하여 블레이드 접점이 열리면서 부하측이 주전원측과 완전히 절연된다. 이때, 블레이드는 판 스프링과 충돌되어 운동이 지연된다. 또한 예비전원 선로측과 부하측에 대해서도 같은 요소들이 구성되고, 주전원의 개방과는 반대로 진공인터럽터와 블레이드 접점은 투입이 된다



(a) Driving and transmission parts of driving mechanism



(b) Transfer switching part

Fig. 2 Structure and operation of ALTS

3. 유한요소 모델링

Fig. 3 은 3 겹 판 스프링이 실제 위치하는 부분을 도시한 것이며, Fig. 3 은 3 겹 판 스프링의 유한요소 모델을 보여주고 있다. 판 스프링을 구성하는 3 장의 판 스프링은 각기 서로 다른 굽힘각을 가지고 조립되므로 블레이드접점이 동작하여 판 스프링에 직접적인 영향을 주지 않더라도 판 스프링내에 잔류응력이 존재하게 된다. 따라서 정확한 해석을 위해서는 이러한 초기 잔류응력을 고려해야 하며 이를 위해 판 스프링의 조립과정에 대한 1 차해석을 통해 동작전 초기상태의 잔류응력을 구해내고 이것을 초기 입력값으로 하여 블레이드 접점의 동작 시 발생하는 충격해석을 수행하였다. Fig. 4 의 1, 2 는 3 겹 판 스프링의 조립과정을

보여주고 있으며, 3 은 부스바가 정위치로 이동하여 완전한 조립상태까지의 해석과정을 보여주고 있다. 4 번은 실제 블레이드 접점이 동작하여 판 스프링과 충돌하는 과정을 나타내는 순차적인 해석내용을 보여주고 있다.

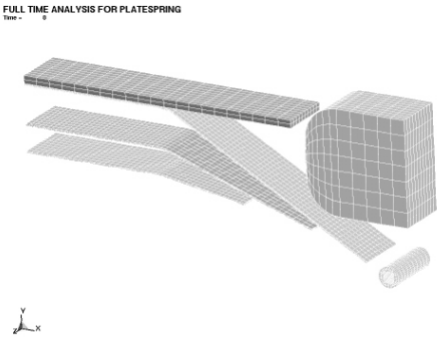
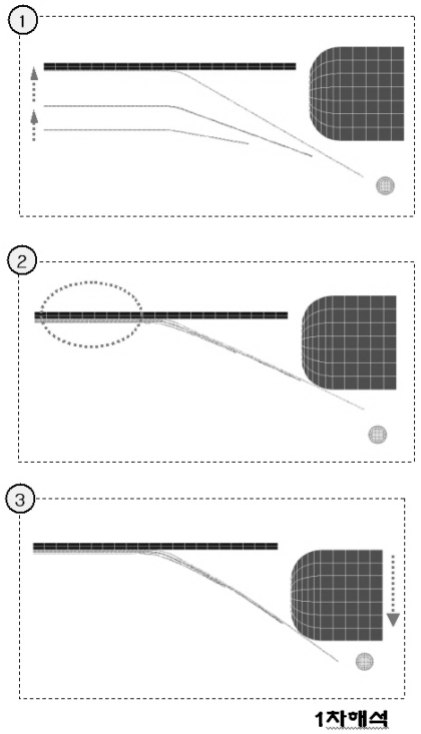
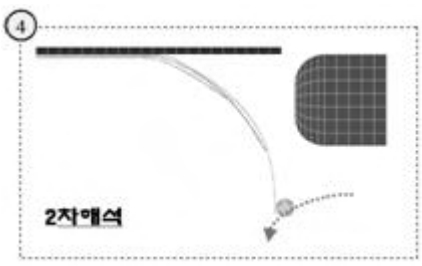


Fig. 3 F. E. Model of 3-superposed leaf spring part



(a) Assembly process



(b) ALTS operation

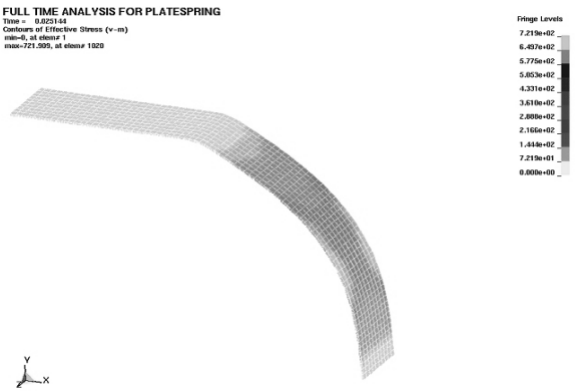
Fig. 4 Considering assembly process and ALTS operation

판 스프링은 전원의 전환 동작 시 반복해서 충격하중이 가해지게 되며 이는 제품의 내구수명과 밀접한 관계에 있다. 따라서 충격해석의 결과를 바탕으로 VPG 를 이용한 피로해석을 수행하여 기계적 내구수명을 예측하였다.

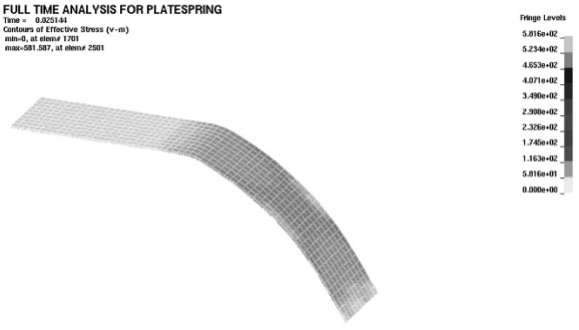
4. 해석 결과

4.1 충격해석

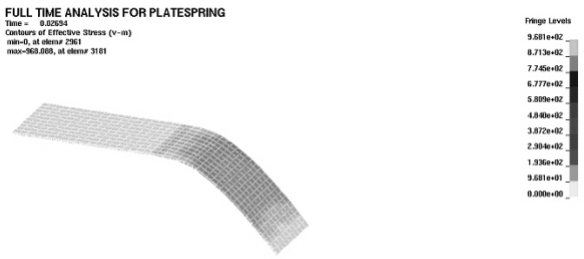
블레이드 접점의 동작 전 초기 조립상태에서 3 겹 판 스프링에 작용하고 있는 응력치를 1 차해석을 통하여 얻어내었고, 이를 바탕으로 블레이드 접점의 동작 시 충격해석을 수행하여 3 겹 판 스프링을 구성하고 있는 각 판 스프링의 응력상태를 확인하였다. Fig. 5(a)는 최상부에 위치하는 판스프링의 최대응력 발생시 응력상태를 보여주고 있으며, Fig. 5(b), (c)는 각각 중간부, 하단부 판 스프링의 응력상태를 나타낸다.



(a) Upper leaf spring



(b) Middle leaf spring



(c) Bottom leaf spring

Fig. 5 Stress distributions of each leaf spring

판 스프링 중 하단부 판 스프링에서 최대응력이 발생하고 있었으며 최상부, 중간부 판 스프링의 순서로 최대 응력 값이 나타나고 있다. 이것은 실제 제품의 내구수명 테스트에서 최상부 판 스프링의 파손이 가장 먼저 일어나는 결과와는 다소 차이를 보이고 있다.

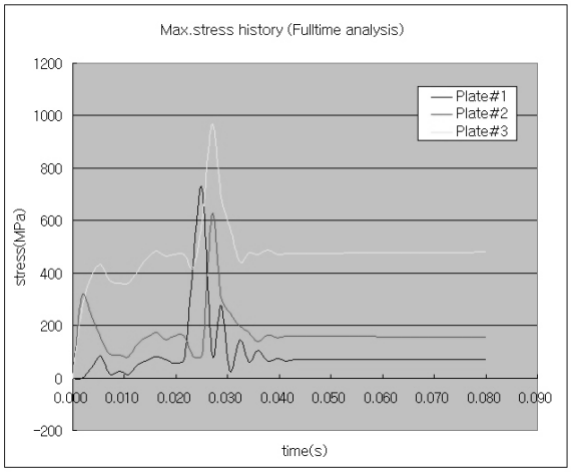


Fig. 6 Stress distribution in each leaf spring

Fig. 6 는 충돌발생 시 시간에 따른 각 판 스프링에서의 응력변화를 보여주고 있다. 실제 최대 응력 값은 하단부의 판 스프링에서 가장 크게 나타나고 있으나 응력의 진폭(amplitude)은 최상층 판 스프링 진폭의 0.6 배정도로 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 응력 진폭의 차이는 동작빈도가 많은 제품일수록 제품의 내구수명과 밀접한 관계에 있으며 진폭이 클수록 피로수명이 짧아져 조기파손의 위험성이 커지게 된다.

4.2 피로해석

응력진폭이 제품의 내구수명에 미치는 영향을 알아보기 위하여 피로해석 모듈을 가지고 있는 해석 프로그램인 VPG 를 사용하였다. LS-DYNA 를 통하여 얻어진 충격해석 결과를 VPG 를 이용한 피로해석에 사용하였다. Fig. 7 은 VPG 를 통해 얻어진 피로해석 결과를 보여주고 있다. 최상층 판 스프링의 굽힘이 가장 크게 나타나는 중앙부에서 하단부 판 스프링보다 먼저 파단이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이러한 피로해석 결과는 실제 제품의 내구수명 실험에서 발생하는 파단 현상과 일치하고 있다. 이것은 충돌 시 발생하는 응력진폭의 크기가 제품의 내구 수명에 얼마나 큰 영향을 주고 있는지를 나타낸다. 따라서 동작 빈도가 높은 제품의 충격해석 시 응력진폭이 큰 경우 이를 줄일 수 있는 설계가 필요할 것이다.

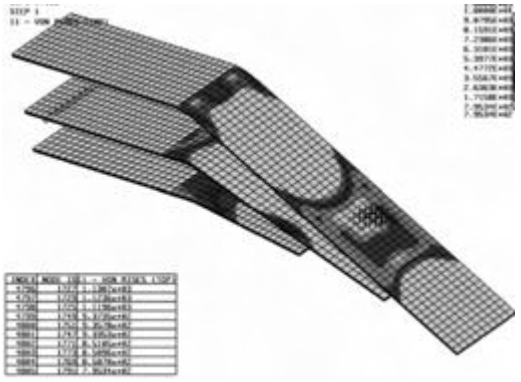


Fig. 7 Life-cycle results of fatigue analysis

5. 결 론

기존의 제품보다 신속한 주전원 선로로부터 예비전원 선로로의 전환을 위해서 자동부하전환 개폐기의 개발이 필요하며 제품의 동작 시 메커니즘에 발생되는 충격력에 대한 영향을 고려하여야 한다. 이를 위해 동작 시 조기파손의 우려가 있는 3 겹 판 스프링에 대한 유한요소모델링과 충격해석을 수행하였다. 충격 해석 결과를 바탕으로 응력진폭이 피로수명에 주는 영향을 살펴보기 위해 피로해석을 수행하였으며 이것은 실제 제품의 반복 동작 시 내구 수명에 영향을 주는 인자임을 검증하였다.

참고문헌

1. Willis, H. L., 1997, *Power Distribution Planning Reference Book*, Marcel Dekker, Inc.
2. “LS-DYNA Keyword User’s manual,” Livermore Software Technology Corporation, 2001
3. “Pam-Crash User’s manual,” ESI software, 2001
4. “Eta/VPGTM User’s manual,” a Mechanical System Simulation Software, 2004.