

# CVVT 제어를 이용한 차량 음질 개발

## Development of Sound Quality for a Vehicle by Controlling CVVT

김영기† · 조덕형\* · 김재현\* · 강구태\*

Youngki Kim, Cho Teock Hyeong, Jaeheon Kim, Koo Tae Kang

**Key Words :** 음질(Sound Quality), 흡기 토출소음(Intake Orifice Noise), CVVT, NVH

### ABSTRACT

For optimizing the performance of SI engine such as engine torque, fuel consumption, and emissions, systems for variable valve timing were developed by many automotive researchers. In this work, we investigated the relationship between valve timing and intake orifice noise to improve the NVH (Noise, Vibration and Harshness) performance as well as engine torque and power. Two approaches are conducted, which are engine dynamometer testing and 1-D simulation analysis. Experimental data were measured on about 21 different operating conditions. This experiment shows that the intake and exhaust valve timing related to overlap period influence on the NVH performance, especially intake orifice noise of engine at given range of operation conditions. Similar results are achieved by using 1-D simulation analysis. It is concluded that the optimal strategies of controlling valve timing and tuning intake systems, are necessary to develop engines or vehicles with good sound quality.

## 1. 서론

최근의 자동차 기술은 차량의 고급화 추세에 따라 운전자의 편의성과 안락함을 중요하게 여기기 때문에 음질(sound quality)에 큰 관심을 두고 있다. 따라서, 단순한 동력 성능과 효율의 향상만으로는 소비자들에게 좋은 차로 평가 받기가 어려워졌기 때문에 차량의 다양한 시스템들을 음질 관점에서 개선하는 접근이 필요해졌다.

차량의 흡기 소음은 크게 공기 전달음(air-borne noise)과 고체 전달음(structure-borne noise)으로 구분할 수 있다. 전자는 보통 500Hz 미만의 저주파에서 흡입 행정 중에 피스톤 하강과 밸브의 작용으로 인하여 스노클의 외부로 방출되는 토출소음(orifice noise)과 유동 소음(flow noise)으로 구분된다. 후자는 스노클에서 A/C Box 를 거쳐 Intake manifold 까지 흡기 시스템의 진동에 의하여 방사되는 소음이다. 자동차의 음질 튜닝은 흡배기계를 조정하는 방법을 많이 사용하고 있는데, 본 논문은 주어진 RPM 에서 Dual CVVT (Continuously Variable Valve Timing)을 변경하여 흡기 토출 소음의 음질을 개선하는 것에 관심

을 두었다.

현재의 Dual CVVT 기술은 흡기와 배기 밸브의 타이밍을 동시에 제어하여 SI 엔진에서 성능, 연료 효율 향상, 그리고 매연배출 감소에 초점을 맞추고 있다. 특히, 최근 들어 밸브 타이밍뿐만 아니라 리프트양도 제어할 수 있도록 다양한 밸브 시스템에 대한 연구가 지속되고 있는데, 이것은 기존의 밸브 타이밍이 고정된 전통적 형태에 비해 현재의 CVVT 를 이용하는 것이 펌핑손실(pumping loss)를 줄이고 전부하(wide open throttle)에서의 엔진 성능을 향상시키고 BSFC, 그리고 NOx 수준을 줄이는 데 큰 기여를 하기 때문이다. 그러나 Dual CVVT 를 이용한 흡기 소음(intake noise)의 음질 개선 연구는 아직 많이 연구되지 못한 실정이다.

이에 실험적인 방법을 통하여 밸브 타이밍을 조정하여 흡기 토출 소음(intake orifice noise)의 음질을 개선하는 방안을 마련했으며, 해석적인 방법의 유용성을 확인하였다.

## 2. 대상 시험

### 2.1 시험 구성

표.1 은 실험에 사용된 가솔린 V6 엔진에 대한 사양을 나타낸다. ECU 의 흡기와 배기 밸브 타이밍 관련 변수를 직접 변경하였으며, 이때 측정된 데이터는 다음과 같다: Snorkel 앞 10cm 에서의

† 교신저자; 현대자동차 연구개발본부  
E-mail : kimyoung71@hyundai-motor.com  
Tel : (031) 368-2028

\* 현대자동차 연구개발본부

소음, 엔진 상부 1m 에서의 소음, 엔진 다이노미에서 측정된 토크, 그리고 A/F sensor 에서 측정된 Air Flow. 측정된 값으로부터 계산된 데이터는 다음과 같다: 변속기 기어비로부터 계산된 Brake TQ, A/F ratio 로부터 얻어지는 Fuel mass flow rate. 측정 장비는 PAK DAQ system, front-end MK-II 그리고 B&K 4190 microphone 이며, 시험한 흡기 시스템의 개략도는 그림.1 과 같다.

Engine Type	Gasoline V6
Bore X Stroke	96 X 87
Compression Ratio	10.4
배기량	3.8 Liter

표.1 엔진 사양

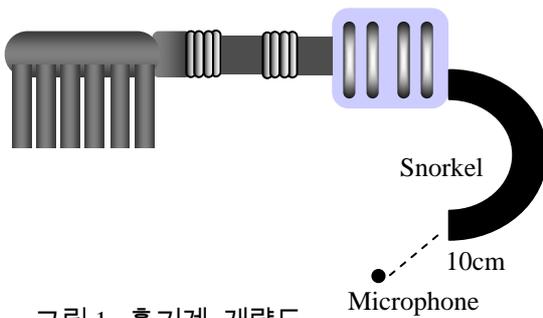


그림 1. 흡기계 개략도

### 2.2 시험 조건

시험은 4000 RPM, 전부하 조건으로 수행하였으며, 흡기 밸브의 진각량과 배기 밸브의 지각량 증가시면서 두 밸브간의 오버랩양에 변화를 주었다.

표 2 는 4000rpm 에서 밸브 타이밍 시험 조건을 나타낸 것으로 흡기 밸브는 0° ~ 30°, 배기 밸브는 0° ~ 15° 의 5° 간격으로 시험 하였다.

		Intake Advance						
		0	5	10	15	20	25	30
Exhaust Retard	0	○	○	○	○	○	○	○
	5	○	○	○	○	○	○	○
	10	○	○	○	○	○	○	○

표.2 시험 조건 행렬 @ 4000rpm

## 3. 시험 결과

### 3.1 흡기 토출 소음

표 2 의 시험 조건에서 측정한 흡기 토출 소음

의 소음 레벨은 그림 2 와 같고 음질을 고려한 Loudness, Roughness, 그리고 Sharpness 분석 결과는 그림 3 과 같다.

최적화 전인 현재의 밸브 타이밍은 분홍색 원으로 표현했으며 검은색의 원은 흡기 토출 소음과 음질을 고려한 최적의 밸브 타이밍을 나타낸 것이다. 그림 3 의 실험 결과는 4000rpm 에서 밸브 타이밍의 변경으로 소음 레벨은 감소하고 음질 측면에서 좋은 소리를 내는 최적의 밸브 타이밍이 존재함을 보여준다.

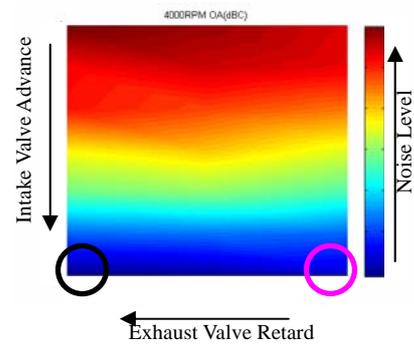


그림 2. 토출 소음 시험 결과 @ 4000rpm

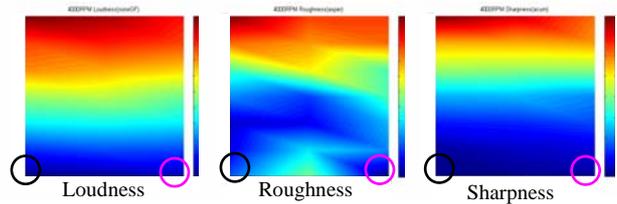


그림 3. 음질 지표 분석 결과 @ 4000rpm

### 3.2 엔진 성능

소음 레벨과 음질 측면에서 좋은 소리를 구현하는 흡기계의 전체 조건은 엔진의 동력 성능이다. 엔진의 동력 성능은 곧 차량의 동력 성능과 직접적인 연관이 있기 때문에 매우 중요한 요소이다. 따라서, 동력 성능의 저하 없는 소음 레벨 감소와 음질 향상의 개발 목표가 본 연구의 주 목적이다.

그림 4 는 4000rpm 에서 흡.배기 밸브의 타이밍 변경에 따른 성능(torque)를 나타내며, 흡기 토출 소음의 음질 결과와 같은 최적의 밸브 타이밍 위치를 찾을 수 있었다.

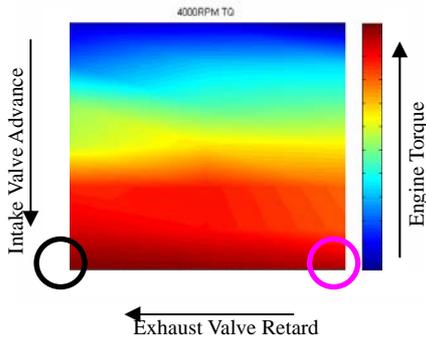


그림.4 엔진 성능 시험 결과 @ 4000rpm

### 3.3 최적 Valve Timing 의 시험 결과

그림 5 는 4000rpm 구간에서 최적의 흡기 토출 소음의 음질과 엔진 성능을 모두 고려하여 최적화 전인 밸브 타이밍과 최적화 후의 토출 소음의 Wavelet 분석을 통하여 음질을 분석한 결과이다.

wavelet 분석 결과는 400~1000Hz 대역에서 현재 대비 최적화된 밸브 타이밍을 적용할 경우 음질 측면에서 개선할 수 있음을 보여준다.

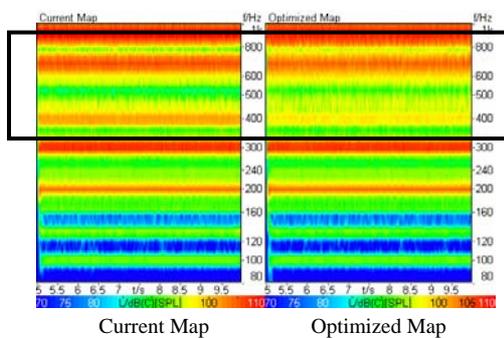


그림.5 Wavelet 분석 결과 @ 4000rpm

## 4. 해석 결과

대상과 동일한 조건으로 흡기 소음을 해석하기 위하여 1-D 시뮬레이션 프로그램인 GT-POWER 를 이용하였다. 그림 6 과 같이 머플러 및 테일 파이프를 제외한 엔진 및 흡, 배기 시스템을 모사하여, 실제 대상 시험에서의 조건을 입력하였다.

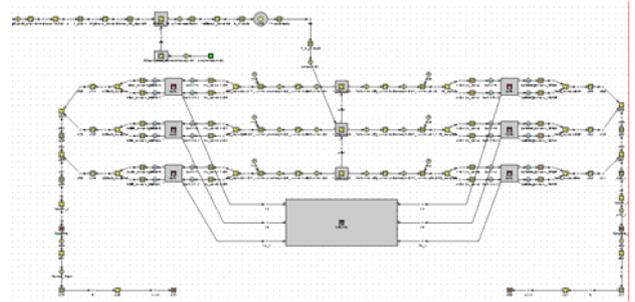


그림.6 GT-POWER 해석 모델

흡기 토출 해석을 위한 입력값은 실제 엔진이 구동되는 상태에서 측정된 값을 이용하였으며, 특히 엔진 연소 모델은 측정된 실린더내부의 연소압을 이용하여 Burn Rate 을 계산한 후, Wiebe Function 의 파라미터를 조정하여 근사화시켰다.

대상 시험과 동일한 밸브 타이밍 조건을 입력하였으며, 그 결과는 그림 8 과 같이 대상 시험과 매우 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 9 는 대상 시험과 해석 결과를 Colormap 으로 나타낸 것으로 대상시험에서 최적화한 밸브 타이밍이 해석의 결과와 동일한 것을 알 수 있다.

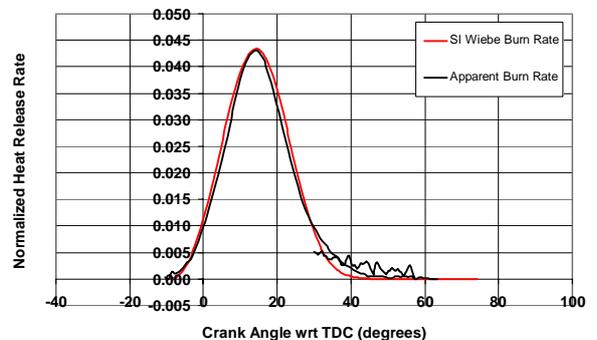


그림 7. SI Wiebe Burn Rate 비교

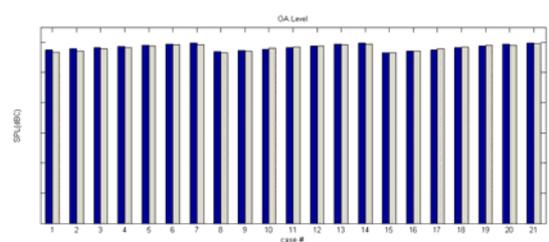


그림.8 조건별 흡기 소음 @ 4000rpm

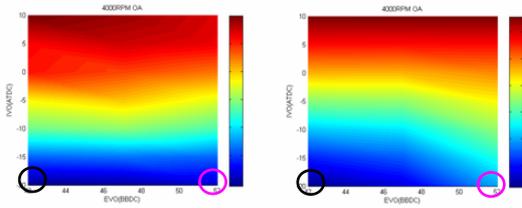


그림 9. 결과 비교 (대상 시험/ 시뮬레이션)

## 5. 결론

본 논문은 Dual CVVT 의 흡기와 배기 밸브의 개폐 시기를 조절함으로써 소음 레벨을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 음질을 개선할 수 있는 개발 방안을 제안 한다.

1. 밸브 타이밍 변경을 통해 엔진 성능 저하 없는 흡기 토출 소음의 저감을 달성했다.
2. 단순한 흡기 토출 소음의 레벨 저감 보다는 음질의 향상 측면에서 밸브 타이밍 제어 방법을 제시하였다.
3. 시험과 해석을 동시에 수행하여, 해석의 신뢰성을 확인하였으며, 최적화를 위한 해석의 필요성을 제시하였다.

## 6. 향후 계획

전 RPM 영역에서 밸브 타이밍의 영향도를 파악하여 최적화된 map 을 구현하고, 시뮬레이션을 통한 예측의 정확도를 높여 해석적인 방법으로 최적의 밸브 타이밍을 찾는 연구를 할 것이다.

## 참고문헌

- (1) 조덕형, 김재현, 권오준, 강구태, “가솔린 신엔진의 흡기 토출소음 해석”, 한국음향학회 추계학술대회, 2003
- (2) 박기춘, 김재현, “가솔린 엔진 흡기계 설계 해석 방법 고찰”, 한국음향학회 추계학술대회, 2001.
- (3) Kim, J., Kang, K.T., and Yeo, S.D., “A Study on Mechanism of Intake Rumble Noise and Optimization of Intake Manifold”, IN01-361, Internoise2001, 2001.
- (4) 오재웅, 한광희, 이규태, “자동차 흡기 소음 저감을 위한 설계기법에 관한 연구(1)”, 대한 기계 학

- 회논문집(A), 제21권 제10호 pp.1648~1655, 1997.
- (5) 오재웅, 한광희, 이규태, “자동차 흡기 소음 저감을 위한 설계기법에 관한 연구(1)”, 대한 기계 학회논문집(A), 제21권 제10호 pp.1648~1655, 1997.
- (6) Munjal, M. L., Acoustics of Ducts and Mufflers, John Willey & Sons. 1987.
- (7) John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1988
- (8) Kinsler, L. E., Frey, A.R., Coppense, A.B. and Sanders, J. V., Fundamentals of Acoustics 4th edition, John Willey & Sons, 2000.
- (9) 김재현, 박기춘, “자동차용 내연기관 흡기계의 NVH 개발 방향”, 한국음향학회 추계학술대회, 2001
- (10) 박기춘, 김재현, 강구태, “흡기럼블음 저감을 위한 다기관에 관한 연구”, 한국음향학회 추계학술대회, 2000