

차량용 에어클리너 인슐레이터의 진동 내구성 평가

Estimation of the Vibration Endurance Characteristics of Air Cleaner Insulators for Vehicle

김 정 현*· 김 석 현**
Jung Heon Kim and Seockhyun Kim

Key Words : Air Cleaner Insulator (에어클리너 인슐레이터), Vibration Endurance Test (진동 내구성 시험), Frequency Response Characteristics (주파수응답특성).

ABSTRACT

In this paper, vibration endurance test is carried out on rubber insulators used for vehicle air cleaners. Based on the test results, endurance characteristics depending on type and material of the insulators are estimated. Frequency response characteristics of the air cleaner system are investigated to identify the cause of wear and failure in the insulators occurred during the endurance test. New insulator models with improved endurance characteristics are proposed by changing the frequency response property of the air cleaner system.

1. 서 론

자동차를 구성하는 많은 부품 중에서, 고무 요소는 부품들 사이에서 각 부품의 운동을 적절히 제어함으로써 시스템이 요구되는 동적 성능을 갖도록 하는데 필수적인 요소이다. 이러한 고무 요소는 지속적인 하중과 온도의 변화로 사용기간이 경과되면서 재질 특성이 변하고, 그 결과 초기에 설계된 시스템의 동적 성능을 저하시키게 된다. 따라서, 부품들의 내구성을 적절하게 평가하고 문제점을 사전에 파악하여 보증 기간 내에 부품의 파손으로 인한 제품의 신뢰도 저하를 방지하는 것이 필요하다. 차량용 고무제품의 내구성에 대해서는 주로 엔진에 관련하여 고무 마운트의 피로 강도⁽¹⁾, 형상 설계 및 피로수명 예측⁽²⁾, 동흡진기의 진동 내구성의 실험적 연구⁽³⁾ 등이 보고되고 있다. 에어클리너(Air cleaner)용 인슐레이터는 엔진 가까이에 위치하므로, 진동과 온도 변화의 영향을 피할 수 없다. 본 연구는 국산 승용차에 사용되는 고무 인슐레이터의 진동 내구성을 평가하고, 파손 문제에 대한 대책을 수립하는 것을 연구의 목표로 한다. 이를 위하여 차량사가 제공하는 진동 내구성 시험기준에 근거하여 제품의 내구성을 평가한다. 인슐레이터-에어클리너 진동계의 주파수응답특성을 고려하여 내구성상의 문제점을 진단한다. 최종적으로, 인슐레이터의 형상 및 재질, 경도 등의 설계인자를 변경시켜 내구성 개선

방안을 제시하고자 한다.

2. 에어클리너와 인슐레이터의 사양

Fig.1 에서와 같이, 자동차의 에어클리너와 이를 차체에 고정시키는 인슐레이터는 차량에 따라 여러 종류가 사용된다. 본 연구에서는 H 사 에어클리너에 사용되는 인슐레이터를 대상으로 내구성을 평가한다. Fig. 2 는 평가 대상인 3 가지 모델의 인슐레이터를 보인다. A 형은 소형 승용차용 모델이고, B 형은 A 형을 조금 개선한 모델이다. C 형은 중형 승용차용으로 사용중이다.

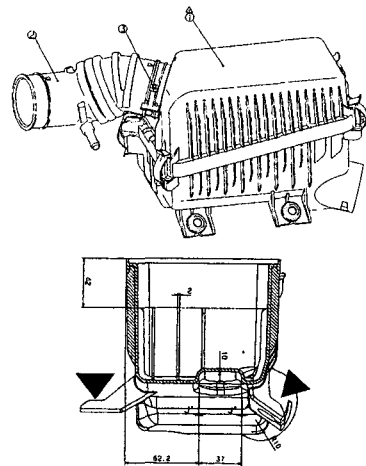


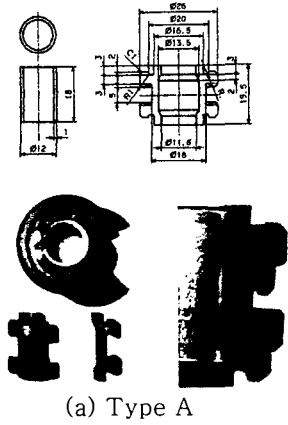
Fig. 1 Air cleaner and insulator system.

* SV (주)

E-mail : jhkim@svdigital.com
Tel : (031) 501-4030, Fax : (031) 501-4032

** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부

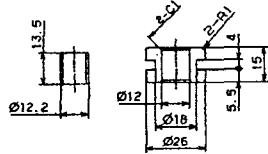
E-mail : seockg@kangwon.ac.kr
Tel : (033) 250-6372, Fax : (033) 257-4190



(a) Type A



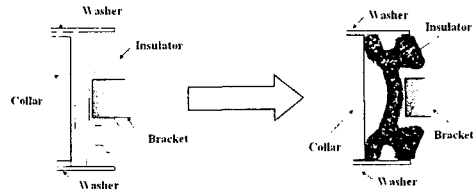
(b) Type B



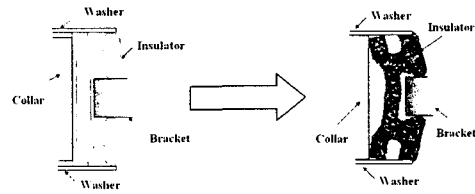
(c) Type C

Fig 2. Structure of insulators.

A 형은 조립 후 Fig.3 에서와 같이, 상하단 와서에 안쪽 돌출부만 눌러면서 압착되어, 인슐레이터의 가운데가 바깥쪽으로 굽어진다. 그 결과, 브라켓과의 접촉 면적이 줄어들고, 브라켓을 눌러주기 보다는 배 부분의 면 접촉을 통해서 힘을 전달하게 된다. 또한 인슐레이터와 내부의 폴라가 조립되면 내부 중앙은 공기층이 형성되어 들뜨게 되고 상하부만 접촉된다. 이러한 경우 상·하 진동을 억제할 수 있는 부분이 작아지고, 미끄러지는 상태가 되므로 모서리와 배 부분에 마찰에 의한 마모가 발생하게 된다. 이러한 현상은 인슐레이터의 파손뿐만 아니라 브라켓도 마모시킬 수 있다.



(a) Type A



(b) Type B

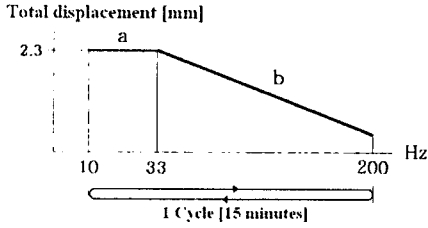
Fig. 3 Deformed shape of insulator.

A 형의 이러한 변형 특성을 고려하여 개선한 모델이 B 형이다. B 형은 바깥 돌출부를 상하단의 와셔까지 키운점이 A 형과 다르다. 바깥의 돌출부가 와셔에 의하여 압착되면서 브라켓을 감싸게 되어 힘의 전달 면적이 증가하고 내마모성 측면에서 유리할 것으로 예상된다. 중형 승용차에 사용되는 C 형은 조립 후 와셔와 상·하단 전체가 접촉하고 변형후 브라켓과의 압착 상태도 B 형과 대동소이하다.

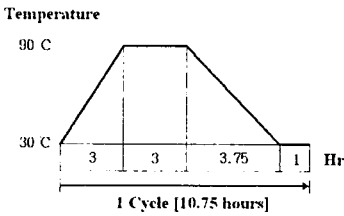
3. 진동 내구성의 평가방법

진동 내구성 평가시험에서 가진 조건으로는 차량사가 요구하는 HMC ES28110-6(2) 시험조건⁽⁴⁾을 적용한다. Fig. 4 a)에서 보는 바와 같이, 15 분간에 걸쳐 10Hz 부터 200Hz 까지 가진하고 다시 역 방향으로 가진 하는 것을 한 주기로 반복한다. 가진은 상하 방향으로만 가해지며, a 구간에서는 2.3mm의 진진폭(최저점~최고점간 거리)으로 가진되고, b 구간에서는 5g의 일정 가속도로 가진된다. 시험중 가진 조건이 설정값의 3%를 벗어나면 가진기는 자동으로 멈추게 된다. 시험은 Fig. 4 b)의 온도 변화 환경을 제공하는 온도제어실 내에서 진행된다. 온도 변화는 10 시간 45 분을 한 주기로 반복된다. Fig. 5의 가진 장치(UD TA240-S202/LP)를 사용하여 총 진동수가 10^7 회에 이르면 내구성 평가시험이 자동적으로 종료된다.⁽⁵⁾ 이러한 가진 기준은 제품의 사용 환경을 고려하여 차량사

에서 정하여 협력업체로 제공되고 있다. 시험기준과 실제 사용시의 환경이 어느 정도 부합하는가 하는 문제는 별도의 검토과제가 될 수 있을 것이다. (3.6.7)



(a) Excitation condition



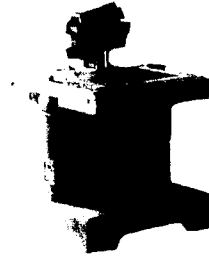
(b) Temperature condition

Fig. 4 Testing condition of the vibration endurance property.

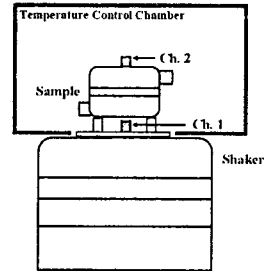
4. 에어클리너 진동계의 주파수응답

내구성 평가시험은 가진 주파수의 변화를 수반하므로 에어클리너-인슐레이터 진동계의 주파수응답 특성은 내구성과 밀접한 관계를 가지게 된다. 본 연구에서는 내구성 평가용 가진 장치를 사용하여 지지부와 하우징 상단 사이의 가속도 전달률 (Acceleration Transmissibility)을 구하였다. 전달률의 측정은 실온 상태에서 ES28110-6(2)의 가진 조건하에서 수행되었으며, 주파수에 따른 인슐레이터의 변형 정보를 구하기 위하여 하우징의 변위 응답도 함께 측정하였다. Fig. 6 은 H사의 에어클리너에 A형 EPDM 45HS 인슐레이터를 장착한 전/후의 전달률 곡선과 변위 응답을 비교한 것이다. 그림에서 이 모델의 1차 공진 주파수대역은 50Hz 부근으로 관찰된다. 흥미로운 점으로, 시험을 계속 진행하면서 공진 주파수대역이 저 주파수 대역으로 이동하여 시험의 종료시점에서는 약 20Hz 부근까지 떨어지는 것으로 확인되었는데, 인슐레이터가 마모되면서 고정상태가 헐거워지는 것이 원인으로 판명되었다. 이러한 현상

은 본 연구에서 시험된 대부분의 시편에서 확인되었으며, 개선 모델인 B형 인슐레이터에서는 드물게 나타났다.



(a) Testing machine for vibration endurance test



(b) Measurement of vibration endurance and FRF

Fig. 5 Experimental set up for the vibration endurance test.

이러한 주파수응답 특성은 고무재의 인슐레이터가 스프링이 되어 상하 진동을 하는 1 자유도 진동계의 거동에 가깝다. 저주파수 영역에서의 전달률은 1에 가깝고, 공진 주파수를 지나 고주파수 영역에서는 1보다 훨씬 낮은 값으로, 1 자유도 진동계에서 예상되는 주파수특성을 보인다. 인슐레이터를 탈착한 경우(Housing only), 공진대역은 고주파수 대역으로 이동한다. 그 결과, 내구시험 범위내에서의 전달률은 모두 1보다 크게 나온다. 50Hz의 공진점 부근에서는 변위 응답도 크게 발생하며, 60Hz 이상에서는 두 경우 모두 현저히 감소된 변위를 보이는데, 이는 Fig. 4 (a)의 가진 조건에 의하여 고주파수 영역으로 가면서 가진기의 변위진폭도 함께 작아지기 때문이다. 또한, 고주파수 대역에서는 전달률 때문에 인슐레이터의 탈착시 변위가 더 크게 나온다.

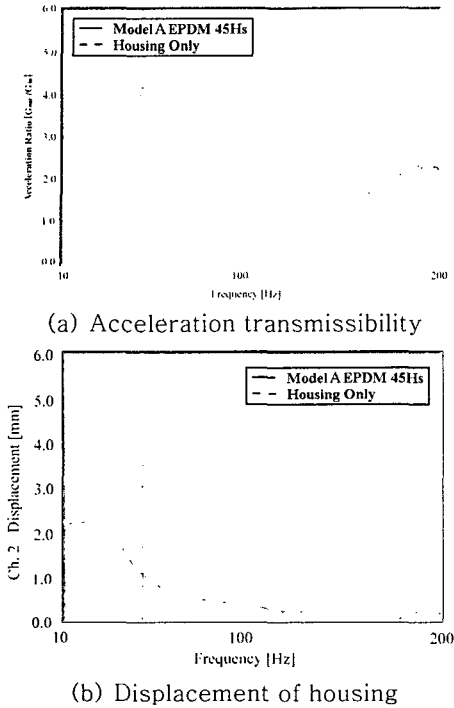


Fig. 6 Frequency response characteristics of air cleaner system.

Fig. 6 (b)의 변위 응답은 인슐레이터의 변형에 직접적으로 관계된다. 에어클리너의 공진은 인슐레이터에 심한 응력을 발생시키고, 이러한 상태가 반복되어 마모 및 파손으로 이어지는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 내구시험에서의 마모 및 파손을 피하기 위해서는 인슐레이터의 스프링 강성을 변화시킬 필요가 있으며, 결과적으로 내구성을 높이기 위해서는 재질 및 형상의 변경이 요구된다.

5. 설계변화에 따른 내구성의 평가

인슐레이터 고무의 재질과 경도, 형상을 각각 변경시킨 모델을 대상으로 진동 내구성 차이를 평가한다. Table 1 에 시편의 종류별 시험 결과를 정리하였다. 시편의 재질로는 통상적으로 사용되는 EPDM (Ethylene Propylene-Diene Rubber) 과 ACM(Polyacrylate)을 사용하였으며, Shore 경도치를 표시하였다. Fig 7 은 내구성 시험 종료 후의 손상된 인슐레이터와 브라켓 시편을 보인다. 형상과 재질이 동일할 때, 경도가 증가되면서 인슐레이터 및 브라켓의 마모와 파손은 감소하는 결과를 보인다. 내구성 시험과 병행하여 에어클리너

의 주파수응답 특성을 측정하였다. 시험 결과 인슐레이터의 파손은 A 형 EPDM-45HS 에서만 발생하며, 브라켓상에서도 손상이 발생하였다. 경도를 증가시킨 시편에서는 파손은 발생하지 않고, 마모도 경도 증가와 함께 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1. 인슐레이터의 설계 인자 변경에 따른 진동 내구성 시험 결과.

형상	재질	경도 (HS)	시험 결과		
			파손	마모	브라켓 손상
A	EPDM	45	有	有	有
	EPDM	50	無	有	無
	EPDM	60	無	無	無
	EPDM	70	無	無	無
	ACM	70	無	無	無
B	EPDM	45	無	無	無
	ACM	70	無	無	無
C	EPDM	45	無	無	無
	ACM	70	無	無	無

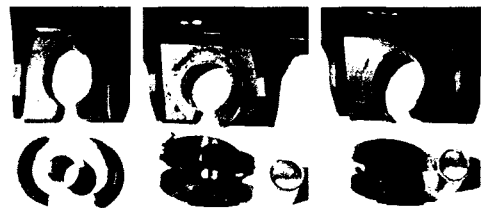
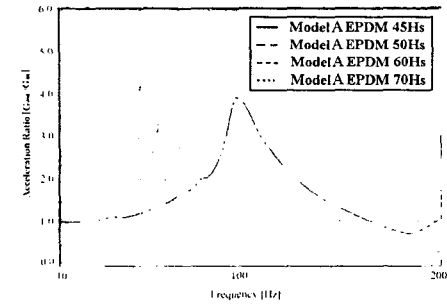
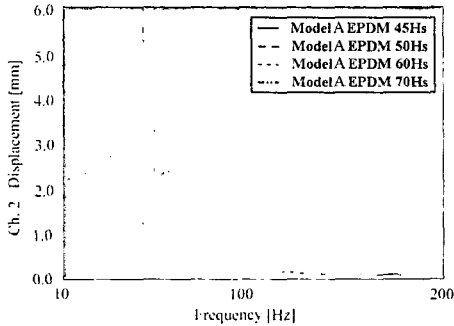


Fig. 7 Damaged insulators and brackets after endurance test.

Fig. 8 은 A 형의 경도에 따른 전달률과 변위를 보인다. 고무재의 경도 증가에 따라, 에어클리너 진동계의 강성이 증가하고 공진 주파수가 증가한다. 공진점에서의 전달률이 거의 일정한데 반해서, 변위의 피크치가 경도 증가에 따라 현저히 감소하는 것은 Fig. 4 (a)의 일정 가속도 가진 조건에 기인된다. 변위의 감소는 고무재의 변형 감소를 의미하고, 마모 및 파손이 감소하는 결과로 이어진다. Fig. 9 는 A 형 동일한 경도를 갖는 ACM 과 EPDM 의 주파수응답 특성을 보인다. 공진점을 고려할 때, EPDM 이 ACM 보다 높은 강성을 갖는 것으로 파악된다. 그러나, 변위는 두 모델이 비슷한 크기를 보이며, 마모나 파손 모두 발생하지 않는다.

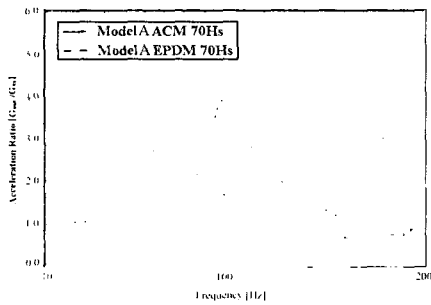


(a) Acceleration transmissibility

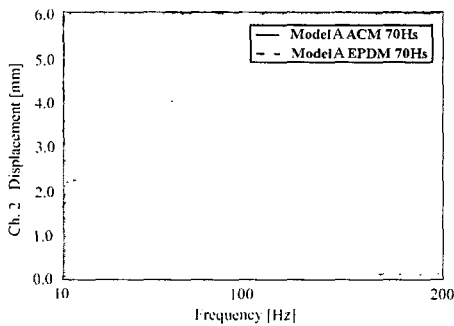


(b) Displacement of housing

Fig. 8 Frequency response characteristics of air cleaner system.



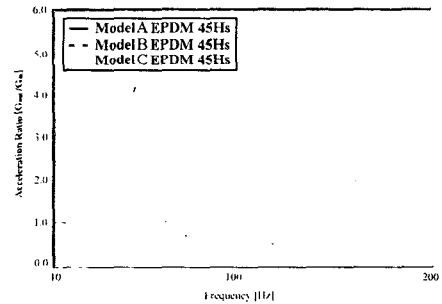
(a) Acceleration transmissibility



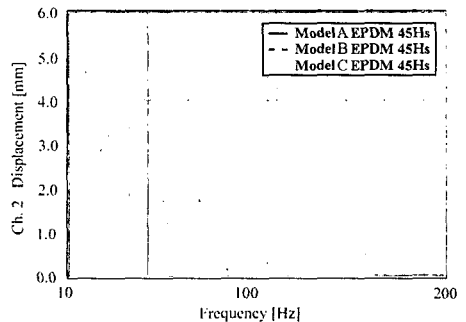
(b) Displacement of housing

Fig. 9 Frequency response characteristics of air cleaner system.

재질이 동일한 경우, 형상에 따른 주파수응답 특성과 내구성에는 보다 현실적인 설계 방향을 제시할 수 있다. Fig. 10은 현재 사용되는 EPDM 45HS 재질로 제작된 A, B, C 세 가지 형상의 인슐레이터에 대한 주파수응답 특성을 보인다. A 형에 비하여 C 형은 강성이 현저히 높아, 공진 주파수가 100Hz 이상에서 나타나고, 변위의 크기도 다른 모델이 비해서 매우 낮게 나온다. 이러한 주파수응답 특성의 변화는 Table 1에서와 같이 마모와 파손이 전혀 발생하지 않아 진동 내구성의 향상으로 이어진다. Fig. 11은 ACM 70HS로 제작된 A, B, C형 인슐레이터의 주파수응답 특성을 보인다. 마찬가지로 C형이 가장 높은 공진 주파수를 보이며, 세 모델은 전반적으로 낮은 변위를 보인다. Table 1의 내구성 시험결과에서, 세 가지 모델 모두에서 마모 및 파손이 발생하지 않은 것은 이러한 주파수응답 특성과 관련하여 납득할 수 있다.

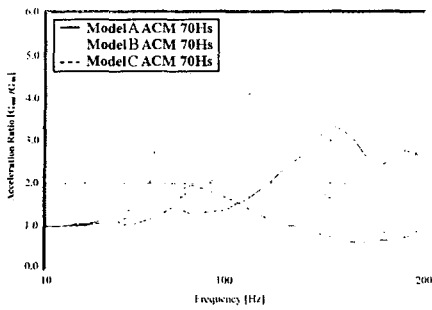


(a) Acceleration transmissibility

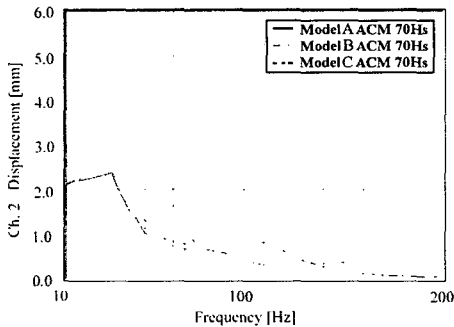


(b) Displacement of housing

Fig. 10 Frequency response characteristics of air cleaner system.



(a) Acceleration transmissibility



(b) Displacement of housing

Fig. 11 Frequency response characteristics of air cleaner system.

6. 결론

차량용 에어클리너 인슐레이터의 마모 및 파손 문제에 대한 대책 수립을 위하여 진동 내구성 시험을 수행하였다. A 형 모델에서 발생하는 마모 및 파손의 원인으로, 에어클리너의 공진 주파수가 너무 낮아지는 경우, 전달률과 가진력 조건의 상호 관계에 의하여 공진점 부근에서 인슐레이터에 과도한 변형이 반복적으로 발생하는데 있는 것으로 확인되었다. 인슐레이터의 형상을 적절히 설계

하여 공진주파수대역을 변경시킴으로써 진동 내구성을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, 동일한 형상의 인슐레이터도 재질에 변화를 주어 주파수응답 특성을 변경시키고, 내구성도 향상시킬 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

참고문헌

(1) Racca, R.Sr., 1982, "How to Select Power Train Isolator for Good Performance and Long Service Life", SAE Paper 821095.

(2) 김현영, 김중재, 1996, "엔진마운트 고무의 최적형상설계와 내구수명 예측", 한국자동차 공학회지 제 18 권 제 6 호, pp23~32.

(3) 사중성, 김찬목, 1999, "4륜 구동 자동차의 동력기관에서 진동저감을 위한 동 흡진기의 진동내구에 대한 실험적 연구", 한국소음공학회지 제 9 권 제 6 호, pp1166 ~ 1172.

(4) "자동차 엔진용 수지재 박스형 건식 에어클리너 : HMC ES28110-6(2)", 1987.12, 현대자동차

(5) UD-V win Vibration Controller Operating Manual. UD Co. 2002

(6) 최창하, 1995, "궤도차량 탑재장비의 진동 내구성 평가를 위한 시험 수준 결정방법 연구", 환경영향평가 제 4 권 2 호, pp123 ~ 130.

(7) 윤용하 외, 1995, "제품의 진동시험수준 결정에 관한 고찰", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp 322~327.