

## 동적 물성치를 고려한 진공 인터럽터 충격특성의 영향인자 분석

임지호\* · 송정한\* · 허 훈† · 박우진\*\* · 오일성\*\* · 안길영\*\* · 최종웅\*\*

(2001년 11월 5일 접수, 2002년 2월 25일 심사완료)

### Parameter Study of Impact Characteristics for a Vacuum Interrupter Considering Dynamic Material Properties

Ji-Ho Lim, Jeong-Han Song, Hoon Huh,  
Woo-Jin Park, Il-Seong Oh, Gil-Young Ahn and Jong-Woong Choe

**Key Words :** Split Hopkinson Pressure Bar(홉킨슨 바 시험기), Vacuum Interrupter(진공 인터럽터), Strain Rate Hardening(변형률 속도 경화), Chattering(채터링)

#### Abstract

Vacuum interrupters in order to be used in various switch-gear components such as circuit breakers, distribution switches, contactors, etc. spread the arc uniformly over the surface of the contacts. The electrodes of vacuum interrupters are made of sinter-forged Cu-Cr materials for good electrical and mechanical characteristics. Since the closing velocity is 1-2m/s and impact deformation of the electrode depends on the strain rate at that velocity, the dynamic behavior of the sinter-forged Cu-Cr is a key to investigate the impact characteristics of the electrodes. The dynamic response of the material at the high strain rate is obtained from the split Hopkinson pressure bar test using disc-type specimens. Experimental results from both quasi-static and dynamic compressive tests are interpolated to construct the Johnson-Cook model as the constitutive relation that should be applied to simulation of the dynamic behavior of the electrodes. The impact characteristics of a vacuum interrupter are investigated with computer simulations by changing the value of five parameters such as the initial velocity of a movable electrode, the added mass of a movable electrode, the wipe spring constant, initial offset of  $\varepsilon$  wipe spring and the virtual fixed spring constant.

#### 1. 서 론

송전시스템에 사용되는 진공차단기는 폭증하는 전력 수요와 더불어 그 수요가 증가하고 있다. 우리나라의 전력설비 용량은 점차 대형화 되는 추세이므로 이에 알맞은 초고압 대용량의 차단기가 요구되고 있다. 이러한 초고압 대용량의 차단기에서는 접점(electrode; contact), 절연재료 등의 부품, 재

료 설계기술이 필수적이다. 진공차단기(VCB; vacuum circuit breaker)는 전기적인 과부하를 차단하는 송전시스템의 일차적 부가 장비이므로 이에 대한 기술 및 경쟁력 확보는 송전시스템의 부차적 장비의 시장성을 위하여 필수적인 요건이지만, 진공차단기의 핵심기술 중 일부는 외국의 기술에 의존하는 경우가 많다. 이중 진공 인터럽터(vacuum interrupter)는 차단 시 발생하는 아크를 신속하게 소호시키는(extinguish) 기구로써 진공차단기의 핵심 부품이다. 특히 진공 인터럽터의 전극형상 및 재료는 진공차단기의 기본성능을 결정하는 중요한 요소이며, 큰 충격력을 견뎌야 하고 접점의 소모가 작아야 하기 때문에 전극형상, 재료의 충격특성에 관한 연구가 필요하다.

\* 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과  
E-mail : hhuh@kaist.ac.kr  
TEL : (042)869-3222 FAX : (042)869-3210

† 한국과학기술원 기계공학과

\*\* LG 산전 전력연구소

진공 인터럽터는 보통 수 msec 정도의 짧은 시간에 접점의 개폐가 이루어지게 되므로 접점에는 큰 충격력이 발생하고 가동접점이 되튀기는 채터링(chattering) 현상이 발생하게 된다. 또한 접점의 전기저항으로 인한 발열때문에 재료의 기계적 충격특성은 더욱 나빠질 수 있기 때문에 전극형상 및 재료의 충격특성에 관한 연구가 필요하게 된다. 충격시 접점의 변형이 매우 짧은 시간에 일어나기 때문에 접점재료의 변형률 속도 효과를 고려한 충격해석을 수행하여야 한다.

변형률 속도 효과를 고려한 동적 충격해석을 위하여는 재료의 준정적 압축 실험을 수행하여 저속도 특성을 알아내고, 충격 시험을 통하여 고 변형률 속도 범위에서의 응력-변형률 관계를 구하여야 한다.

본 논문에서 압축형 홉킨슨 바 시험기를 이용하여 소결단조한 Cu-Cr 의 동적 물성치를 구하였다. 압축형 홉킨슨 바 시험기는 두개의 봉 사이에 시험하고자 하는 원통형 시편을 위치시키고, 충격 봉을 이용하여 시편에 압축 충격력을 가한 후 긴 봉에 발생하는 변형률을 측정하여 시편의 응력-변형률 관계를 구하는 시험 장치이다. 이 장치는 일반적으로 수천 /sec 의 변형률 속도범위에서 재료의 물성치를 구하는데 이용된다. 이와 같이 준정적 및 고속에서의 변형률 속도 특성을 알아내어 적합한 구성방정식의 계수를 찾아내어 유한요소해석에 이용한다. 본 논문에서 사용된 Johnson-Cook 모델은 변형률 속도 경화효과를 1/sec 에서 1000/sec 구간의 값을 일차식으로 근사하여 사용한다.

본 논문에서는 차단기의 형상설계기술과 요소 기술을 확립하기 위하여 진공 인터럽터의 충격특성을 평가하였다. 이를 위하여 먼저 접점에 사용되는 소결단조한 Cu-Cr 의 동적 물성치를 구하고 이를 이용하여 진공 인터럽터의 유한요소 모사해석을 수행하였다. 유한요소해석은 상용 외연적 유한요소 프로그램인 LS-DYNA 3D 를 이용하였다. 유한요소해석을 통한 구조적 취약부를 파악하고, 채터링에 영향을 주는 진공 인터럽터의 설계변수들의 영향을 분석하였다. 진공 인터럽터의 설계변수로서 가동접점의 초기 속도, 가동접점의 부가질량, 접압스프링 상수, 접압스프링의 초기 압축량, 고정부의 가상스프링 상수 등을 고려하였다

## 2. 접점재료의 동적구성방정식의 결정

### 2.1 횡자계 진공 인터럽터

횡자계 방식 진공 인터럽터는 Fig. 1 과 같이 고정접점(fixed contact), 가동접점(movable contact), 아

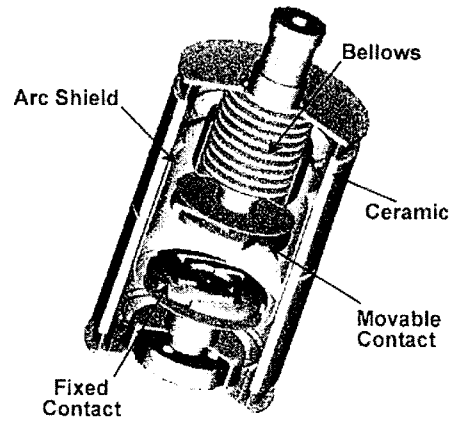


Fig. 1 Structure of a vacuum interrupter

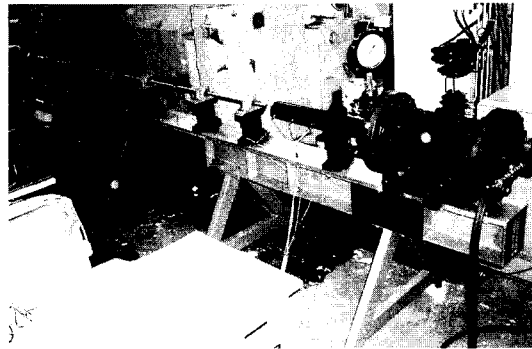


Fig. 2 Split Hopkinson pressure bar apparatus

크를 차단하는 아크 쉴드(arc shield), 진공을 유지하는 벨로우즈(bellows)와 그것들을 둘러싸고 있는 세라믹 케이스로 구성된다. 접점은 기계적, 전기적 특성을 향상시키기 위하여 Cu 와 Cr 분말을 3:1 의 비율로 혼합하여 소결단조하여 제조하며, 접점을 지지하는 부분은 무산소동으로 되어 있다. 고정접점과 가동접점이 차단될 때 최대 수 kV 의 전압과 수십 kA 의 차단전류가 흐르기 때문에 신속한 투입, 분리 및 아크 소호가 필요하다. 접점의 투입시 최대 2 m/s 의 속도로 가동접점이 고정접점을 타격하게 되는데, 이 충돌에 의한 접점의 기계적인 수명을 예측하고 충돌 후 튀는 현상을 억제하여야 한다. 본 논문에서는 접점의 충돌현상을 수치해석으로 분석하였으며 이를 위하여 접점의 Cu-Cr 분말소결 재료와 지지부의 무산소동의 동적거동을 동적 구성방정식 형태로 구하였다.

### 2.2 접점재료의 물성 실험

접점의 물성치를 구하기 위하여 정적시험, 변형률 속도가 1 /sec 일 때의 시험 및 고속 압축시험을 수행하였다. 사용한 시편의 저속 변형특성을

알아보기 위하여 Instron4206 을 이용하여 ASTM E-8 규격의 시편으로 표점거리가 20 mm 인 시편에 대하여 정적 인장시험을 수행하였다. 변형률 속도 1/sec 인 경우 피로 시험 장치인 Dynamic UTM 을 이용하여, 표점거리가 6 mm 인 인장시편으로 인장시험을 수행하였다. 고속실험은 압축형 흡킨슨 바 시험기를 사용하여 압축 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 압축형 흡킨슨 바 시험기는 Fig. 2 와 같다.

흡킨슨 바 시험기의 입력봉과 출력봉에서 반사파와 투과파를 측정하여 식 (1)과 (2)와 같이 시편의 응력 및 변형률 관계를 구할 수 있다.

$$\sigma(t) = E \frac{A_0}{A} \varepsilon_T(t) \tag{1}$$

$$\dot{\varepsilon}(t) = -\frac{2C_0}{L} \varepsilon_R(t) \tag{2}$$

이때  $E$  는 봉의 탄성계수,  $A_0$  는 봉의 단면적,  $A$  는 시편의 단면적,  $\varepsilon_T$  는 투과파,  $\varepsilon_R$  는 반사파,  $C_0$  는 응력파의 전파속도,  $L$  은 시편의 표점거리,  $t$  는 시간이다.

전술한 바와 같이 정적 인장시험, 변형률 속도 1/sec 에서의 인장시험, 흡킨슨바를 이용한 압축실험에서 얻은 물성치를 아래의 Johnson-Cook 모델로 근사하였다. 이 구성방정식은 log 함수를 이용하여 변형률 속도 민감도를 표현하고 있으며, 변형률 속도가 1 /sec 인 경우에 대하여 정규화(normalize)하여 사용한다.

$$\bar{\sigma} = [A + B\bar{\varepsilon}^n][1 + C \ln \bar{\dot{\varepsilon}}][1 - T^{*m}] \tag{3}$$

여기서

$$T^* = \frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \tag{4}$$

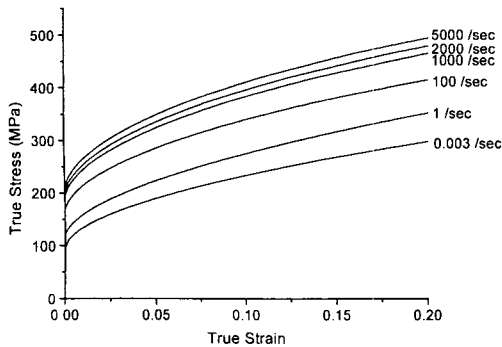


Fig. 3 Fitted stress-strain curves of sinter-forged Cu-Cr

이다.  $T_{room}$  은 상온(27 °C)이고  $T_{melt}$  는 용융점이다.

세번째 열적 연화항은 변형률 속도가 1500 /sec 일 때의 응력-변형률 선도를 근사하여 얻은 근사곡선에서 변형률에 따른 변형에너지가 열로 바뀐다고 가정하여 근사식으로 구하였다. 고속변형 상태이므로 단열이 되어있다고 가정하고 변형에너지의 90%가 열에너지로 변환된다고 가정하였다. 이와 같이 결정된 Johnson -Cook 구성방정식의 근사함수는 Fig. 3 과 같다.

### 3. 충격인자들의 영향 분석

#### 3.1 유한요소 해석

횡자계 진공 인터럽터의 유한요소 충돌해석을 위하여 상용프로그램인 LS-DYNA 3D 를 사용하였다. Cu-Cr 재료의 밀도와 비열은 구리와 크롬의 밀도와 비열을 3:1 의 비로 계산하였으며 밀도는 8518 kg/m<sup>3</sup>, 비열은 396 J/kgK 을 사용하였다. 무산

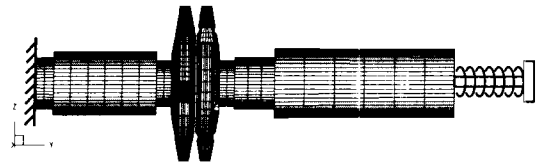
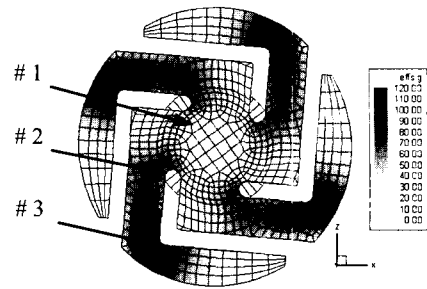
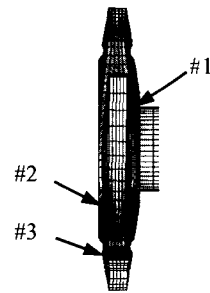


Fig. 4 Finite element model of a vacuum interrupter



(a)



(b)

Fig. 5 Three points where the largest effective stress is induced: (a) front view; (b) side view

소동의 밀도는  $8960 \text{ kg/m}^3$ , 비열은  $383 \text{ J/kgK}$  을 사용하였다.

Fig. 4 는 횡자계 진공 인터럽터의 유한요소 모델을 도시한 것이다. 사용된 유한요소는 8-node brick 요소이며 요소 수는 10844 개이고 절점 수는 14836 개이다. 고정부는 강체에 고정되어 있고 가동부에는 접압스프링(wipe spring)이 체결되어 있다. Fig. 4 에서와 같이 접압스프링은 초기 압축량을 주기 위하여 끝단이 지지대로 고정되어 있다. 접압스프링의 스프링 상수는  $118.5 \text{ N/mm}$  이며, 초기 압축량은  $30.8 \text{ mm}$  이고 충돌 후  $5.5 \text{ mm}$  가 추가 압축된다. 실제 충돌 속도가  $1\text{--}2 \text{ m/s}$  범위이므로  $1.2 \text{ m/s}$  의 충돌속도를 기준하였다. 도시한 유한요소 모델은 간략화된 모델로 실제 무게와 다르기 때문에 가동접점에  $0.5 \text{ kg}$  의 부가질량을 추가하였다.

Fig. 5 는 가동접점에서의 유효응력 분포와 응력이 집중되는 세 부분을 표시하고 있다. 점 #1 은

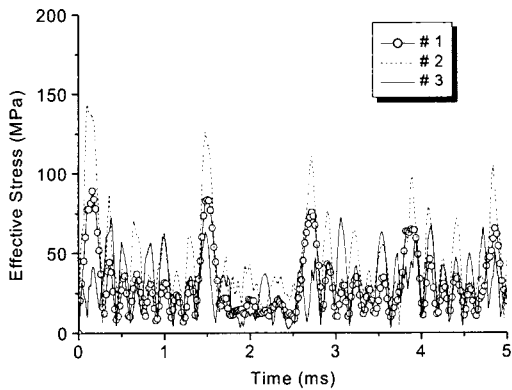


Fig. 6 Effective stress vs. time in the fixed electrode with the velocity of  $1.2 \text{ m/s}$

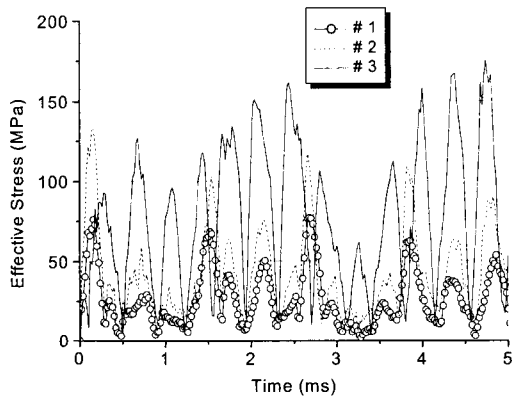


Fig. 7 Effective stress vs. time in the movable electrode with the velocity of  $1.2 \text{ m/s}$

접점 기둥과 접점의 접촉부이고, 점 #2 는 접점 날개가 시작되는 부분이고, 점 #3 은 날개가 꺾이는 부분으로 응력이 가장 크게 집중되는 부분이다. Fig. 6 과 Fig. 7 은 고정접점과 가동접점 내의 점 #1, #2, #3 위치에서의 시간에 대한 유효응력의 변화를 도시한 그림이다. 해석결과 고정접점은 정지한 상태에서 접점끼리 충돌하였기 때문에 점 #2 에서 응력이 가장 높게 나타난 반면에 가동접점은 관성의 효과 때문에 점 #3 에서 응력이 가장 높게 나타났다. 전체적으로는 관성효과가 있는 가동접점의 응력이 고정접점보다 높게 나타났다. 따라서 충격인자의 효과를 알기 위하여 가동접점 내의 점 #3 에서의 응력의 변화를 관찰하였다.

응력집중과 채터링 현상을 개선하기 위하여 가동접점의 초기 속도, 가동접점의 부가질량, 접압스프링 상수, 접압스프링의 초기 압축량, 고정부의 가상스프링 상수 등의 다섯 가지 충격인자를 변화시키며 기본 모델에서의 응력과 채터링의 차이값을 비교 분석하였다. 가동접점의 초기 속도와 부가질량은 가동접점의 관성에 영향을 주고, 접압스프링 상수와 초기 압축량은 접점간의 압축력에 영향을 준다. 실제 충돌 시 고정접점의 체결부가 조금 움직이게 되는데, 이 움직임이 충격력을 완충시키는 역할을 하기 때문에 고정부를 고정시키지 않고 고정부 끝단에 변위가 있다고 가정하고 가상스프링에 의하여 변위가 일어나는 것으로 모델링하였다.

### 3.2 가동접점의 초기 속도에 의한 영향

Fig. 8 은 가동접점의 초기 속도 변화에 따른 접점 사이의 간격을 나타낸 것이다. 접점 사이의 간격변화를 채터링이라고 하며 가동접점이 고정접점과 충돌한 후 반동으로 튀는 현상을 시간에 따라

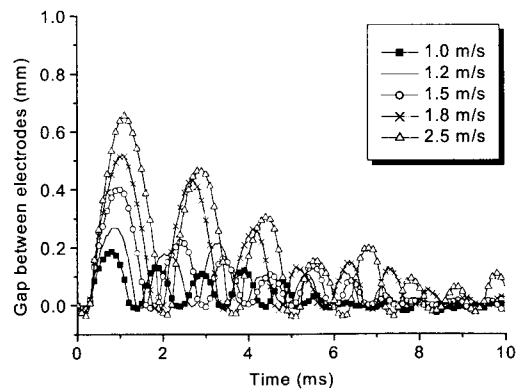


Fig. 8 Distance between the fixed and movable electrodes with the variation of the movable electrode velocity

도시한 것이다. 실제 충돌속도가 1~2 m/s 이므로 실제상황보다 나쁜 조건에서의 영향을 확인하기 위하여 가동접점의 초기 속도를 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.5 m/s 으로 변화시키며 채터링과 접점의 응력을 관찰하였다. 속도가 증가할수록 채터링의 크기와 주기가 증가하며 채터링의 지속시간도 증가한다. 예를 들어 가동접점의 초기 속도가 1 m/s 일 때에는 채터링은 6ms 후에 소멸되는 것으로 볼 수 있는 반면 가동접점의 초기 속도가 2.5 m/s 일 때에는 채터링이 15ms 이후에도 소멸되지 않고 있다.

Fig. 9 는 응력이 가장 집중되는 가동접점 내의 점 #3 의 가동부 속도에 대한 응력변화 그림이다. 고정접점은 속도가 증가할수록 점 #2 에서의 응력이 더 커지지만, 가동부 내의 점 #3 에서는 전체적으로 속도와 응력이 비례하는 경향을 보이며, 고유진동수의 차이로 최대응력의 발생시점이 시간에 따라 변하고 있다.

Fig. 10 의 그림처럼 서로 다른 고유진동수를 가

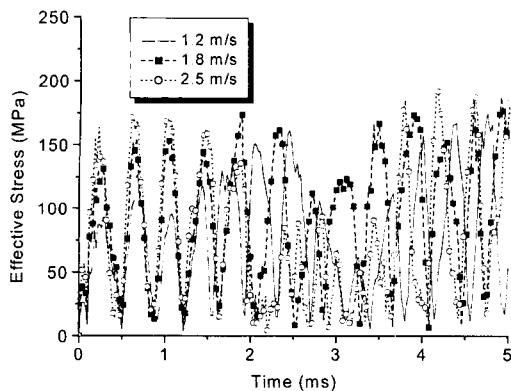


Fig. 9 Effective stress at the point #3 of the movable electrode with the variation of the movable electrode velocity

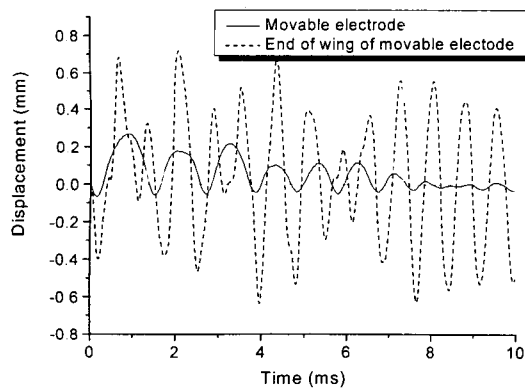


Fig. 10 Displacement of the center and the end of a wing of the movable electrode

진 접점날개와 가동부가 각기 진동하여 상대가속도가 가장 큰 부분이 충돌 직후가 아닌 몇 번의 날개 진동이 발생한 후가 되므로 초기의 충돌 직후 응력보다 두 번째 최고응력이 더 높게 나타난다.

### 3.3 가동접점의 부가질량에 의한 영향

Fig. 11 은 가동접점의 부가질량에 따른 접점 사이의 간격을 나타낸 것이다. 부가질량이 0, 0.5, 1, 2, 4 kg 인 경우에 대해서 그 영향을 검토하였다. 부가질량이 클수록 관성의 증가로 인하여 채터링의 크기와 지속시간이 커지는 경향을 보인다. Fig. 12 는 부가질량이 4 kg 일 때에 가동접점의 위치에 따른 응력변화 그림이다. 부가질량이 0.5 kg 일 경우는 점 #3 에 가장 큰 응력이 작용했으나 4 kg 의 경우는 점 #2 에서 가장 큰 응력을 보였다. 이는 부가질량이 큰 경우에 파괴가 점 #3 이 아닌 점 #2 에서 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

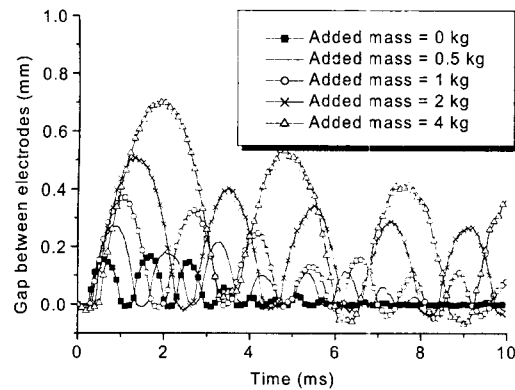


Fig. 11 Distance between the fixed and movable electrodes with the variation of the added movable mass

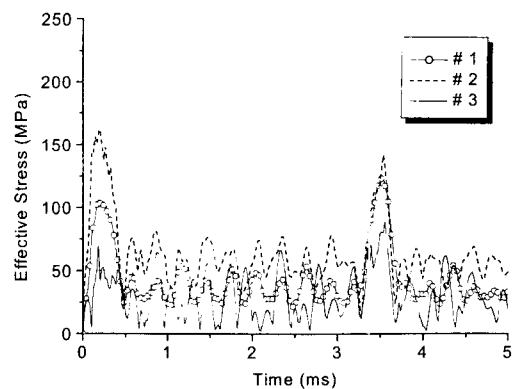


Fig. 12 Effective stress vs. time in the movable electrode with the added movable mass of 4kg

부가질량이 0, 0.5, 1kg 일 때에는 점 #3 에서의 응력이 점 #2 에서보다 크지만 Fig. 12 에서와 같이 부가질량이 4kg 일 때에는 점 #2 에서 응력이 더 크게 작용함을 알 수 있다. 이는 부가질량에 따른 고유진동수의 감소로 접점날개와 가동접점의 상대 가속도가 감소해서 점 #3 에서의 응력이 감소했고, 반면에 관성의 증가로 인해서 점 #2 의 응력은 증가하였기 때문이다.

부가질량의 증가는 가동접점의 채터링 주기와 지속시간을 증가시키고 접점의 응력을 증가시키므로 진공 인터럽터의 충격특성에 나쁜 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

Fig. 13 은 가동접점 내의 점 #3 에서의 응력변화 그림이다. 전술한 바와 같이 부가질량이 4 kg 일 때에는 점 #2 에서의 응력이 점 #3 에서의 응력보다 크게 되므로 Fig. 13 에서와 같이 부가질량이 4 kg 일 때의 응력이 오히려 부가질량이 적을 때보

다 크기가 작음을 알 수 있다. 또한 부가질량이 증가하여도 고유진동수의 영향으로 응력이 비례하여 증가하지는 않는 것을 알 수 있다. 이 경우에는 부가질량이 4 kg 일 때에 유효응력 값이 다른 경우보다 작게 나타나고 있다.

3.4 접압스프링 상수에 의한 영향

접압스프링 상수값에 따른 접점 사이의 간격변화는 Fig. 14 에 도시하였다. 접압스프링 상수가 커질수록 채터링의 크기와 지속시간이 작아지는 결과를 보인다. 이는 접압스프링 상수가 커지면 접압력도 비례하여 증가하며 따라서 충돌 시의 접점의 반발력을 상쇄하여 채터링의 크기와 지속시간이 감소하게 되는 것이다. Fig. 15 는 가동접점 내의 점 #3 에서 접압스프링 상수값이 변할 때의 응력변화를 도시한 그림이다. 접압스프링 상수가 커질수록 접점에 가해지는 힘이 증가하기 때문에 가동접점과 고정접점 모두 응력이 증가하는 결과를

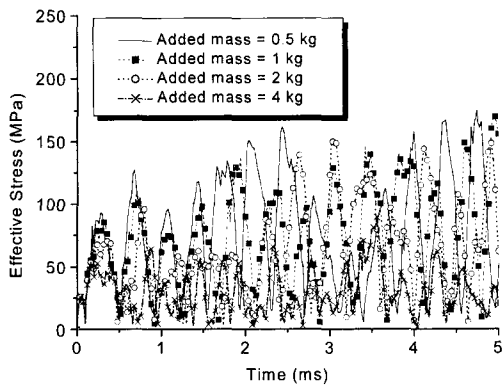


Fig. 13 Effective stress at the point #3 of the movable electrode with the variation of the added movable mass

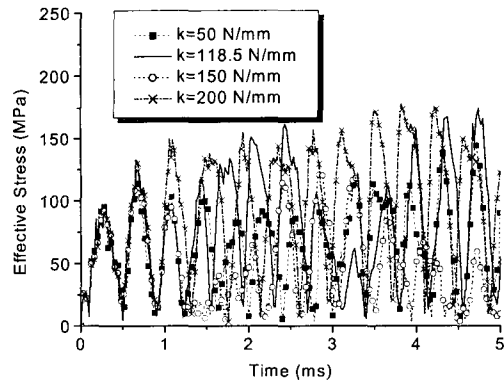


Fig. 15 Effective stress at the point #3 of the movable electrode with the variation of the wipe spring constant

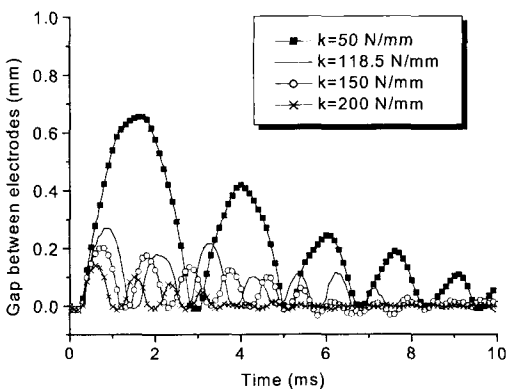


Fig. 14 Distance between the fixed and movable electrodes with the variation of the wipe spring constant

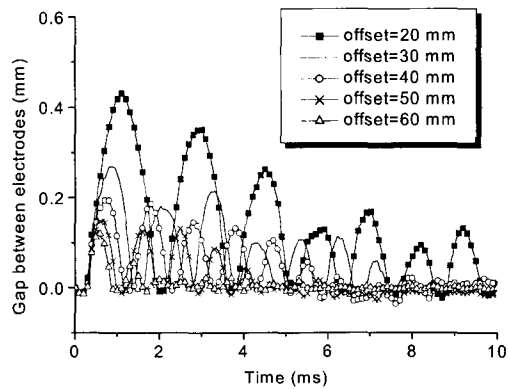


Fig. 16 Distance between the fixed and movable electrodes with the variation of the initial offset of the wipe spring

보인다. 접압스프링 상수값을 증가시키면 채터링 관점에서는 성능이 향상되지만 접점에 가해지는 응력은 더 증가하게 되어 제품의 피로수명을 감소시킨다.

3.5 접압스프링의 초기 압축량에 의한 영향

접압력을 향상시키면서 가동접점의 고유진동수를 줄이기 위하여 접압스프링의 초기 압축량을 조절하였다. Fig. 16 과 Fig. 17 의 결과에서와 같이 초기 압축량을 늘려서 접압력을 증가시키면 채터링 주기와 지속시간이 감소되지만 접압스프링 상수값을 증가시키는 것과 같은 효과를 보이므로 접점에 작용하는 응력이 증가하게 된다.

접압스프링의 초기 압축량을 조절하여 접압력을 변화시키는 것은 채터링과 접점에 작용되는 응력면에서 서로 상반되는 결과를 나타내기 때문에 각 제품에 맞는 최적의 접압스프링 상수값과 접압스프링의 초기 압축량을 결정해야 한다.

3.6 고정부의 가상스프링 상수에 의한 효과

진공 인터럽터를 조립할 때 고정부의 체결상태가 충격특성에 영향을 줄 수 있다. 진공 인터럽터가 강체에 완전히 고정되어 있으면 충격에너지를 흡수할 수 있는 완충구조물이 없기 때문에 접점에 작용하는 충격력의 크기와 지속시간이 증가하고 고정부가 스프링과 같은 완충역할을 하는 부분과 연결되어 있으면 충격에너지의 일부를 체결부가 흡수하기 때문에 접점에 미치는 하중의 영향이 감소하게 된다. 실제 진공 인터럽터가 체결될 때 체결부가 스프링과 같은 역할을 하므로 이 영향을 고려해야 한다. 따라서 고정부에 가상 스프링이 있다고 가정하고 가상스프링의 상수값에 따른 충격특성을 고려하였다.

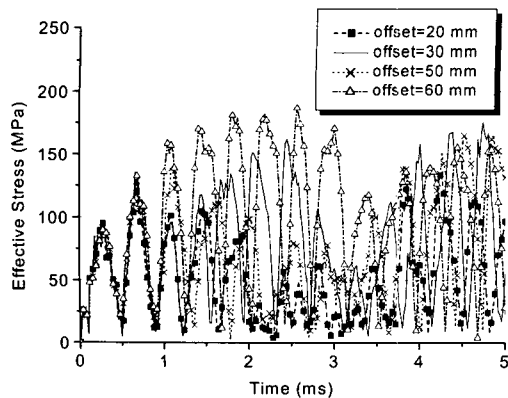


Fig. 17 Effective stress at the point #3 of the movable electrode with the variation of the initial offset of the wipe spring

Fig. 18 은 가상 스프링 상수값이 10, 20, 100, 1000 kN/mm 로 달라질 때 채터링의 변화를 도시한 그림이다. 고정부의 가상 스프링 상수가 20 kN/mm 이하인 경우에는 채터링 현상이 거의 발생하지 않음을 알 수 있고 100 kN/mm 인 경우도 완전 고정된 경우보다 채터링 현상이 완화되었음을 알 수 있다. 가동접점의 경우 점 #3 의 위치에서 최대응력이 작용하였으나 10 kN/mm 인 경우에는 점 #2 의 위치에서 응력이 가장 크게 된다. Fig. 19 는 가동접점 내의 점 #3 에서의 응력변화를 도시한 그림이다. 가상스프링 상수값이 작을수록 채터링과 접점의 응력집중이 모두 완화되는 결과를 보인다. 실제 진공 인터럽터가 완전히 고정되지 않는다는 점을 고려한다면 고정부의 체결 상태가 접점의 충격특성에 큰 영향을 줄 수 있다고 생각된다. 따라서 진공 인터럽터의 체결부에 스프링과 같은 완충구조물을 설치하면 채터링을 억제하고

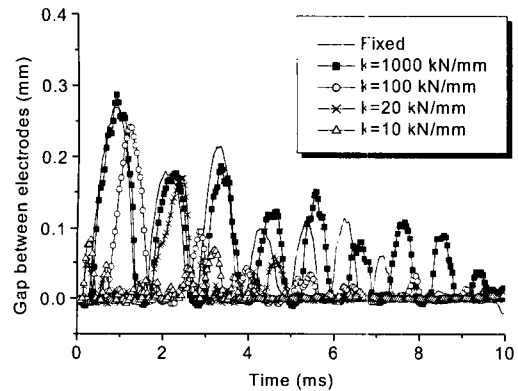


Fig. 18 Distance between the fixed and movable electrodes with the variation of the virtual fixed spring constant

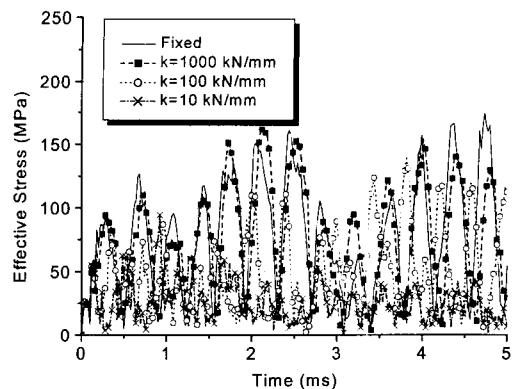


Fig. 19 Effective stress at the point #3 of the movable electrode with the variation of the virtual fixed spring constant

응력집중으로 인한 제품 피로수명 단축을 방지하는 효과를 보일 것이다.

재료의 Johnson-Cook 모델은 변형률 속도 경화를 실제보다 높게 예측하고 있고, 고정부의 체결 조건이 완전 고정이 아니기 때문에 유한요소 해석 결과와 비교하면 실제 진공 인터럽터에 작용하는 응력은 더 낮을 것이며, 따라서 피로수명도 계산 결과보다는 크게 될 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 진공 인터럽터 접점재료의 동적 불성치를 얻기 위하여 압축형 홉킨슨 바를 사용하여 Cu-Cr 소결재료와 무산소동의 동적거동 실험을 수행하였다. 실험결과로부터 동적 거동을 나타내기 위하여 Johnson-Cook 구성방정식을 구성하였다. 유한요소 모사해석을 위하여 상용 프로그램인 LS-DYNA 3D 를 사용하였다. 접점의 충격특성을 파악하기 위하여 가동접점의 초기속도, 가동접점의 부가질량, 접압스프링의 스프링 상수, 접압스프링의 초기 압축량, 고정접점의 가상 스프링 상수 등의 다섯 가지 인자에 대한 접점 내에서의 응력과 채터링 현상의 변화를 규명하였다.

위의 충격인자가 진공 인터럽터의 충격특성에 미치는 영향을 정리하면 다음과 같다. 가동접점의 초기속도와 부가질량이 증가할수록 접점의 응력이 증가하고 채터링의 크기와 지속시간이 증가하게 된다. 접압스프링 상수와 스프링의 초기 압축량으

로 접압력을 증가시키면 채터링 크기와 지속시간은 감소하지만 접점에 작용하는 접압력이 증가하여 접점의 응력이 증가하는 상반된 결과를 보인다. 접점 체결부의 움직임을 가상 스프링으로 모델링한 결과, 가상 스프링 상수값이 작을수록 응력 집중과 채터링에 모두 좋은 결과를 나타내었다. 따라서 가동접점의 초기 속도와 부가질량의 감소, 접압스프링의 초기 압축량의 증가와 고정접점의 체결 완화 등이 접점의 피로 수명과 채터링에 바람직한 영향을 미치는 것으로 해석되었다.

#### 참고문헌

- (1) Barkan, P., 1966, "A Study of the Contact Bounce Phenomenon," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. pas-86, No. 2, pp. 231~240.
- (2) Kolsky, H., 1963, *Stress Waves in Solids*, Dover publications, New York, pp. 41~98.
- (3) Johnson, G. R. and Cook, W. H., 1983, "A Constitutive Model and Data for Metals subjected to Large Strains, High Strain Rates and High Temperatures," in *Proceedings of the Seventh International Symposium on Ballistics*, The Hague, The Netherlands, pp. 541~547.
- (4) Meyers, M. A., 1994, *Dynamic Behavior of Materials*, John Wiley & Sons, New York.
- (5) Kang, W. J., Cho, S. S., Huh, H. and Chung, D. T., 1998, "Identification of Dynamic Behavior of Sheet Metals for an Auto-body with Tension Split Hopkinson Bar," *SAE Int. Congress*, Detroit, U.S.A..