Transactions of KSAE, Vol. 26, No. 5, pp.646-653 (September, 2018)

Copyright © 2018 KSAE / 156-11
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI https://doi.org/10.7467/KSAE.2018.26.5.646

소음 저감용 전자제어 배기 플랩밸브의 신뢰성 향상을 위한 내구모드 개발에 관한 연구

강 준 호[1)] · 김 기 석[1)] · 조 상 현[*1)] · 고 상 철[2,3)] · 김 덕 한[4)]

자동차융합기술원 파워트레인연구그룹[1)] · 국립환경과학원 교통환경연구소[2)] ·
인하대학교 기계공학과[3)] · 디젠스 시험선행팀[4)]

Study on the Development of the Durability Mode for Improved Reliability of Electronically Controlled Exhaust Flap Valve for Noise Reduction

Junho Kang[1)] • Kiseok Kim[1)] • Sanghyun Cho[*1)] • Sangchul Ko[2,3)] • Deokhan Kim[4)]

[1)]Powertrain R&D Group, Jeonbuk Institute of Automotive Convergence Technology, 6 Dongjangsan 2-gil, Gunsan-si, Jeonbuk 54158, Korea
[2)]Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research, 42 Hwangyeong-ro, Seo-gu, Incheon 22689, Korea
[3)]Graduate School of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea
[4)]Test & Advance Team, Dgenx. Co., Ltd. Technical Center, 288-7 Yeonamyulgeum-ro, Eumbong-myeon, Asan-si, Chungnam 31413, Korea

(Received 5 April 2018 / Revised 2 June 2018 / Accepted 12 June 2018)

Abstract : The use of the electronically controlled exhaust flap valve(ECEFV) has increased to meet enhanced automotive noise regulations. The ECEFV can operate in high temperatures and vibration environments, so reliability and durability are very important factors. This study aims to develop a durability mode for the durability test of the ECEFV. To do so, we measured the operating state of ECFEV from various test routes(Urban, Rural, and Motorway) and vehicle driving modes(Sport, Comfort). The basic durability mode per 100 kilometers was developed under each condition based on the results of the analysis, while the 160,000-kilometer durability mode was developed through the combination of basic 100-kilometer durability modes. This mode also has a feature that can be selected in the vehicle's driving mode ratio.

Key words : Exhaust flap valve(배기 플랩밸브), Durability test mode(내구모드), Real-road data(실 도로 데이터), Exhaust noise(배기 소음), Electronic control(전자 제어)

Nomenclature

ECEFV : electronically controlled exhaust flap valve
U_C : urban route with comfort mode
R_C : rural route with comfort mode
M_C : motorway route with comfort mode
U_S : urban route with sports mode
R_S : rural route with sports mode
M_S : motorway route with sports mode

*A part of this paper was presented at the KSAE 2017 Fall Conference and Exhibition
*Corresponding author, E-mail: shcho@jiat.re.kr
* This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

1. 서 론

자동차 소음허용기준은 지속적으로 강화되는 추세로 특히, UN ECE에서는 배기소음을 기존 72 dB에서 68 dB로 대폭 강화하였다.[1] 국내에서도 향후 유사한 수준의 규제가 발효될 것으로 예상되어 관련업계에서는 소음규제 만족을 위한 머플러 최적설계, 배기 플랩밸브 적용 등의 다양한 연구를 진행하고 있다.[2,3]

배기 플랩밸브는 저 부하영역에서 배기관 후단을 차단하여 배기 소음을 감소시키고, 높은 엔진 회전수 영역에서는 적절한 개도량 조절을 통해 중후하거나 스포티한 배기음을 디자인할 수 있어 고급세단, 스포츠카 등에 다양하게 적용되고 있다.[4,5] 작동방식은 필요 시 운전자가 조작하는 수동 방식과 차량의 주행패턴에 따라 능동적으로 밸브 개도를 조절하는 전자제어 방식이 있다.[6]

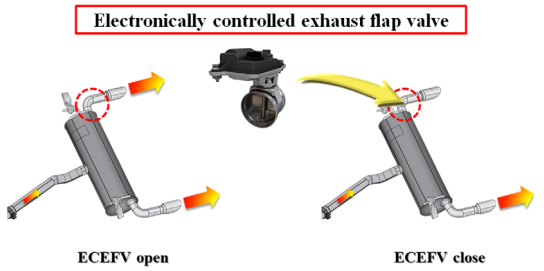

Fig. 1 The description of ECEFV

전자제어 방식의 배기 플랩밸브는 Fig. 1과 같이 외부 진동 및 충격, 고온·고압의 배기가스 등의 환경에 노출되어 있어 고내구성과 신뢰성이 확보된 제품 개발이 필요하다. 그러나 국내는 전자제어 배기 플랩밸브 개발 초기단계로 신뢰성 및 내구성 검증을 위한 연구가 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 차량의 주행패턴을 고려한 전자제어 배기 플랩밸브의 기초적인 내구모드를 제안하고자 한다.

2. 내구모드 개발 방법

2.1 내구모드 개발 조건 및 방법

본 연구에서는 다양한 차종 및 주행조건에서 사용이 가능한 범용의 전자제어 배기 플랩밸브 내구

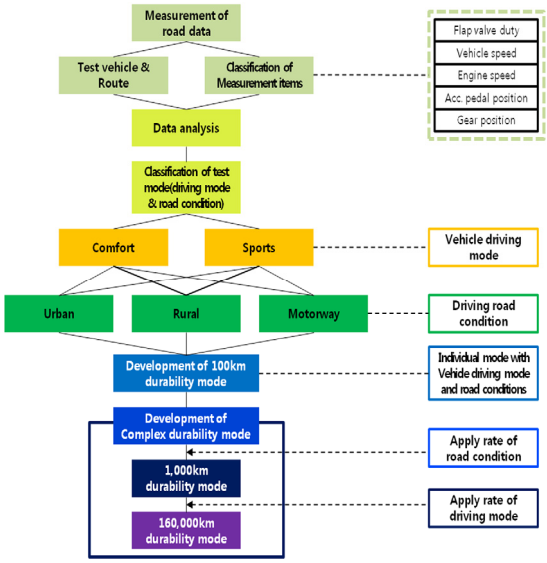

Fig. 2 Procedure for development of durability mode

모드 개발을 위하여 Fig. 2와 같은 절차에 따라 실 도로 주행데이터를 기반으로 내구모드 개발을 진행하였다. 효과적인 차량 주행패턴 반영을 위하여 서동춘 등[7]의 분석방법을 참고하여 Fig. 2의 절차에 따라 다음과 같이 진행하였다.

1) 실 도로 주행 데이터 계측 : 전자제어 배기 플랩밸브가 장착된 벤치마킹 차량을 활용하여 운전모드별 Urban, Rural, Motorway 경로를 주행하여 실 도로 주행 데이터를 계측하였다.

2) 실 도로 데이터 분석 : 주행데이터는 전자제어 배기 플랩밸브의 작동빈도, 차량속도, 엔진 회전수, 가속페달, 기어단수 등으로 선정하였고, 내구모드 개발을 위한 분석을 진행하였다.

3) 대표 100 km 기준 내구모드 개발 : 실 도로주행을 통해 계측된 데이터를 운전모드 및 주행도로 조건별로 분류하였고, 본 연구의 핵심모드인 100 km 기준 내구모드를 개발하였다.

4) 복합 내구모드 개발 : 개발된 핵심모드를 조합하여 운전모드 및 주행도로 조건이 반영된 최종 복합 내구모드를 개발하였다.[8]

2.2 시험차량 및 경로

전자제어 배기 플랩밸브가 장착된 국내 차종이 양산되지 않아 국외 차량을 이용하여 연구를 수행

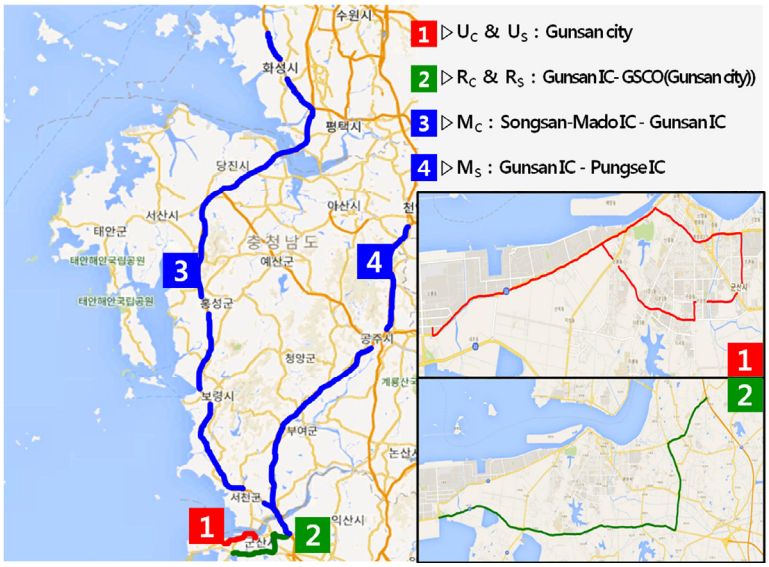

Fig. 3 Real-road driving routes (urban, rural, motorway)

Table 1 Specifications of test vehicle

Model	B社 530i xDrive		
Production year	2016		
Fuel type	Gasoline		
Tire type	F : 245/45 R18 R : 275/40 R18		
Transmission	Torque converter 8th		
Displacement	1998 cc		
Driving mode	Eco	Comfort	Sports

하였고, 시험차량의 제원은 Table 1과 같다. 시험차량의 경우 운전모드가 Eco, Comfort, Sports mode로 구분되고, Eco mode와 Comfort mode는 엔진 회전수에 따른 플랩밸브 작동 특성이 유사한 모드로 판단하여 본 연구의 운전모드 조건에서 Eco mode는 제외하였다.

실 도로 데이터계측을 위한 시험경로는 일반적인 승용차량의 주행도로 조건을 감안하여 Fig. 3과 같이 Urban, Rural, Motorway로 구분하였다.

2.3 주행데이터 수집 장치 구성

전자제어 배기 플랩밸브 적용 벤치마킹 차량의

Fig. 4 Installation of CAN module

제어특성 확인을 위해 CAN 통신 장비(NeoVI ION)와 GPS 센서를 Fig. 4와 같이 구성하였다. 벤치마킹 차량의 경우 CAN DB가 차단되어 있기 때문에 Reverse engineering을 통해 데이터 취득을 위한 CAN DB를 구성하였다.

3. 전자제어 밸브 작동특성 및 주행데이터 분석

3.1 전자제어 밸브 작동특성 분석

전자제어 배기 플랩밸브의 작동조건 및 제어특성을 파악하기 위하여 Fig. 5와 같이 차대동력계 상에서 전자제어 밸브의 PWM duty 값에 따른 플랩밸브의 개도량을 비교하였다.

Fig. 5 Setup test vehicle on chassis dynamometer

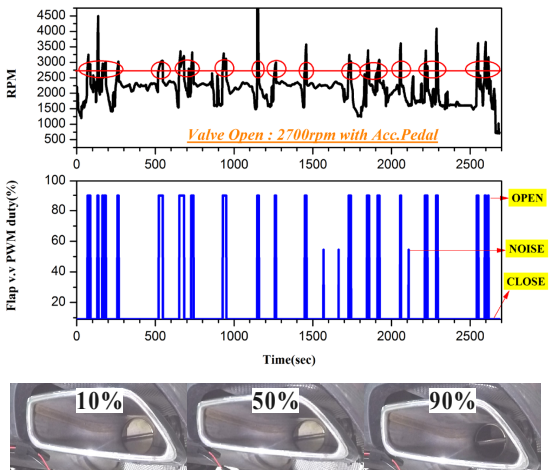

Fig. 6 Analysis of ECEFV operating conditions in Ms

벤치마킹 차량의 경우 엔진 회전수가 2,700 rpm 이상이고 가속페달이 작동하는 조건에서 전자제어 밸브의 PWM duty 값이 90 % 이상일 경우에만 플랩 밸브가 완전히(100 %) 열리며, 해당 조건을 만족하지 못하는 경우에는 완전히 닫힘을 확인하였다. 따라서 벤치마킹 차량의 경우에는 PWM duty에 따른 개도량 제어가 비례 제어 방식이 아닌 단순 On/Off 제어임을 확인할 수 있고, 약 50 % 전후의 PWM duty 값에서 밸브가 완전히 닫힘을 Fig. 6과 같이 확인하여, 이후 실 도로에서 계측된 유사 값은 노이즈로 판단하였다.

3.2 실 도로 주행데이터 분석

운전모드 및 주행도로 조건별로 계측된 전자제어 배기 플랩밸브의 작동결과를 Figs. 7~12에 나타내었다. 각각의 운전모드 및 주행도로 조건에 따른 밸브

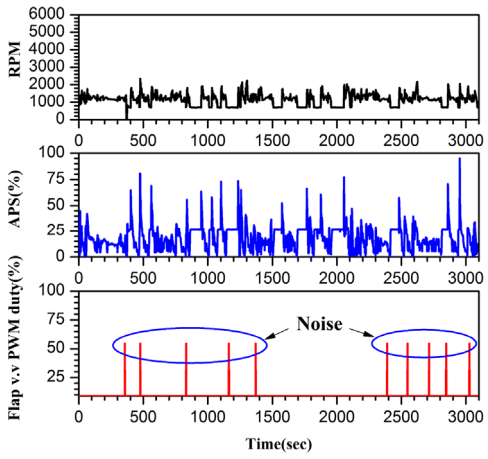

Fig. 7 Result of ECEFV operation in Uc

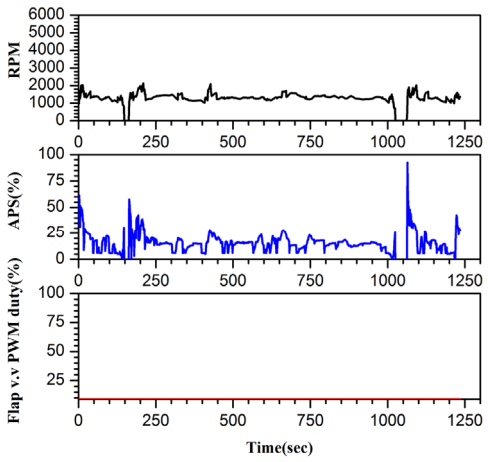

Fig. 8 Result of ECEFV operation in R_C

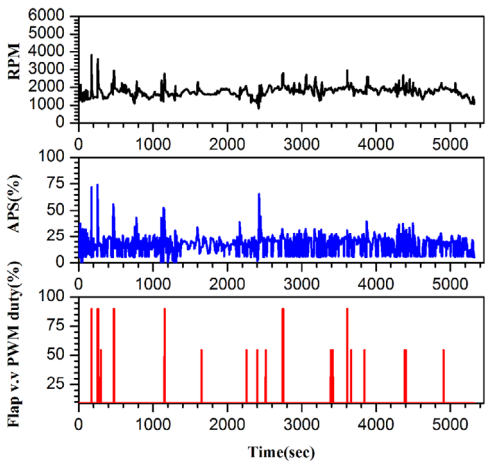

Fig. 9 Result of ECEFV operation in M_C

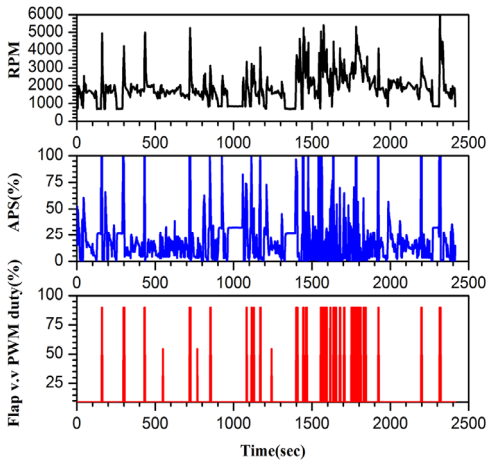

Fig. 10 Result of ECEFV operation in U_S

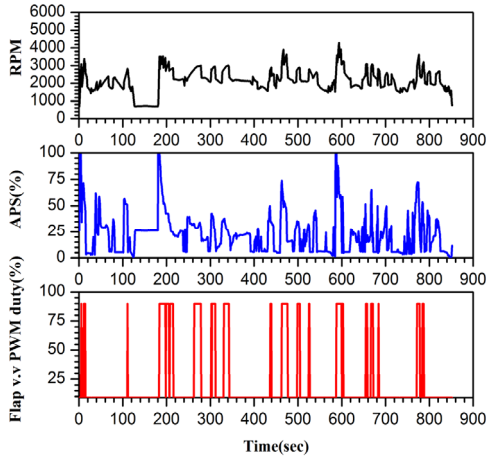

Fig. 11 Result of ECEFV operation in R_S

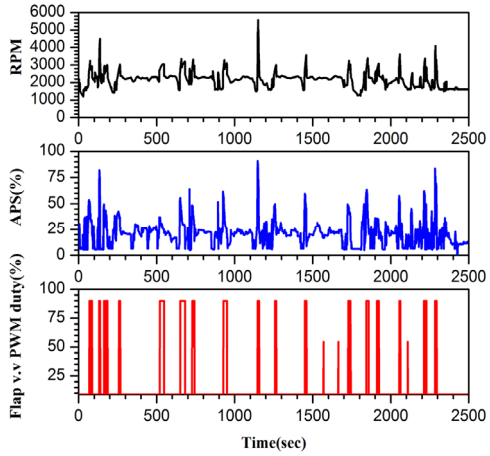

Fig. 12 Result of ECEFV operation in M_S

Table 2 The operating characteristic of ECEFV on real-road

		Operating count (number)	Operating time at valve open once (sec.)
Comfort	U	0	0
	R	0	0
	M	6	1 ~ 8
Sports	U	42	1 ~ 8
	R	19	1 ~ 16
	M	25	1 ~ 31

작동횟수와 1회 작동 시 밸브 개도 유지시간을 Table 2에 정리하였다.

Figs. 7~9는 Comfort mode의 주행데이터를 나타낸 것으로 편안한 승차감과 일반적인 주행을 추구하는 운전모드의 특성상 엔진 회전수가 주로 낮은 영역에 형성되어 전자제어 배기 플랩밸브의 작동횟수가 적음을 알 수 있다. 특히 Urban(U_C), Rural(R_C)의 경우에는 실 도로 주행에서 작동조건을 만족하지 못하였다. 이와 다르게 Figs. 10~12에 나타낸 Sports mode의 경우는 전자제어 배기 플랩밸브가 빈번하게 작동함을 알 수 있다. 이는 Comfort mode보다 빠른 가속성능과 변속 타이밍 등으로 다이나믹한 주행을 추구하는 Sports mode의 특성이 반영된 결과로 고속주행을 유지하는 Motorway(M_S)의 경우보다 가속주행이 반복적으로 나타나는 Urban(U_S)의 경우에 월등히 많은 작동이 이루어짐을 확인할 수 있다. 또한, Table 2에 정리된 밸브 1회 작동시의 개도 유지시간이 전체 차량 주행시간 대비 매우 짧은 수 초 ~ 수 십초이고, Comfort 모드와 Sports 모드의 밸브 개도 지속시간의 차이가 크지 않은 것도 밸브 작동 조건이 차량의 가속성과 고속 주행에 초점이 맞추어져 있기 때문으로 판단된다.

4. 100 km 기준 기초 내구모드 개발

다양한 차종 및 운전환경에 적용이 가능한 범용의 내구모드 개발을 위해서는 각각의 운전 및 도로환경을 대표할 수 있는 세분화된 기초 모드를 개발하고, 적용 차종 및 운전환경에 따라 이를 조합하는 것이 효율적임을 서동춘 등[7]의 연구결과에서 확인할 수 있다. 본 연구에서도 동일한 방법론을 적용하여 실 도로 주행으로부터 취득된 각각의 운전모드별

Table 3 Operating data of ECEFV in 100 km durability mode

		Operating count (number)	Total operating time (sec)
Comfort	U	0	0
	R	0	0
	M	4	27
Sports	U	168	930
	R	76	604
	M	25	317

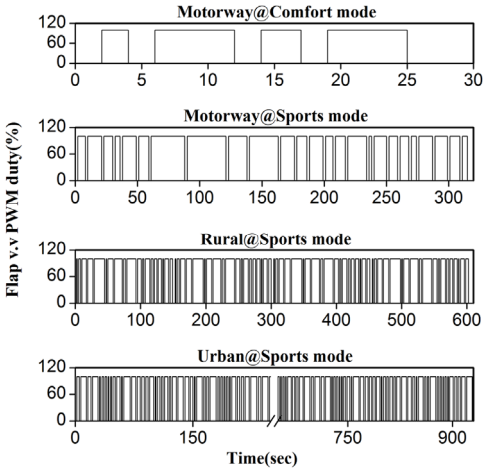

Fig. 13 Operating cycle of ECEFV in 100 km durability mode

주행도로 조건을 대표하는 기초적인 100 km 내구모드를 개발하였다.

Figs. 7~12 및 Table 2로부터 100 km 기준의 플랩밸브 작동횟수 및 작동시간을 환산한 결과를 Table 3에 정리하였고, 플랩밸브의 작동시간 및 휴지시간을 반영한 100 km 기준 내구모드를 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 13은 전자제어 배기 플랩밸브가 작동되지 않는 주행조건인 U_C, R_C 경우를 제외한 100 km 기준 내구모드를 표현한 것으로, 플랩밸브의 개별 작동시간은 가급적 실 도로 주행 시 계측된 PWM duty 신호 패턴과 유사하도록 구성하였고, 플랩밸브의 작동 휴지시간은 2초로 동일하게 임의 적용하였다.

5. 복합 내구모드 개발

5.1 주행도로 조건을 반영한 복합 내구모드

Fig. 3의 절차에 따라 100 km 기준 내구모드를 주행도로 조건 비율별로 조합하여 1,000 km 복합 내구

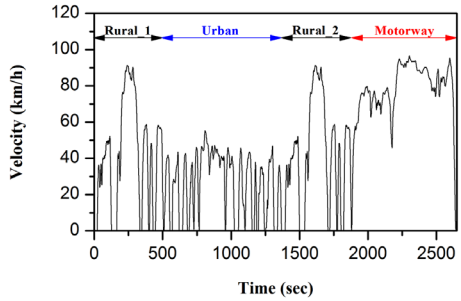

Fig. 14 Shape of FTP-75 and HWFET mode

모드를 개발하였다.

주행도로 조건 비율의 반영 정도에 따라 전체 내구모드가 변경되는 개발방법의 특성상 대상 차량의 주행도로 조건 비율 산정이 매우 중요한 요소이다. 그러나 배출가스 관련부품의 보증기간인 16만 km[9] 동안 해당 차량을 포함한 승용차량의 도로 주행 비율을 정확히 산정하는 것은 불가능하다.

따라서 이 연구에서는 실제 승용차량의 차종 및 도로환경 등과는 무관하게 대상 차량이 Fig. 14와 같은 승용차량 공인 연비 모드의 비율로(Urban : Rural : Motorway = 30 % : 40 % : 30 %) 내구 보증기간 동안 주행하는 것으로 가정하여 1,000 km 복합 내구모드를 완성하였다. 이 때 밸브의 작동횟수를 Table 4에 정리한 결과, Comfort mode는 플랩밸브가 Motorway 경로에서만 12회 작동하는 반면, Sports mode는 모든 주행경로에서 상대적으로 많은 작동이 이루어져 운전모드에 따른 특성이 뚜렷하게 구별됨을 확인할 수 있다. 또한, 1,000 km 복합 내구모드 개발 시 내구평가의 편의성을 위해 Urban, Rural, Motorway 경로 순으로 주행 사이클을 단순화하여 Fig. 15, 16에 나타내었다.

Table 4 Operating data of ECEFV in 1,000 km durability mode

		Ratio of driving road (%)	Operating count (number)	
Comfort	U	30	0	12
	R	40	0	
	M	30	12	
Sports	U	30	504	883
	R	40	304	
	M	30	75	

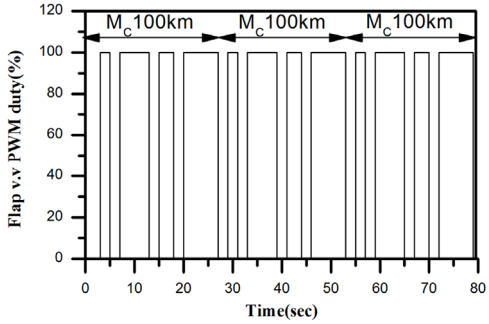

Fig. 15 Cycle of comfort mode in 1,000 km durability mode

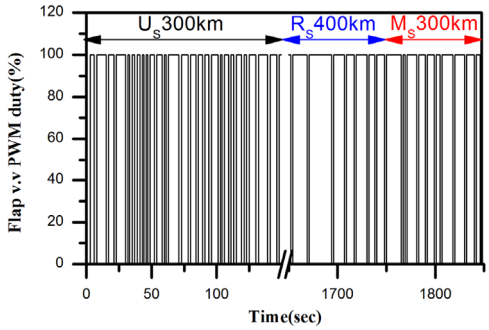

Fig. 16 Cycle of sports mode in 1,000 km durability mode

5.2 운전모드 조건을 반영한 최종 내구모드

대기환경보전법의 배출가스 관련부품 보증기간인 16만 km[9]에 상응하는 최종 내구모드 개발을 위하여 1,000 km 복합 내구모드를 차량의 운전모드 비율에 따라 조합하여 개발하였다.

벤치마킹 차량과 같이 운전모드가 다수 존재하는 차량의 경우에는 운전모드의 주행비율에 따라 전자제어 배기 플랩밸브의 작동빈도가 확연한 차이를 갖게 되며 이에 따른 요구 내구수준도 달라질 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 적용대상 차량의 운전모드 비율을 한 가지 조건으로 특정하기 보다는 향후 차량 제조사의 요구사항에 따라 적용이 용이하도록 다양한 운전모드 비율에 따른 최종 복합 내구모드를 제안하였다.

제안된 최종 복합 내구모드는 운전모드 비율을 10 %씩 증감하여 조합하였고, 각각의 비율별로 16만 km 기준 최종 복합 내구모드의 작동횟수 및 내구소요시간을 Table 5에 정리하였다. 또한, 시험 편의성을 위하여 Fig. 17과 같이 운전모드별로 순차적으로 배열하였다. 제안된 총 11개의 최종 복합 내구모드는 향후 사용자가 대상 차종의 운전모드 비율을 선정하여 사용이 가능하다.

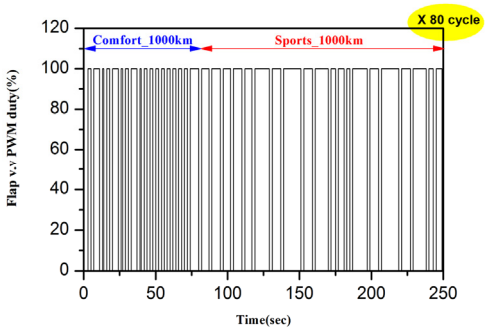

Fig. 17 Cycle of C5S5 complex durability mode

Table 5 Description of complex durability mode of 160,000 km

Mode No.	Comfort mode (%)	Sports mode (%)	Total operating count (number)	Total operating time (hr)
C10S0	100	0	1,920	4
C9S1	90	10	15,856	12
C8S2	80	20	29,792	20
C7S3	70	30	43,728	28
C6S4	60	40	57,664	35
C5S5	50	50	71,600	43
C4S6	40	60	85,536	51
C3S7	30	70	99,472	59
C2S8	20	80	113,408	67
C1S9	10	90	127,344	75
C0S10	0	100	141,280	81

6. 결 론

실 도로 주행 중 전자제어 배기 플랩밸브가 작동하는 운전조건을 분석하고, 작동횟수 및 작동시간을 계측한 결과를 바탕으로 전자제어 배기 플랩밸브의 복합 내구모드를 개발한 결과는 다음과 같다.

1) 벤치마킹 차량을 이용하여 운전모드 및 주행도로 조건별 전자제어 배기 플랩밸브의 작동횟수 및 작동시간을 분석한 결과, Sports mode에서 높은 작동빈도를 나타내는 것을 확인하였다.
2) 실 도로 주행데이터 분석 결과를 바탕으로 개별 운전모드 및 주행도로 조건별로 세분화된 100 km 기준 기초 내구모드를 개발하였다.
3) 100 km 기준 내구모드를 주행도로 조건 비율별

로 조합하여 1,000 km 복합 내구모드를 개발하였다.

4) 주행도로 조건 비율을 적용한 1,000 km 복합 내구모드에 운전모드 비율을 추가 반영하여 운전모드 비율에 따른 총 11개의 16만 km 복합 내구모드를 최종 개발하였다.
5) 제안된 최종 16만 km 복합 내구모드는 주행도로 조건 및 운전모드 비율을 다양하게 적용 및 변경할 수 있는 장점이 있다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 주관 경제협력권산업 육성사업 “능동 제어기술 기반 전동식 플랩밸브를 적용한 차량용 저소음 경량 머플러 개발(과제번호 : R0005731)”과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

1) UN ECE GRB-54-03, Regulation No.51, Noise of M and N Categories of Vehicles, 2011.
2) H. K. Lee, J. Y. Lee, H. S. Heo, Y. H. Kang, C. W. Sung and H. J. Jung, “Analytical Study on the Flow Characteristics of a Exhaust Vavle,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.263-267, 2015.
3) I. D. Kim and T. W. Lee, “Noise Reduction Technology of Vehicle Exhaust System,” Auto Journal, KSAE, Vol.30, No.2, pp.28-39, 2008.
4) I. H. Han, H. K. Park, D. Y. Kwon and D. Y. Ryu, “The Study on the Exhaust Tail Pipe Noise Tuning of the 4 Cylinder Gasoline Engine,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.1779-1784, 2006.
5) M. H. Lee, J. S. Lee, B. K. Kim, I. G. Lim and K. O. Cha, “A Study on the Flow Properties and Radiated Noise of the Internal Combustion Engine Exhaust System,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.158-165, 1997.
6) H. C. Lee and K. O. Cha, “An Experimental Investigation on the Development of Muffler with Active Controller in Automobile Exhaust System,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.769-774, 2000.
7) D. C. Seo, I. S. Lee, S. C. Ko and S. H. Cho, “Study on Durability Performance Evaluation of Retarder Parts in Testing Mode for Heavy-duty Vehicle,” Transactions of KSAE, Vol.23, No.6, pp.575-582, 2015.
8) J. H. Kang, K. S. Kim, S. H. Cho, S. C. Ko and D. H. Kim, “Study on the Durability Mode of Exhaust Flap Valve for Noise Reduction,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.986-987, 2017.
9) Korean Law, Clean Air Conservation Act Enforcement Rule, Article 63, Attached Table 18.