

自動車 振動·騒音 低減을 爲한 防振고무의 應用에 대하여(II)

A Study on the Application of Rubber Insulators for Noise and Vibration Control in Mortor Vehicle(II)

金重熙*·金琦世
J. H. Kim · K. S. Kim

4. 高周波 振動·騒音의 制御

앞에서 論議된 一般的 絶緣技術은 傳達率의 低減을 爲한 努力의 일환으로 使用되어 지며 이에 따라 車輛의 全 可用速度 범위에 걸친 絶緣效果를 얻을 수 있다. 그러나 이러한 絶緣能力만으로 解決할 수 없는 高周波 騒音 問題가 자주 發生하여 이때문에 局部的 速度 범위에서의 室內騒音을 크게 해치는 경우가 많다.

- 1) 高周波 領域에서의 防振고무 動的 彈性 係數의 增加
- 2) 車體振動과 音響共鳴의 連成
- 3) 振動·騒音 傳播經路 상에서의 位相의 重첩

등에 기인하며 다음과 같은 代表的 制御方法을 使用한다.

4.1 벡터(位相) 制御 方法

自動車 騒音問題中 가장 심각한것이 高速 주행시의 高周波音(booming noise) 問題이다. 이는 주로 車體振動과 室內 音響共鳴에 기인하기 때문에 매우 큰 騒音을 發生시키고 二對策 역시 어렵다. Booming noise를 改善하는 方法으로는 우선 車體振動 또는 音響共鳴 모드에 대한 各各의 制御 또는 相互間의 連成을 제거하는 것이 效果의이며 車體振動 入力點의 임피던스(impedance) 改善, 振動 絶緣率의 向上 등도 多少의 效果를 줄 수 있다.

그러나 이와같은 方法外에도 振動·騒音의 벡터 解析에 의한 防振支持 系統의 少幅의 調整으로 큰 效果를 거둘 수 있는 것으로 알려져 있고, 엔진 또는 캡(cap)의 支持系統에 적용이 용이하다. 그림 13에 트럭의 캡 内部에 대한 booming noise 發生經路를 보였다.

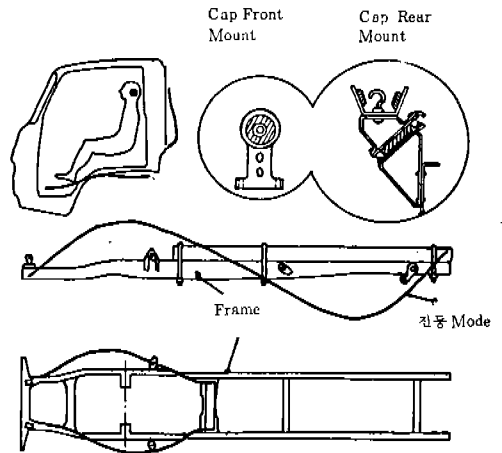


그림 13. CAB의 Booming noise 發生 經路

그림 14에서 보는 바와 같이 두개의 주된 入力點을 가지는 支持系를 고려하여 各各에 대한 3方向의 入力 즉 6개의 入力을 各各 F_1, F_2, \dots, F_6 라고 하면 임의의 點에서의 振動 A_k 는 그림 15의 벡터 합으로 나타나며 다음의 식(16)으로 表示할 수 있다.

*正會員, 現代自動車(株), 研究部

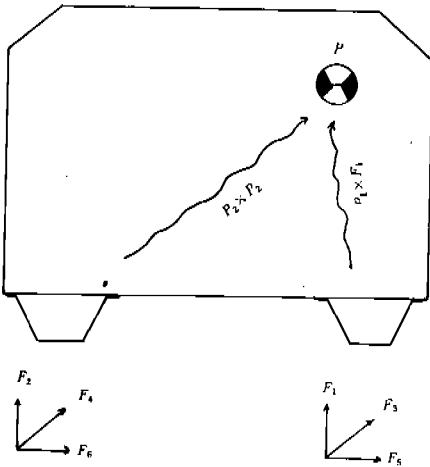


그림 14. vector 解析

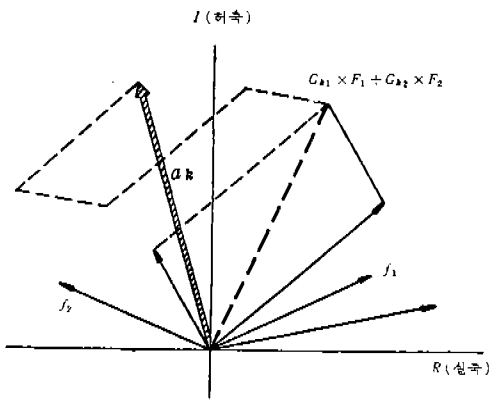


그림 15. Vector 중첩

$$A_k = \sum_{j=1}^6 G_{kj} \times F_j \dots\dots\dots (16)$$

여기서

A_k : k 點의 振動應答(實車)

G_{kj} : j 方向 單位入力에 의한 k 點의 振動應答(mobility)

F_j : j 方向에 대한 入力(實車)

한편 식(16)을 간략화 하면

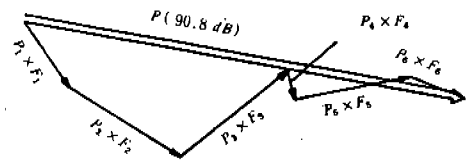
$$\begin{aligned} \{A\} &= [G] \cdot \{F\} \\ \{F\} &= [G]^{-1} \{A\} \end{aligned} \dots\dots\dots (17)$$

로 表示할 수 있으며 여기서 $[G]$ 는 加振實驗에 의해 $\{A\}$ 는 實車 走行試驗에 의해 구할 수 있는 行列이다. 따라서 식(17)에 의해 入力の 크기($F_1 \dots\dots F_6$) 및 入力相互間의 位相關係가 求해진다. 또 騒音과 振動入力(F_j)과의 關係는

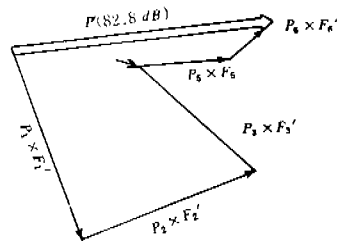
$$P = \sum_{j=1}^6 P_j \times F_j \dots\dots\dots (18)$$

P_j : 音響 感度係數 벡터

로 表示되어 振動에 대한 室內騒音의 關係를 구할 수 있다. 그림 16-(a)에 이와 같은 벡터 解析의 例를 보였으며 모든 音響係數들이 서로 상승作用을 하도록 重첩되어 있음을 알 수 있



(a) 初期狀態



(b) 角度 變更後

그림 16. 防振 고무 角度變更에 의한 音響 Vector

다. 따라서 各 入力間의 位相을 制御하여 騒音의 減小을 求할 수 있는데 고무의 材料特性 變化의 限界性에 비해 고무의 裝設 角度 變경은 이와같은 要求를 잘 만족시켜 준다. 그림 17에 이와같은 入力の 最適化에 따른 試驗 結果를 例로 보였고 그림 16-(b)에 防振 고무 角度變경에 의한 벡터 線圖를 보였다.

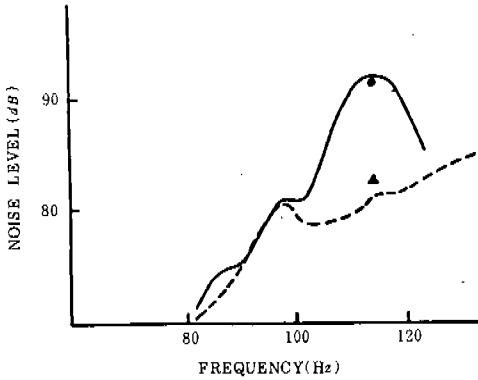


그림 17. 變更效果 (運轉席 音)

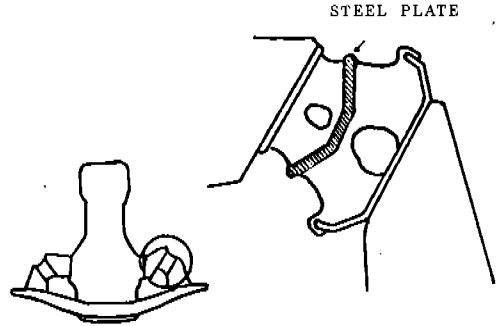


그림 18. 二重 防振고무

4.2 防振고무 二重化 (dual insulator)

車輛의 室內騒音을 크게 惡化시키는 要素中 하나는 中·高速 走行時 엔진 회전수의 高調波에 해당되는 높은 周波數 成分이다. 이는 보통 엔진 회전수의 5次~10次 高調波에 해당된다. 이와같은 高周波 騒音을 發生시키는 振動은 앞에서 論議된 바와 같은 效果의인 防振에 의해 제거될 수 있을 것으로 여겨지나 實際의 경우, 防振고무의 動的彈性係數가 高周波 領域에서 크게 增加하기 때문에 이에 대한 對策이 必要하다.

따라서 高周波 領域에서의 動的彈性係數를 낮출 수 있는 方法이 모색되어야 하며 이를 可能케 하는 代表的인 것을 그림 18에 보였다. 이 方法은 防振고무의 中間部分에 부가적인 質量을 挿入하므로써 다음식(19)에서 나타낸 바와 같은 等價彈性係數를 얻기 위함이다.

$$K_e = \frac{K}{1 - \frac{m}{4K} W^2 + 1} \dots\dots\dots (19)$$

이에 따라 防振고무의 等價彈性係數(K_e)는

$$f \geq \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2K}{m}} \dots\dots\dots (20)$$

의 범위에서 K 보다 낮아지게 된다. 따라서 부가적인 質量(m)을 적절히 調整하는 경우 目標로 하는 周波數 領域에서의 效果의인 動的彈性係數 制御가 可能하게 된다.

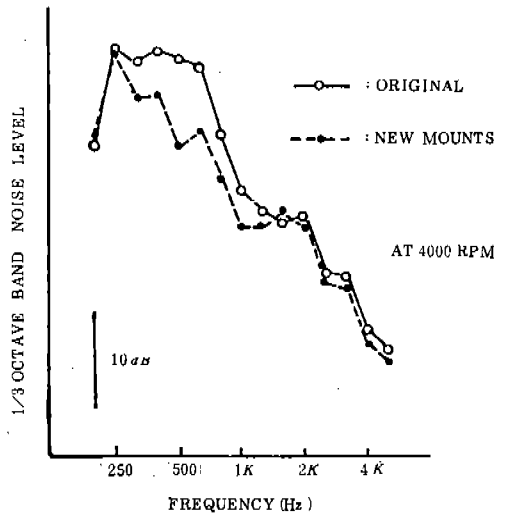


그림 19. 二重 防振고무의 效果

그림 19에서 이와 같은 防振고무의 적용 效果를 보였다. 여기서 보는 바와 같이 400 Hz 以上の 高周波 領域에 대한 현저한 騒音 低減이 얻어졌다.

5. 動吸振器에의 應用

振動絶緣系와는 달리 動吸振器는 問題되는 部位의 特定 周波數 振動을 直接 吸收할 수 있는 能力을 가진 點에서 점점 그 應用의 범위가 넓어지고 있다. 특히 經濟性을 겨냥하는 輕量化的 추세에 따라 各種 회전 部品の 固有振動

數 低下는 必然的으로 臨界速度의 下落을 수반 한다.

現在까지 動吸振器의 使用이 가장 活潑했던 部分은 엔진이며 주로 크랭크軸의 回轉振動 低減을 위해 적용되었다. 이는 車輛의 振動·騒音의 低減 側面은 勿論 크랭크軸 自體의 피로 耐久力에 대해서도 큰 역할을 하며 플라이 휠 또는 各種 驅動 풀리(pulley)에 應用한다. 그림 20에서 驅動벨트 풀리의 吸振器化에 따른 室內騒音 低減效果를 보였다.

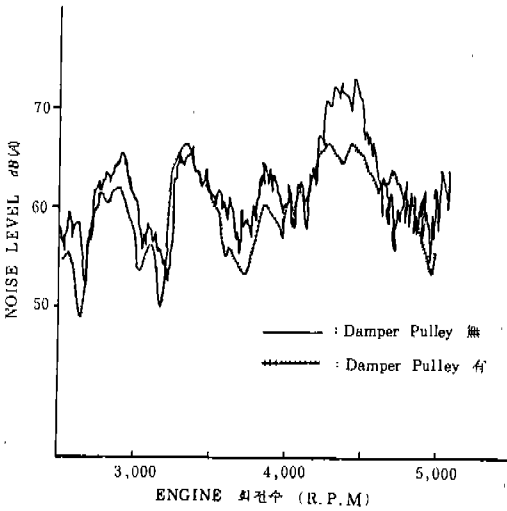


그림 20. 動吸振 Pulley 의 室內騒音 效果

그러나 最近 前輪驅動形 승용차의 一般化와 輕量化 추세는 驅動軸의 直徑을 크게 減少시켰고 이에 따른 軸의 굽힘 振動 모우드를 制御하는 것이 불가피하게 되었다. 前輪驅動形 車輛의 驅動軸에 대한 動吸振器의 적용例와 이의 理論的 모델을 그림 21에서 보였다.

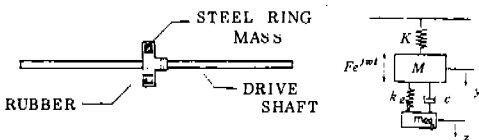


그림 21. 動吸振器 適用例 및 理論的 모델

이 모델로부터 主振動系의 等價 質量과 等價 彈性係數는 各各 다음식(21) (22)와 같으며 이 結果를 利用하여 2章의 식(10)에 의한 解析을 한

$$m_{eg} = \frac{m}{2 \sin^2\left(\frac{n\pi x}{\ell}\right)} \dots\dots\dots(21)$$

$$k_{eg} = \frac{(n\pi)^4 k}{2 \sin^2\left(\frac{n\pi x}{\ell}\right)} \dots\dots\dots(22)$$

結果가 그림 22와 같다. 이에따라 最終的으로 決定된 吸振器의 諸元을 보면 다음과 같다.

- 1) 重 量 : 0.14 kg
- 2) 彈性係數 : 4.86 kg/mm (100 Hz, ± 0.1 mm)
- 3) 減衰比 : 0.136
- 4) 固有值 : 94 Hz

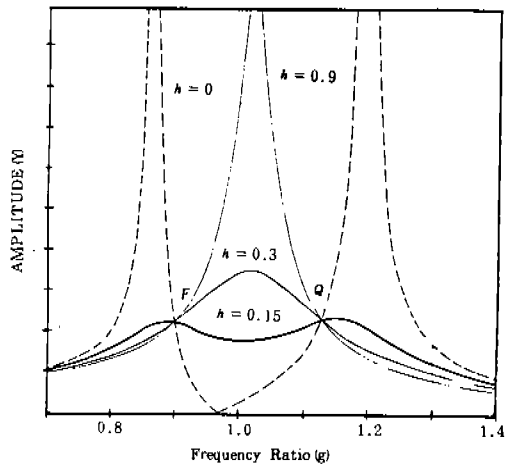
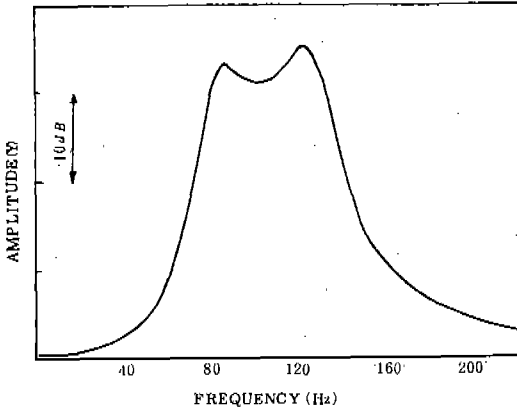


그림 22. 動吸振器 最適化 解析

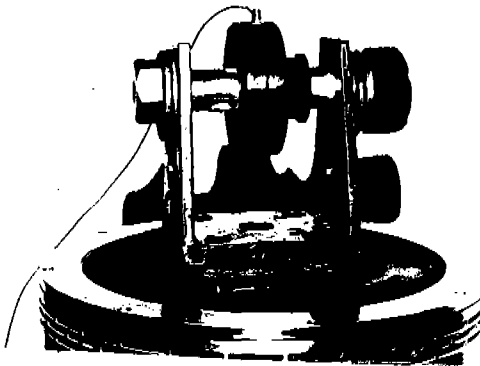
그림 23에서 이들 動的特性 試驗方法과 結果를 보였다. 그림 24는 最適화된 吸振器 장치 시의 騒音 低減 效果를 보였다.

6. 自動車 防振技術의 새로운 趨勢

防振고무의 적절한 使用은 自動車의 振動·騒音 그리고 乘車感 側面에서 좀더 나은 性能을 제공하는데 크게 기여해 왔다. 그러나 自動車



(a) 試驗結果



(b) 試驗方法

그림 23. 動吸振器 動特性試驗

에서 發生되는 動力學的 問題들은 상당히 複合的인 性格을 지니고 있을뿐 아니라 運行되는 道路 與件역시 多樣하기 때문에 이러한 要件을 綜合的으로 만족시키기 위한 努力이 계속되고 있다.

이와같은 努力은 주로 防振支持의 가장 基本的 要求條件을 어느 경우에나 충족시킬 수 있도록 하기위한 새로운 장치의 研究 側面에서 수행되어 왔으며 다음과 같은 諸性能을 目標로 하고있다.

- 1) 엔진 低速 回轉時 振動絶緣 極大化를 위한 彈性係數 低下
- 2) 高周波 振動 絶緣을 위한 減衰係數 低下
- 3) 大變位 振動入力 制御를 위한 彈性係數

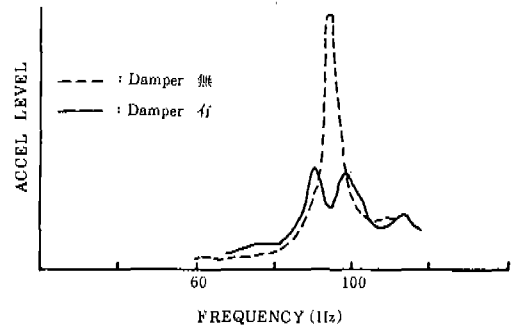
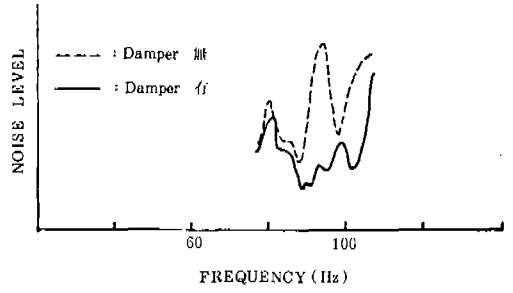


그림 24. 驅動軸 動吸振器 附着 效果

減衰係數의 增大

한편, 以上の 要件들은 그 特性上 서로 크게 代치되는 점이 많기 때문에 교류의 非線形 特性 만으로 解決하는 것이 不可能하다고 流體式 減衰器를 集積시키거나 부가적으로 電子式 制御 장치를 使用하므로써 解決하고 있다. 여기서는 現在까지 發表된 몇가지 新製品의 特性과 效果에 대해 알아본다.

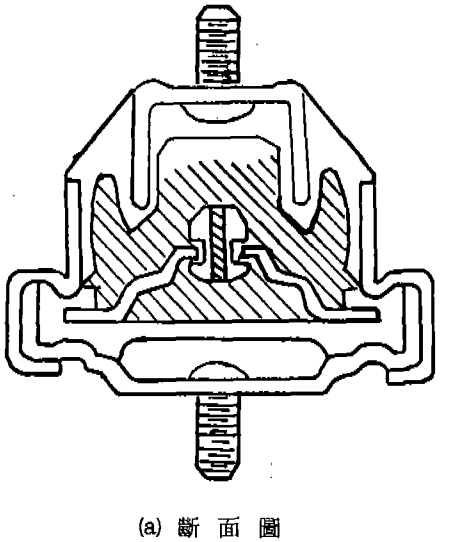
6.1 流體減衰器 集積式 (hydraulic mounts)

微小 變位 振動에 대한 絶緣과 大變位 入力에 대한 완충이란 代치되는 要求 條件은 완벽한 防振支持를 위한 가장 어려운 問題이며 이와같은 問題를 解決하기 위해서 流體減衰器 集積式 防振교류의 實用化가 研究되어 많은 成果를 얻고있다.

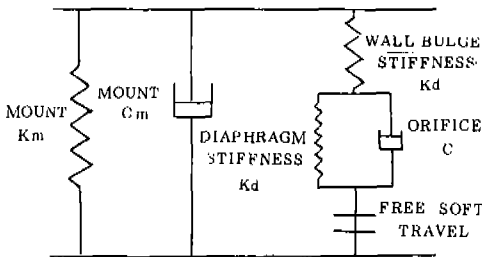
振動 絶緣의 極大化를 위한 彈性係數의 低下는 必然的으로 大變位 入力에 대한 충격을 유발하기 때문에 처음에는 이를 극복하기 위해 附加적인 減衰器를 附加하는 方法을 使用하였

다. 그러나 이 결과 微小變位 振動時 減衰係數의 同時 增加가 유발되어 絶緣效果의 현저한 低下가 불가피하다. 따라서 이를 解決하기 위해 減衰器 쪽에 기계적인 유격을 주는것이 必要하게 되었다.

부가적인 減衰器를 使用한 경우 어느 程度의 特性을 얻을수는 있으나 여러 側面에서 不利한 點이 많기 때문에 이의 集積化가 시도되었으며 종전의 防振고무 크기와 유사한 程度로서도 充分한 性能을 産出하는데 成功하고 있다. 그림 25에서는 現在 開發 使用되고 있는 代表的 製品의 形象과 理論的 모델을 보였다.



(a) 斷面圖



(b) 理論的 모델

그림 25. 流體 減衰器 集積型 防振고무

그림 26, 27에서 보는바와 같이 이 防振고무의 動的 彈性係數는 低周波 領域에서 크게 나타나지만 周波數의 增加와 함께 계속적으로 減少되어 高周波 領域에서는 靜的 彈性係數와 거의 同一한 낮은 값이 된다. 減衰特性의 側面에서도 大變位 低周波 領域에서 현저한 增加樣相을 보인다.

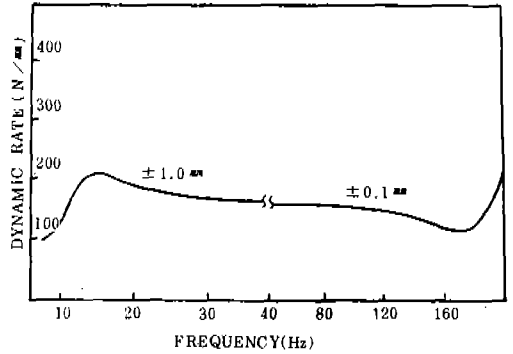


그림 26. 集積型 防振고무의 動彈性係數 周波數 特性

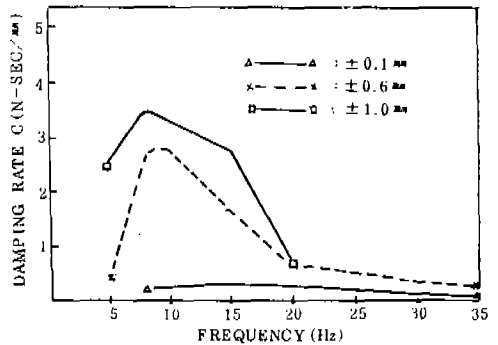


그림 27. 集積型 防振고무의 減衰係數 特性

따라서 이들 結果는 앞에서 言及된 防振고무의 代치되는 要求條件을 잘 만족시키게 되며 이에 따라 騒音·振動은 勿論 乘車感 側面에서도 현저한 性能 向上을 얻고있는 것으로 보고되고 있다. 室內騒音 및 振動의 效果는 주로 엔진의 點火 周期과 一致하는 周波數 帶域에서 全速度 범위에서 얻어지며 乘車感 側面의 效果

는 주로 엔진 支持系의 共振周波數 領域인 10 ~ 20 Hz 部近에서 나타난다.

6.2 電子 制御式 防振고무

1980年代의 自動車 製品技術 側面에서의 가장 두드러진 進歩는 電子장치의 광범위한 適用이다. 自動車에 대한 電子制御 장치의 適用은 公害問題와 燃費 그리고 一般的 走行性能의 向上을 겨냥하여 出發하고 나아가 運轉者 및 乘客의 편의성을 向上시키기 위한 方向으로 發展하고 있으나 最近 이에 못지않게 振動·騒音 및 乘車感 改善을 위한 防振支持系統의 最適制御 側面에서도 주목을 받고 있다.

電子 制御式 장치가 追求하고 있는 動的 特性은 앞에서 提示된 것들과 同一하다. 다만 이 장치의 경우 좀더 能動的인 特性 制御가 可能하다. 즉 그림 28에서 보인 바와 같이 車輛의 各種 運轉 狀態에 관한 情報은 制御 유닛(control unit)에서 綜合되어 減衰器 技能을 制御토록 되어있다.

따라서 단순한 流體減衰器 集積式의 경우 最終적으로 나타나는 振動에 따라 그 動的 特性

이 決定되는데 反해 電子制御式의 경우 非正常 振動을 發生시키는 走行條件의 形成에 의해 그 動的 特性이 制御된다. 그림에서 보는 바와 같이 이 장치의 動力學的 側面의 構成 원리는 流體減衰器 集積形과 同一하다.

車輛이 正常的 運行條件인 경우 두개의 流體室을 막고있는 窓(port)은 열린 狀態가 되고 內部에 減衰器가 形成되지 않아 낮은 彈性 및 減衰係數를 갖게 된다. 한편 車輛의 運轉條件이 表 3에 나타난 것과 같이 變化하면 回轉式 솔레노이드(rotary solenoid)에 의해 窓(port)이 닫히고 流體의 移動은 적은 구멍(orifice)으로 制限되어 內部에 減衰器를 形成시킨다. 이에 따라 큰 減衰力과 높은 彈性係數를 同時에 얻을 수 있다.

이와같은 電子制御式 防振고무의 적용은 正常 運行時 낮은 彈性係數와 減衰係數에 의해 우수한 振動絶緣 能力을 얻을 수 있고, 加·減速時 또는 變速時 등의 경우 높은 減衰力과 彈性係數로 충격입력과 大變位 振動을 同時 制御하는데 效果의 이다.

自動車에 대한 電子장치의 광범위한 적용 趨勢는 높게 評價되고 있으나 신뢰성, 經濟性의 側面에서 아직도 많은 發展의 여지를 안고 있다.

表3. 電子制御裝置 作動條件(미쓰비시 適用例)

項 目	內部 減衰器 形成 條件
加减速 變作動 速度	加减速時 : 0.15 m/sec 초과 減速時 : 0.30 m/sec 초과
變速기 레버 位置	다음 條件으로 變更時 P ↔ R ↔ N ↔ D ↔ 2
自動變速機 變速時 *	다음 條件으로 變速時 1 ↔ 2 ↔ 3 ↔ 4

* 엔진 回轉數 1500 rpm 以上, 스프링 20% 以上 열릴시

7. 맺음말

여기서는 自動車의 居住環境中 重要한 要素의 하나인 振動·騒音에 關한 低減 對策으로서의 防振고무의 應用에 對하여 그동안 研究 發

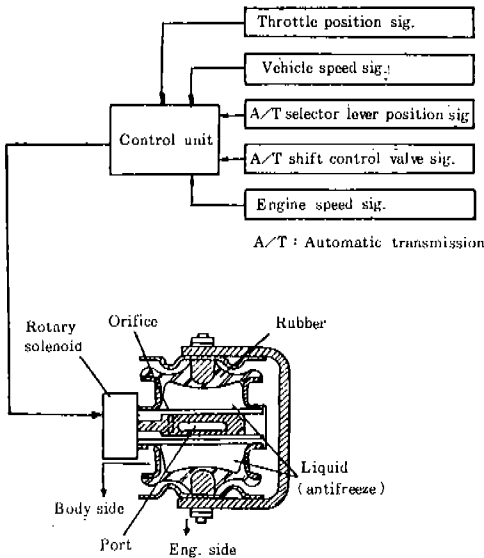


그림 28. 電子 制御式 防振고무 原理圖

展된 理論的 根據와 經驗的 要素를 綜合的으로 考察하였다.

그러나 防振支持의 完備한 實現은 비단 動力學的 側面뿐만 아니라 耐久力 등 다른 많은 要素와 複合的으로 연계되어 있기 때문에 材料側面에서의 技術進歩가 步調를 함께 하여야 하며, 生産技術 및 品質管理의 研究 역시 必須的 要件이다.

輸出立國을 위한 自動車 製品 技術의 전반적 인 進歩에 발맞추어 防振 고무 製品 및 應用分野에 對한 보다 깊은 研究 發展이 있기를 기대한다.

參 考 文 獻

1. M. Bernuchon, "A New Generation of Engine Mounts", SAE Paper 840259, 1984.
2. M. Mizuguchi, "Chassis Electronic Control Systems for the Mitsubishi 1984 Galant", SAE Paper 840258, 1984.
3. R.A. Muzechuk, "Hydraulic Mounts - Improved Engine Isolation", SAE Paper 840410, 1984.
4. 小山清, "고무의 動特性에 대하여," 自動車 技術, Vol 23, No 8, 1969.
5. 戸原, "防振 고무," 日本 鐵道車輛工業會
6. 宮田公司, "Truck 의 高速 Booming Noise 에 대하여," 自動車技術, Vol 33, No 21, 1979.
7. 森田勇, "橫置 Engine FF車의 Engine Mount 와 振動騒音," 自動車技術, Vol 36, No 12, 1982.
8. Yuchi Fujii, "Recent Developments in Vehicle Interior Noise Reduction", SAE Paper 820963, 1982.
9. J.P. Den Hartog, "Mechanical Vibration", McGraw-Hill, 1956.
10. K. Wakabayachi, "Rubber Damper 装着 Crank 軸系의 Torsion 振動解析," 自動車 技術, Vol 35, No 12, 1981.
11. H. Itoh, "Honda Accord 의 振動騒音 低減對策," 自動車技術, Vol 32, No 12, 1978.
12. 金重熙, "自動車 室內騒音 低減技術," 大韓機械學會誌, Vol 25, No 4, 1985.
13. S.K. Jha, "Characteristics and Sources of Noise and Bibration and Their Control in Motor Cars", Journal of Sound and Vibration, 47(4), 1976.