

# 현가장치의 승차감 향상을 위한 진동에너지 하베스터에 대한 연구

## The research of the improving ride quality of vehicle suspension and vibration energy harvester

이 동 환 † · 한기봉\* · 이형우\* · 김영철\*\* · 이한민\*\*

Donghwan Lee, Kibong Han, Hyoungwoo Lee, Youngchol Kim and Hanmin Lee

### 1. 서 론

자동차의 에너지효율과 승차감 및 조종안정성을 동시에 높이려는 연구들은 꾸준히 진행되어야한다. 자동차는 노면으로부터 끊임없이 충격과 진동을 받으면서 주행한다. 차량으로 유입되는 충격과 진동을 줄이기 위해 차체와 차축 사이에 현가장치를 장착하였다. 현가장치는 제어 입력의 유무에 따라 크게 수동현가장치, 능동현가장치, 반 능동현가장치로 나눈다. 수동현가장치는 구조가 단순하여 가격도 저렴하고 신뢰성도 높은 장점을 가진다. 또한 진동을 제어할 필요가 없기 때문에 에너지소모도 없다. 그러나 시시각각 변하는 모든 주파수를 갖는 노면입력에 대하여 승차감과 조종안정성을 개선시키기는 어렵다. 능동현가장치는 차체와 차축 사이에 구동기를 부착하여 임의로 원하는 힘을 발생시켜 승차감과 조종안정성을 제어함으로써 자동차의 정적, 동적특성을 향상시킨다. 그러나 장치가 복잡하여 비용이 많이 들고, 진동을 제어하는데 많은 에너지가 소모된다. 이상에서와 같이 승차감향상과 조종안정성개선을 위한 수많은 연구가 수행되어왔지만 현가장치로 전달되는 진동에너지를 이용하여 전기에너지를 수확하면서 진동을 줄이는 방법에 대한 연구는 미미한 상태이다. 본 논문에서는 승차감을 향상시키면서 전기에너지를 얻는 방법을 제안하였

다. 이 방법은 진동에너지 하베스터를 구성하는 진동시스템을 차축부위의 고유진동수와 동일한 주파수에서 공진이 발생하도록 진동에너지 하베스터를 구축한 후에 이를 수동현가장치의 차축에 부착하는 것이다. 그 결과 제안한 방법은 수동현가장치에 비해 승차감이 향상되고, 또한 승차감이 향상된 것에 비례하여 진동에너지 하베스터로부터 전기에너지를 얻을 수 있었다.

### 2. 진동에너지 하베스터가 부착된 수동현가장치의 모델링

Figure 1은 진동에너지 하베스터가 차축부위에 부착된 1/4차량의 수동형 현가장치를 나타낸다. 여기서  $M_s, M_u, M_h, C_s, K_s, K_t, C_h, K_h$ 는 각각 차체 질량, 차축질량, 영구자석질량, 현가장치 감쇠계수, 현가장치 스프링계수, 타이어 탄성계수, 진동에너지 하베스터의 감쇠계수 및 스프링상수를 나타낸다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 M_s \ddot{y}_s(t) + C_s(\dot{y}_s(t) - \dot{y}_u(t)) + K_s(y_s(t) - y_u(t)) &= 0 \\
 M_u \ddot{y}_u(t) + C_s(\dot{y}_u(t) - \dot{y}_s(t)) + K_s(y_u(t) - y_s(t)) \\
 + C_h(\dot{y}_u(t) - \dot{y}_h(t)) + K_h(y_u(t) - y_h(t)) \\
 + K_t(y_u(t) - r(t)) &= 0 \\
 M_h \ddot{y}_h(t) + C_h(\dot{y}_h(t) - \dot{y}_u(t)) + K_h(y_h(t) - y_u(t)) \\
 + 2\pi NBr i(t) &= 0 \\
 2\pi NBr(\dot{y}_h(t) - \dot{y}_u(t)) - R_C i(t) - L_C \frac{di(t)}{dt} \\
 - R_L i(t) &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

식(1)에서  $N, B, r$ 은 각각 진동에너지 하베스터의 권선 수, 영구자석의 자속세기, 권선의 반경을 나타내고,  $y_s(t), y_h(t), y_u(t), r(t)$ 는 각각 차체변위, 영구자석변위, 차축변위, 노면입력을 나타낸다.

† 교신저자; 한국기계연구원  
E-mail : ldh@kimm.re.kr  
Tel : 042-868-7352

\* 중원대학교

\*\* 한국기계연구원

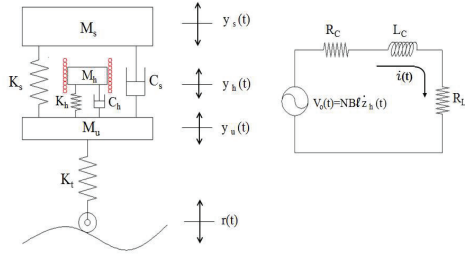


Figure 1: Simplified equivalent model of 1/4 car suspension with vibration energy harvester.

### 3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 현가장치의 차축에 발생하는 진동 에너지를 진동에너지 하베스터를 이용하여 전기에너지로 변환시킴으로써 전기에너지도 얻고 승차감도 향상시키는 방법을 제시하였다. Table. 1은 1/4현가장치와 차축에 부착된 진동에너지 하베스터의 시스템 매개변수를 나타낸다.

Table 1 : The system parameters of suspension and energy harvester.

$M_s$ (kg)	240	$M_h$ (kg)	2	$B$ (T)	0.7
$C_s$ (N-m/s)	1000	$C_h$ (N-m/s)	13.2	$r$ (m)	0.08
$K_s$ (N/m)	16000	$K_h$ (N/m)	8660	$R_c$ ( $\Omega$ )	220
$M_b$ (kg)	36	$N$ (회)	50	$R_L$ ( $\Omega$ )	220
$K_b$ (N/m)	160000	$L_c$ (H)	0.92		

Fig. 1은 현가장치의 승차감과 에너지 하베스터의 성능을 평가하기 위한 노면에서 들어오는 노면 입력을 나타낸다. 여기서 노면 거칠기의 RMS값은 0.032m임을 알 수 있다.

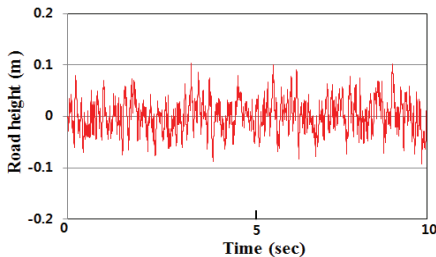


Fig. 1 The time history of road input.

Fig. 2는 수동현가장치와 진동에너지 하베스터가 장착된 수동현가장치의 승차감을 나타낸다. 여기서 수동현가장치와 진동에너지 하베스터가 부착된 수동현가장치의 승차감은 각각 RMS 9.2  $m/sec^2$ 와

RMS 8.5  $m/sec^2$ 임을 알 수 있다.

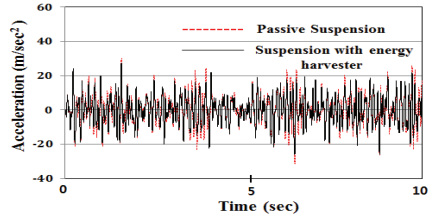


Fig. 2 The ride quality of 1/4 car suspension.

Fig. 3은 진동에너지 하베스터에 걸린 전압을 나타낸다. 여기서 무 부하상태일 때는 에너지하베스터에 걸린 전압은 RMS 467V이고, 부하저항(220 $\Omega$ )에 걸린 전압은 RMS 208V임을 알 수 있다.

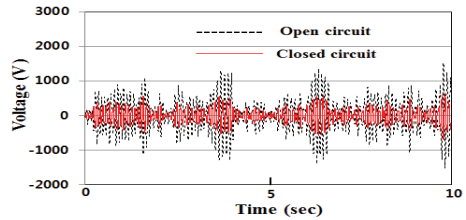


Fig. 3 The voltage of open and closed circuit.

### 4. 결론

본 논문에서 수동현가장치의 차축에 진동에너지 하베스터를 부착하여 승차감향상 및 전기에너지를 수확하는 방법을 제안하였다. 이들 각각의 성능을 알아보기 위하여 수동현가장치와 에너지 하베스터가 부착된 현가장치와 승차감을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수동현가장치의 차체 가속도는 RMS 9.2  $m/sec^2$ 인 반면에 에너지 하베스터가 부착된 현가장치는 RMS 8.5  $m/sec^2$ 임을 알 수 있다.

2) 에너지 하베스터가 부착된 현가장치에서는 부하저항(220 $\Omega$ )에 걸린 전압이 RMS 208V임을 알 수 있다. 이는 외부로부터 유입되는 진동에너지를 전기 에너지로 변환됨을 보여 준다.

### 후 기

본 연구는 한국기계연구원의 자체연구 사업의 일환으로 이루어졌습니다.